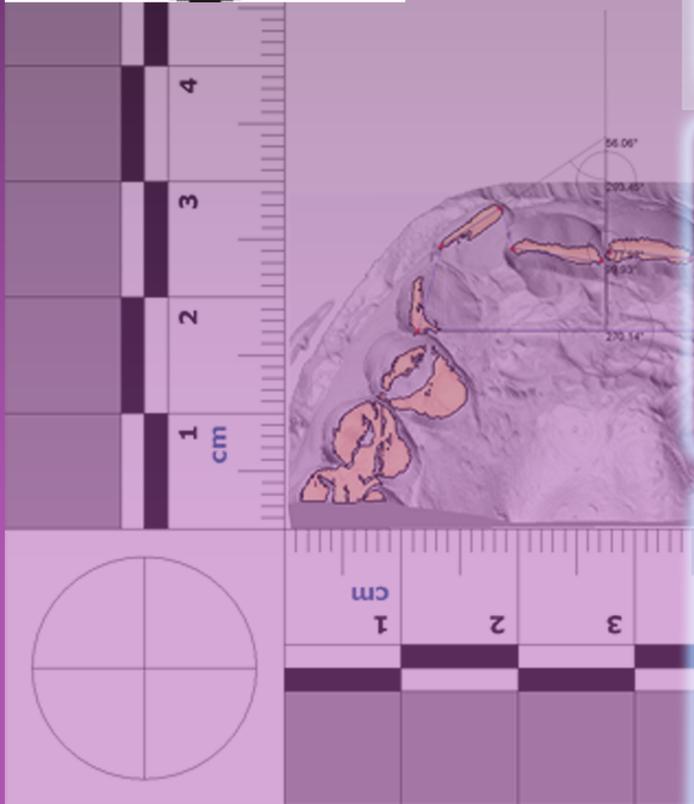
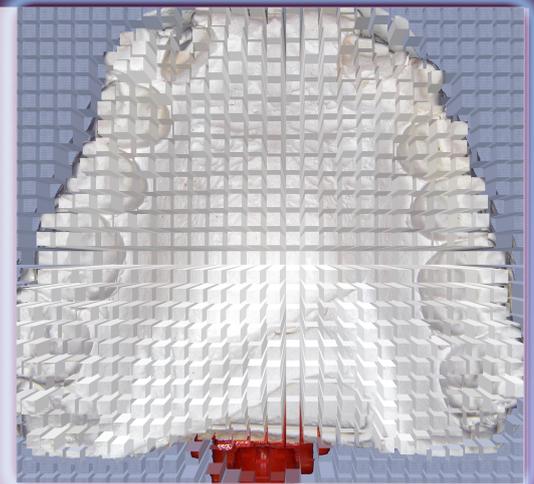


Aplicación del programa informático DentalPrint© en el análisis de las huellas por mordeduras humanas



DANIEL TAFUR ELBAZ

Autor: Daniel Tafur Elbaz

Directores de la Tesis Doctoral:

Stella Martín de las Heras

Manuel Bravo Pérez

Departamento de Estomatología

Departamento de Medicina Legal y Forense

Universidad de Granada

2010



UGR

Universidad
de Granada

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Daniel Tafur Elbaz
D.L.: GR 1350-2011
ISBN: 978-84-694-1074-5



Universidad de Granada



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Dña. Stella Martín de las Heras, Profesora Titular de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Granada y Vicedecana de Relaciones Internacionales e Institucionales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Granada

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación que se expone en la presente Tesis: *Aplicación del programa informático DentalPrint© en el análisis de las huellas por mordeduras humanas*, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría de la Universidad de Granada por el licenciado **D. Daniel Tafur Elbaz** y corresponde fielmente a los resultados obtenidos.

Una vez redactada, la presente Tesis ha sido revisada por mí y doy conformidad para que pueda ser presentada y aspirar al Grado de Doctor ante el Tribunal que en su día se designe.

Y para que conste, en cumplimiento de las disposiciones vigentes, extiendo el presente en Granada a dieciocho de octubre del dos mil diez.

Stella Martín





Universidad de Granada



FACULTAD DE ODONTOLÓGIA

D. Manuel Bravo Pérez, Catedrático de Estomatología de la Universidad de Granada y Vicedecano de Ordenación Académica de la Facultad de Odontología de la Universidad de Granada

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación que se expone en la presente Tesis: *Aplicación del programa informático DentalPrint© en el análisis de las huellas por mordeduras humanas*, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Estomatología de la Universidad de Granada por el licenciado **D. Daniel Tafur Elbaz** y corresponde fielmente a los resultados obtenidos.

Una vez redactada, la presente Tesis ha sido revisada por mí y doy conformidad para que pueda ser presentada y aspirar al Grado de Doctor ante el Tribunal que en su día se designe.

Y para que conste, en cumplimiento de las disposiciones vigentes, extendiendo el presente en Granada a dieciocho de octubre del dos mil diez.



Parte de estos resultados han sido presentados como comunicación en el macro **Congreso Internacional de Ciencias Forenses** celebrado en Oporto, 21-23 de Junio de 2007:

V Latin-American Congress of Medical Law
III Iberian Congress of Legal Medicine
V Congreso Latinoamericano de Derecho Médico
III Congreso Ibérico de Medicina Legal
III Congreso de la Academia Mediterránea de Ciencias Forenses

La comunicación ha sido galardonada con el Primer Premio Científico del Congreso.

Asimismo, parte de los resultados han sido publicados en las siguientes revistas científicas internacionales:

Journal of Forensic Sciences International

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 Sep 10;190(1-3):33-7. Epub 2009 Jun 7.

Science and Justice

Martin-de las Heras S, Tafur D. Validity of a dichotomous expert response in bitemark analysis using 3-D technology. *Sci Justice.* En prensa, aceptado a publicación. doi:10.1016/j.scijus.2010.07.003

A mis padres, Joaquín y Simone, con todo mi amor, quienes con su apoyo y esfuerzo me guiaron por el camino del saber.

En primer lugar quiero expresar mi especial agradecimiento a Stella Martín de las Heras por haber seguido cada paso en la elaboración de este trabajo. Este trabajo no habría sido posible de no ser por su incansable espíritu investigador, su indiscutible trayectoria profesional y su gran calidad humana. Le doy mi más sincera enhorabuena por haber guiado con tanto esmero y dedicación este trabajo de investigación.

Gracias a Manolo Bravo Pérez por haberme asesorado en el diseño estadístico y la interpretación de los resultados obtenidos.

Por último, agradecer a la Universidad de Granada la oportunidad que me dio en su día de recibir la formación necesaria para afrontar un trabajo de investigación como éste.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	2
1. INTERÉS MÉDICO-LEGAL DE LAS HUELLAS POR MORDEDURA	2
2. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN DE LAS MORDEDURAS EN HUMANOS	4
3. LAS MORDEDURAS COMO INDICIO FÍSICO	7
4. PROBLEMÁTICA MÉDICO-LEGAL EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS.....	9
5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS.....	15
5.1. Reconocimiento y análisis de la herida por mordedura	16
5.2. Recogida de restos de saliva en la lesión por mordedura	20
5.3. Análisis fotográfico de la lesión por mordedura.....	22
5.4. Toma de impresiones para la obtención de modelos de la huella por mordedura	23
5.5. Recogida de muestras del sospechoso	25
5.6. Comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso	27
5.7. Aplicación de tecnología en tres dimensiones en el análisis de las huellas por mordeduras.....	33
 II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	 36
 III. MATERIAL Y MÉTODOS	 39
1. MATERIAL.....	39
1.1. Tipo de muestra: modelos dentales	39
1.2. Mordeduras experimentales	42

2. MÉTODOS	45
2.1. Procedimiento para la realización de las mordeduras experimentales.....	45
2.2. Escaneado en 3D.....	45
2.3. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes escaneadas de los modelos dentales e impresiones de mordeduras en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©	46
2.4. Proceso de comparación por el experto de las huellas de mordida y las impresiones de las mordeduras.....	63
2.5. Proceso de comparación cuantitativo de las huellas de mordida y las impresiones de las mordeduras.....	67
2.6. Análisis estadístico.....	69

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....72

1. AVANCES OBTENIDOS CON LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE IMÁGENES EN TRES DIMENSIONES EN EL PROCESO DE COMPARACIÓN DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS	73
1.1. Las ventajas del escáner en 3D	73
1.2. Supresión de la distorsión inherente a la fotografía de la lesión.....	74
1.3. Mayor control de la distorsión primaria.....	75
1.4. Creación de diferentes huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida	82
1.5. Otros recursos informáticos del programa DentalPrint©	84

2. ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DEL MÉTODO DENTALPRINT© PARA LA COMPARACIÓN DE LAS HUELLAS DENTALES EN TRES DIMENSIONES OBTENIDAS DEL MODELO DENTAL Y LA IMPRESIÓN DE LA MORDEDURA	84
3. MÉTODO DE COMPARACIÓN CUANTITATIVO DE LAS IMÁGENES OBTENIDAS DE LOS MODELOS DENTALES Y DE LAS IMPRESIONES DE LAS MORDEDURAS.....	94
V. CONCLUSIONES	99
VI. BIBLIOGRAFÍA	102

I. INTRODUCCIÓN

1. INTERÉS MÉDICO-LEGAL DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

MacDonald (1974) definió el término mordedura (bite mark) como las huellas dejadas por cualquiera de los dientes de forma aislada o en combinación con otras partes de la boca. Desde el punto de vista médico-legal, una definición más completa sería aquella que considera las mordeduras como marcas figuradas o huellas dejadas por los dientes de humanos o de animales, sobre un sustrato que puede ser la piel, de sujetos vivos o cadáveres, o sobre objetos inanimados relativamente blandos (Kizer, 1979; Jaffe, 1983; Earley y Bardsley, 1984; Karazulas, 1984; Rawson y cols., 1984a; Schweich y Fleisher, 1985; Goldstein y Richwald, 1987; Gold y cols., 1989a; 1989b; Epstein y Scully, 1992).

La premisa de que la dentadura humana es única para cada individuo está ampliamente aceptada (Keiser-Nielsen, 1980; Sognaes y cols., 1982; Rawson y cols., 1984b; West, Hayne y Barsley, 1992; Pretty, 2003). El dogma central en el análisis de las mordeduras está basado en dos suposiciones: primero que la dentadura humana es única (exclusiva de cada individuo) y segundo que hay suficientes características diferenciadoras entre ellas que posibilitan la identificación.

Los dientes son las estructuras más duras del cuerpo humano permaneciendo inalterables pese al paso del tiempo o por la acción destructiva de la descomposición cadavérica y otro tipo de agentes externos (fuego, productos químicos, etc.). El proceso de identificación es posible por el altísimo número de combinaciones de características presentes en la dentadura humana: posición de las piezas en la arcada dental, presencia de restauraciones y tratamientos dentales, tipo de las mismas, ausencias dentales, etc. (Adams, 2003a; 2003b). 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 (Adams, 2003b; Martin-de-las-Heras y cols., 2010). Por tanto, los odontólogos/as forenses intentan identificar al causante de una mordedura teniendo en cuenta las características individualizadoras presentes en los dientes del sospechoso (Sweet y Leroy, 1993).

El análisis de una mordedura incluye el examen de la herida para compararla a los rasgos y características de la dentadura del sospechoso. La identificación de una lesión por mordedura es un aspecto crucial en la investigación criminal desde el momento en que una identificación puede establecer que el sospechoso estuvo en la escena del crimen y tuvo contacto con la víctima (Irons, Steuterman y Brinkhous, 1983). La identificación del autor de una mordedura se planteará en el ámbito de la jurisdicción penal. Las huellas por mordeduras constituyen, por tanto, un importante indicio físico en un gran número de situaciones criminales (Atkinson, 1998).

El papel de los odontólogos/as forenses (Avon, 2004) es recoger, analizar y conservar las huellas de una mordedura, basándose, tal y como hemos comentado, en la certeza de que el actor de una mordedura puede ser identificado estudiando las características específicas descubiertas en la herida. Es importante proceder de forma inmediata a la recogida de toda la información y a una adecuada conservación de los indicios, por lo que hay que formar adecuadamente a los profesionales que detectan en primer lugar estas lesiones. En la actualidad es preciso contar con personal especializado para llevar a cabo este tipo de procedimientos muy específicos. También hay que insistir en que las fuerzas de seguridad y cuerpos policiales, forenses y odontólogos generales tengan la información y formación necesarias en cuanto a cómo recoger, registrar, almacenar y transportar los indicios (Whittaker, Brickley y Evans, 1998) pues en ocasiones por no ejecutar estos pasos de forma adecuada, se puede deteriorar o alterar el indicio dificultando o imposibilitando un examen preciso que permita alcanzar conclusiones convincentes (LeRoy y Sweet, 1993; Bernitz y van Niekerk, 2003).

Las lesiones por mordedura llevan siendo admitidas como prueba en un gran número de casos en los Tribunales de Justicia de los Estados Unidos de América (Pierce, Strickland y Smith, 1990) y también en países como Canadá, o los Países Nórdicos, pero sin embargo en otros, como en el nuestro, es necesario un fuerte impulso para su desarrollo y su aceptación como prueba de convicción en los procedimientos criminales.

2. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN DE LAS MORDEDURAS EN HUMANOS

Los dientes a menudo son usados como armas cuando una persona ataca a otra o cuando las víctimas intentan defenderse de su asaltante (Furness, 1981; Walter, 1985; Wood, Miller y Blenkinsop, 1994; Sweet y Pretty, 2001; Pretty y Hall, 2002; Freeman, Senn y Arendt, 2005). Con frecuencia el agresor intenta expresar su poder atacando una parte vulnerable del cuerpo de la víctima (Walter, 1984; Whittaker, 2004). La acción de morder es resultado de la necesidad del agresor de dominar mediante la intimidación (Walter, 1985) y como expresión de dominación y cólera (Webb, Pretty y Sweet, 2000). En casos de defensa propia los dientes de la víctima a menudo constituyen la única arma disponible. Las mordeduras por agresión y las mordeduras de defensa se pueden encontrar en casos de homicidio, homicidio frustrado, agresión sexual, agresiones en general, maltrato doméstico y, en casos de abuso físico y sexual a menores (Cottone y Standish, 1982; Dorion, 1982; Rawson y cols., 1984a; Schweich y Fleisher, 1985; Johnson y Cadle, 1989; Sperber, 1989; Sweet y Leroy, 1993; Rothwell y Thien, 2001; Sweet, 1995; Vale, 1996; Freeman, Senn y Arendt, 2005).

Lowry (1936) en un estudio sobre 122 mordeduras encontró que la localización más frecuente de las mismas era en las extremidades (76%) seguidas de cara y cabeza (8%). Spiers en 1941 confirmó los estudios previos realizados por Lowry, analizando 114 casos donde encontró una localización más frecuente en extremidades (64%) y en cabeza y cara (40%). Harvey (1976a) en un estudio sobre 74 marcas de mordeduras encontró el mayor porcentaje en pechos (31%) y en extremidades (13%). En 1983, Vale y Noguchi sobre 164 casos de mordeduras las encontraron más frecuentes en extremidades superiores (22%) y pechos (10,4%). En el año 2000, Pretty y Sweet sobre 101 casos con un total de 148 mordeduras, encontraron una mayor presencia de marcas en pechos (31,3%), seguidas de los brazos (18,8%). Estas variaciones en cuanto a la distribución pueden deberse a los grupos de personas sobre las que se basaron los estudios. Harvey (1976a) y Vale y Noguchi (1983) utilizaron en su mayoría personas involucradas en casos policiales y por tanto muertas. Sweet y Pretty (2000) tomaron su estudio de casos judiciales de los EEUU.

Recientemente, Freeman, Senn y Arendt (2005) realizaron un estudio sobre la distribución de las lesiones por mordeduras con la información de casos suministrados por 1100 dentistas forenses de 26 países diferentes. El estudio se llevó a cabo fielmente, con 259 personas en las que se habían producido un total de 778 mordeduras. En su estudio llegaron a las siguientes conclusiones:

Con respecto a la víctima:

- Sobre la distribución de las mordeduras en cuanto al sexo y la edad. La mayoría de las víctimas de las lesiones por mordeduras son mujeres (65%) aunque según el patrón de las edades de distribución de las mordeduras por sexo puede variar. De 0 a 10 años la distribución entre sexos es muy parecida, sin embargo, en el rango de los 11 a los 20 años, las mujeres son mordidas 4,16 veces más que los hombres; de los 21 a los 50, 2,75 veces y por encima de los 51 años son 2,4 veces más mordidas las mujeres que los hombres.

- Sobre la distribución de edades y sexo, dependiendo del tipo de crimen. Las mordeduras implicadas en el estudio estaban presentes en un 46,7% en homicidios, 39,4% en agresiones sexuales y en un 32,8% en casos de abuso infantil. El total excede del 100% porque algunos casos de mordeduras involucran varios tipos de delitos. En los casos de agresiones sexuales y homicidios encontramos más mordeduras en las mujeres que en los hombres, especialmente en el rango de edades entre 21 a 50 años.

- Distribución y localización de las mordeduras por edad y sexo en la víctima. De media, entre las mordeduras encontradas en hombres y en mujeres las localizaciones más frecuentes encontradas fueron: brazos (22,7%), espalda (12,1%), piernas (11,7%), cara (10,3%) y pechos (9,3%). Lo que indica que las extremidades superiores son las zonas más frecuentemente mordidas al combinar las mordeduras de los brazos y manos (26,6%). Sin embargo, si los datos de mujeres y hombres se separan, las áreas más mordidas en hombres son: extremidades superiores (32,4%), piernas (14,6%) y cara (11,1%). Como contraste, en las mujeres encontramos: extremidades superiores (23,2%), espalda (16,3%) y pechos

(13,8%). En los casos de abuso infantil apenas hay distinción entre sexos en cuanto a la localización de las marcas por mordedura, encontrándolas en brazos (28,6%), piernas (18,9%), espalda (8,5%), nalgas (7,3%), cara (7,3%), etc. En cualquiera de los supuestos de homicidio, agresión sexual o abuso infantil encontramos más de una mordedura en el 43% de los casos.

Con respecto a los sospechosos de producir las mordeduras:

- Distribución de la edad y sexo según el tipo de delito. El 79% de los agresores causantes de una mordedura eran hombres y el 21% mujeres, este porcentaje en los casos de agresión sexual aumenta aún más a favor de los hombres.

- Casos en los que la víctima mordió a su atacante. La mayoría serían hombres y la distribución de las mordeduras que sufren es, por orden de frecuencia de aparición: brazos, cabeza, cara, etc.

De todo lo expuesto se deduce que:

1. Las mordeduras pueden encontrarse en cualquier localización del cuerpo.
2. La presencia de las mordeduras en un cuerpo puede ser individual o múltiple.
3. Las mordeduras podemos encontrarlas tanto en las víctimas como en los agresores.
4. La presencia de las mordeduras está relacionada con:
 - a. Tipo de delito perpetrado
 - b. Edad y sexo de la víctima
 - c. Si se produce en la víctima o en el atacante (mordeduras de defensa)
 - d. La edad y el sexo del atacante

5. Estudios demográficos de víctimas y sospechosos indican que en toda investigación deben examinarse ambos, pues es posible que presenten varias marcas de mordeduras. En un gran número de casos hay más de una mordedura, por lo tanto si se descubre una hay que buscar, porque puede haber más.

3. LAS MORDEDURAS COMO INDICIO FÍSICO

Las mordeduras humanas se pueden analizar usando métodos similares a los empleados para comparar otros indicios físicos en los que el proceso implica una medida y comparación detallada de los modelos de la huella con los modelos de una determinada herramienta. Algo similar ocurre cuando se comparan las huellas dactilares, o las huellas dejadas por un zapato o el neumático de un coche. Se usan características generales para identificar el origen genérico del objeto que causa la marca (DeForest, Gaensslen y Lee, 1983). Por ejemplo, examinando las características de la impresión dejada por una pisada en la arena puede deducirse que la huella fue realizada por un calzado de caucho y no por una bota de suela. Rasgos tales como la forma general de la pisada, incluyendo el dedo del pie, la huella del talón y el dibujo de la suela, son fácilmente identificables como las de una zapatilla de deporte. De igual forma un odontólogo puede determinar que una marca redonda con varias incisiones pequeñas y un área central de equimosis, presenta las características generales de una mordedura y es distinta a una herida causada por cualquier otro objeto (West, Hayne y Barsley, 1992).

Las características de *clase* son rasgos o dibujos vistos preferentemente en un grupo dado que indica un origen concreto (DeForest, Gaensslen y Lee, 1983). En el caso de la dentadura humana, el número y la forma de los dientes individuales y el patrón de los arcos dentales superior e inferior, son consideradas características de clase. Por ejemplo, un odontólogo puede determinar que una mordedura fue causada por un adulto y no por un menor comparando el tamaño de los dientes con el tamaño, forma y anchura del arco dental una vez conocidos los patrones generales de las dos poblaciones (Whittaker, Brickley y Evans, 1998). También sería posible usar características de clase para determinar que el

tamaño de contusiones, abrasiones o laceraciones en la herida, están en consonancia con el tamaño y la forma de dientes específicos (Sweet, 1995). La presencia de contusiones rectangulares en la línea media del arco de una mordedura es también una característica de clase de incisivo humano. Las características de clase de los incisivos (rectángulos) difieren de la de los caninos (círculos o triángulos). Si nosotros definimos las características de clase de las mordeduras humanas, podemos diferenciarlas de las mordeduras animales. El término características de clase fue aplicado a las marcas de herramientas y su definición ha sido modificada para adecuarlo a las mordeduras.

Las características *individuales* son rasgos, o dibujos que representan una variación individual. Estas imperfecciones o irregularidades son producidas accidentalmente durante la fabricación de una herramienta o causadas por el uso, desuso o deterioro del objeto (Davis, 1958). En el caso de los dientes, las características morfológicas y anatómicas dentales, tales como fracturas del esmalte, crestas marginales prominentes, superficies curvas, dientes rotados, cúspides prominentes, restauraciones fracturadas y otros rasgos distintivos, son reconocidas como características dentales individuales y pueden proveer datos valiosos al odontólogo/a forense con el fin de identificar con precisión cuáles son los dientes del individuo responsable de una cierta mordedura (Butcher y Pugh, 1975; LeRoy y Sweet, 1993; Sweet y LeRoy, 1993). El valor de la característica individual es que ésta es la diferencia entre individuos y ayuda a identificar al agresor. El número específico y reproducción precisa de estas características individuales determina la fuerza de convicción para asegurar que un sospechoso particular hizo la mordedura, sin embargo, debido a la escasa capacidad de la piel para registrar las características de los dientes, a su elasticidad y flexibilidad, con frecuencia se producen patrones poco definidos o distorsionados en la herida, siendo a menudo, una tarea sumamente complicada.

4. PROBLEMÁTICA MÉDICO-LEGAL EN EL ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

El análisis de una mordedura incluye el examen cuidadoso y completo de la herida para compararla a los rasgos y características de la dentadura del sospechoso (Sweet, 1995). El hecho fundamental es que las impresiones dejadas por los elementos duros (dientes) sobre un soporte poseen unas características individualizadoras que pueden ser empleadas para la identificación del sujeto que causó la herida. En el análisis de las huellas por mordeduras existen varios problemas asociados que lo hacen especialmente complejo.

El primer problema es la dificultad del reconocimiento de las mordeduras, que pueden pasar desapercibidas en una primera exploración. En general, se debe sospechar de cualquier marca o contusión redondeada pero, a veces, pueden ser producidas por otros objetos como joyas, juguetes, tacones de zapatos (Harvey, 1976b), desfibriladores cardiacos (Grey, 1989), hebillas de cinturones u otros elementos que puedan simularlas (James y Cirillo, 2004).

La dificultad del reconocimiento también es debida a que los dientes pueden producir diferentes tipos de lesiones y que, clásicamente, se han clasificado en 5 categorías de acuerdo a la intensidad de la agresión. La clase I son eritemas producidos por la presión de los dientes o de los labios, es decir, lo que producen es una congestión superficial. La clase II es cuando se produce una extravasación de sangre a los tejidos (equimosis). La clase III es una erosión en la piel; este tipo de lesiones están producidas por un desplazamiento de los dientes del agresor sobre la piel de la víctima. La clase IV se observa cuando los dientes penetran en la piel produciendo laceraciones y la clase V está reservada para cuando producen pérdida de sustancia.

Otro de los problemas a los que nos enfrentamos es que se trata de lesiones en las que influye sobremanera el tiempo transcurrido desde la agresión hasta la recogida y registro de la huella, tanto si se produce en una persona viva debido a los fenómenos reparativos, como si se produce en un cadáver debido a su vez a los procesos destructivos.

En los sujetos vivos, a veces, cuando transcurre uno o dos días del suceso, las marcas dentales se difuminan y es más difícil estudiar el patrón dejado por los dientes. Sin embargo, en ocasiones si hay mucha inflamación ocurre lo contrario; al pasar unos días y disminuir el proceso inflamatorio, podemos ver con mayor nitidez las marcas dejadas por los dientes. Debido a que estos procesos van cambiando es preciso ir analizándolos y documentarlos fotográficamente en días sucesivos, tal y como se describirá más adelante. En los cadáveres no sólo se alteran las lesiones por los procesos de putrefacción sino que también influye el efecto de la gravedad pudiéndose acumular líquidos en la mordedura, es lo que se conoce con el nombre de distorsión secundaria (Sheasby y MacDonald, 2001). Además, en ocasiones podemos encontrar marcas sobre las huellas de la mordida producidos por ataque de animales al cadáver (Patel, 1994).

Otro problema que se nos plantea cuando analizamos este tipo de huellas es que pueden adoptar formas y patrones múltiples, ya que se trata de la agresión producida por un instrumento móvil como es la boca, que incide sobre una superficie generalmente también móvil como es el individuo que también se mueve con la intención de librarse de su agresor (distorsión dinámica) (Sakoda y cols., 2000). En un 60% de los casos de sujetos vivos mordidos se describen expansiones lineales por movimientos de la víctima o de la mandíbula (DeVore, 1971).

Si la agresión es sobre la piel, el problema puede ser aún mayor ya que es un material inadecuado para mantener las marcas debido a su elasticidad y flexibilidad (distorsión de tejidos), además de no ser un buen soporte para la posterior toma de impresiones. Otros factores como el grado de elasticidad, espesor de la piel o presencia de hueso bajo el área de mordida también pueden determinar diferentes tipos de huellas. Además, los tejidos humanos a menudo son curvos y pueden distorsionar la impresión real (Sheasby y MacDonald, 2001). Estos aspectos no invalidan la utilidad del análisis pero enfatiza la necesidad de un reconocimiento rápido de las mordeduras, una técnica impecable de recogida de las mismas, y un análisis cuidadoso y completo de todas las huellas.

Un último problema que merece la pena discutir se refiere a si realmente tenemos datos científicos que nos permitan discutir que las dentaduras humanas son únicas para cada sujeto y diferentes entre sí. La determinación de la unicidad de la dentadura humana es un tema de interés forense que aunque ha centrado la atención de los investigadores en las dos últimas décadas en éste área, sigue siendo controvertido no existiendo un acuerdo unánime entre la comunidad científica (Pretty y Turnbull, 2001). Establecer la individualidad de una dentadura es extremadamente difícil porque aún desconocemos qué rasgos dentales pueden contribuir de forma definitiva a una identificación positiva.

La probabilidad de que más de una persona puedan producir una mordedura similar o idéntica en un caso específico, es el reto en cada caso de mordeduras y en algunos casos de identificación. Esta posibilidad de identificación es debido a que los tamaños, formas y bordes en que los dientes anteriores se sitúan en las arcadas dentales superior e inferior de forma específica y única, siendo diferentes en cada individuo. Ésto, en parte, tiene su origen en la secuencia de erupción de los dientes anteriores y posteriores. Los caninos deben hacer fuerza en su camino hacia el arco dental lo que a menudo se traduce en rotaciones, y desplazamientos de los otros dientes. La presencia de desgastes, fracturas o restauraciones de los dientes es válida también como rasgo de unicidad. La distribución de las diferentes piezas dentales de la dentadura, produce un dibujo identificable, incluso entre gemelos (Sognaes y cols., 1982) que puede ser comparado con dibujos similares encontrados en víctimas de agresiones o en objetos inanimados mordidos.

No obstante el reconocimiento de estas huellas dentales tiene su problemática debido a que la piel es un material de registro pobre, desde el momento en que es altamente variable en relación a su localización anatómica, la musculatura subyacente, la cantidad de tejido graso, la curvatura e incluso la pérdida o adherencia de tejidos subyacentes. La piel es altamente visco-elástica lo que permite el movimiento de los dientes sobre la misma en cualquier proceso de mordedura incluso cuando se procede a tomar muestras de la huella.

El primer trabajo de investigación que aportó una estadística de la unicidad dental fue publicado por MacFarlane, MacDonald y Sutherland en 1974. Los autores comienzan por diferenciar entre rasgos positivos y negativos de la dentadura. Un rasgo positivo fue descrito como la presencia de un diente con una cierta rotación o cualquier otro rasgo de individualidad. Un rasgo negativo era la ausencia de un diente. Este estudio se concentra en los rasgos positivos que concurren en los dientes anteriores (de canino a canino, maxilar y mandibular). Los análisis se realizaron sobre modelos dentales en los que no se valoraron otro tipo de datos como la presencia o ausencias. Algunas características, como la rotación mesio-palatina de los incisivos centrales maxilares mostraron un alto grado de significación, de forma que podría ser considerada como un rasgo individualizador. Rawson y cols., (1984b) examinaron 397 mordeduras y aplicaron una teoría estadística de probabilidad a los resultados en un intento de proveer finalmente la unicidad del segmento anterior de los dientes humanos. Se realizó el trazado de los bordes de los dientes, y se determinó a partir de un punto central de cada diente el eje x y el eje y, así como la angulación de cada uno de los dientes. Se determinó que el número mínimo de posiciones que un diente puede ocupar es de 150 y los grados 239,9. Estas cifras fueron determinadas multiplicando el número de posiciones (en el eje de coordenadas x/y) por los ángulos observados. Rawson eligió el número 150 como el número de posibles posiciones de cada diente representado en una escala. Basándose en esta premisa, la probabilidad de encontrar dos conjuntos de denticiones iguales incluyendo las seis piezas anteriores maxilares o mandibulares con las piezas dentarias en la misma posición era de 1.4×10^{13} . Asumiendo que la población mundial es de 4 billones (4×10^9) Rawson, manifestó que una coincidencia de cinco dientes en una mordedura debería ser suficiente evidencia en la identificación positiva de un individuo como mordedor para excluirlo de todos los otros, y por tanto se concluye que cada dentadura es única. En este estudio se asumía que la posición de cada uno de los dientes era enteramente independiente de la posición de los otros, extremo que no es totalmente cierto por lo que los resultados hay que interpretarlos con prudencia.

En la actualidad existen estudios que han demostrado la individualidad de la dentadura, para ello han utilizado bases de datos de personas a los que se le realizaron odontogramas, y a partir de éstos se asignaron una serie de valores a cada pieza

dependiendo de cuál fuera la superficie que estuviera tratada, o si el diente estaba o no presente, etc. Observaron que la posibilidad de combinaciones posibles diferentes de los patrones dentales según las piezas presentes y los tratamientos recibidos en ellas eran tan altas como las encontradas en el ADN mitocondrial, por lo tanto, esto establecería la individualidad de la dentadura humana (Adams, 2003a). Estos datos tienen una gran trascendencia porque nos permitiría identificar a los individuos mediante la valoración de los registros dentales. El método utiliza un programa de ordenador llamado OdontoSearch, que es similar en cuanto a funcionamiento al usado en los trabajos de identificación de ADN mitocondrial. Así se determinó que, a veces, incluso un número pequeño de características dentales son suficientes para la identificación debido al vasto número de posibles combinaciones de patrones dentales que están presentes en la dentadura humana, y que son un medio excelente para la identificación personal (Adams, 2003b).

Sin embargo, una de las principales limitaciones que se pueden plantear a la hora de utilizar los patrones dentales como método de identificación humana es que las características dentarias tienen una baja estabilidad en la población, sobre todo, en comparación con las secuencias de ADN mitocondrial que sólo se ven afectadas por las mutaciones y la heteroplasmia. Los patrones dentales de una población determinada dependen del estado de salud oral y, por tanto, dependen de la edad (la caries es una enfermedad acumulativa) y de la cohorte de nacimiento del sujeto (Bravo y cols., 2001; Hugoson y cols., 2000), ya que el enfoque terapéutico dental es diferente; actualmente estamos en una era restaurativa frente a la era extraccionista de hace unas décadas. Sin embargo cuando fueron analizadas bases de datos de patrones dentales de poblaciones españolas para diferentes grupos de edad y de cohorte de nacimiento, se encontraron resultados de test de homogeneidad altos para todas las bases de datos, con unos valores de variabilidad de 0.999 para la mayoría de las situaciones estudiadas. Tras estos resultados, se puede concluir que, una vez desarrollado un análisis estadístico cuantitativo basado en la comparación empírica de bases de datos dentales, la diversidad dental obtenida es lo suficientemente alta para constituirse como un método de identificación humana de base científica con fines forenses (Martín de las Heras y cols., 2010).

En el proceso de identificación de un individuo por el estudio del ADN se puede estimar un porcentaje de coincidencia porque el ADN es en principio, inalterable e inmutable; un individuo tiene uno en particular durante toda su vida. Sin embargo, no ocurre lo mismo en los tratamientos odontológicos porque un sujeto puede estar sometido a múltiples intervenciones (extracciones, coronas, obturaciones etc.) a lo largo de su vida y por tanto, la identidad de un individuo podría variar ya que entre el momento en que se realizó la mordedura a otra persona y el momento en el que lo han detenido ha podido estar sometido a diversos tratamientos que cambian la imagen de la mordida.

Existe actualmente una línea de investigación que pretende cuantificar las características individualizadoras que aparecen en las mordeduras. En este sentido, Al-Talabani y cols. compararon mediante dos métodos diferentes las fotografías de una serie de mordeduras experimentales practicadas sobre los brazos de un grupo de 50 voluntarios y sus modelos dentales. El primero de los métodos consistió en unir mediante una línea dos puntos obtenidos a partir de las cimas de los caninos para determinar las rotaciones de los cuatro incisivos en relación a esta línea de referencia. El segundo de ellos se calculó la distancia intercanina, el espesor y la anchura de los dientes y el valor rotacional para cada diente. De este estudio concluyeron que el primero de los métodos era más fiable que el segundo por ser más objetivo (Al-Talabani y cols., 2006).

En esta misma línea, Bernitz y cols. (2006) describieron otro método para analizar las rotaciones de los dientes anteriores. Para ello clasificaron el grado de rotación como común, poco común y muy poco común según la clasificación estadística de Allan (Allan, 1982) y concluyeron que ante la ausencia de piezas dentales anteriores una única rotación pero muy acentuada (muy poco común) podía equivaler a varias rotaciones comunes.

Otro método desarrollado en este sentido es el de Metcalf (2008) que consistió en realizar una modificación del método “highlighting” propuesto por Gustafson (Gustafson, 1963). Ayudándose de un marcador de tinta invisible y luz ultravioleta obtuvo imágenes con alto contraste de los bordes incisales de los modelos. Este método presenta las siguientes ventajas: no deja marcas visibles sobre los modelos y reduce la subjetividad del

operador debido a que no influye la fineza del trazo a la hora de pintar los bordes incisales y además permite la generación de transparencias de forma sencilla mediante el uso de programas informáticos de procesamiento de imágenes como Adobe® Photoshop®. A partir de estas imágenes propone la cuantificación de las rotaciones de los dientes anteriores.

Hasta el momento presente, todos los artículos publicados han estudiado la individualidad de los dientes anteriores a partir de modelos dentales. Sin embargo, aún no ha sido posible extrapolar la predictibilidad de dichos estudios cuando el sustrato es la piel. La dificultad radica en que se trata de un tejido que ante cualquier deformación se comporta como un sustrato heterogéneo, viscoelástico, no lineal y anisotrópico (Hendriks, 2001).

5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LAS HUELLAS POR MORDEDURAS

Existe un debate considerable con respecto a las exigencias a las que deben someterse el análisis de las huellas de mordedura y, en última instancia, a su valor forense (Pretty y Sweet, 2000). El procedimiento más común de comparar heridas de mordedura y dientes de un sospechoso consiste en la comparación de fotografías de tamaño real de la herida en la piel, con los modelos en yeso de los dientes del autor. Aunque no existe un consenso general en relación con la evaluación y comparación de las huellas de mordeduras para obtener conclusiones convincentes con un mayor o menor grado de certeza, tanto las normas para la recogida de huellas, como la toma de las impresiones de los sospechosos, se deben de realizar de acuerdo a un protocolo razonablemente aceptado como es el de la Comisión Americana de Odontología Forense (American Board of Forensic Odontology, ABFO, 1986; 1995). De acuerdo a este protocolo el proceso de comparación de las mordeduras se ha de desarrollar en tres fases: 1) reconocimiento de la mordedura y su posterior análisis en la piel de la víctima o sobre el objeto inanimado; 2) recogida de las muestras del sospechoso, y 3) comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso.

5.1. Reconocimiento y análisis de la herida por mordedura

El reconocimiento de una huella por mordedura depende de que la marca se impregne en una sustancia o medio que retenga la forma de la mordedura y que permita analizarla posteriormente. Hay dos lugares específicos donde podemos observar huellas por mordedura. La primera es en objetos inanimados. La segunda, y más frecuente localización es la piel humana. En un primer examen, lo primero que tenemos que ver es si se trata realmente de una mordedura o no y, en segundo lugar, si es humana (Whittaker, Brickley y Evans, 1998). En general, se debe sospechar de cualquier marca o contusión redondeada. Pero una huella por mordedura humana típica aparecería como una lesión de forma redondeada, ovalada o elíptica con un patrón de doble arco (dos arcos opuestos con forma de U, separados en sus bases por espacios abiertos que representan la parte posterior de la boca) y que estaría compuesta por las siguientes zonas 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 o por la presión negativa debida a la succión producida por la lengua (Figuras 1 y 2).

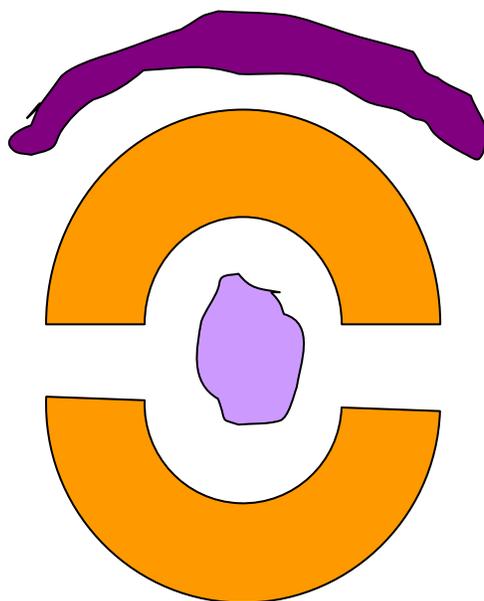


Figura 1. Esquema de una mordedura típica. En esta imagen podemos ver dos arcos opuestos en forma de U donde se ubicarían las marcas dejadas por los dientes (color ocre), equimosis dejadas por los labios (color morado) y contusión central (color malva).

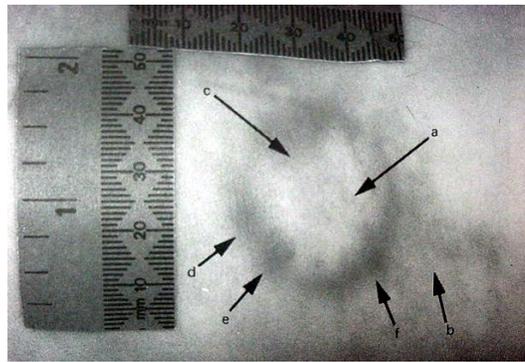


Figura 2. Fotografía de una mordedura humana típica. (Tomado de Ciapparelli y Hughes, 1992). En la parte central y señalado con la letra “a” se observa una zona de equimosis producida por la presión de la lengua. La flecha “b” señala una zona difusa equimótica producida por los labios. La flecha “c” nos indicaría las marcas producidas por la superficie palatina (interna) de los incisivos superiores, las flechas “d, e, f” indican características específicas de las marcas dentales.

En la mayoría de las huellas por mordeduras se observan las marcas producidas por los dientes. La huella dejada por los incisivos es superponible a un rectángulo alargado; los caninos dejan una impronta de forma triangular; los premolares pueden adquirir una forma variable que puede ser triangular, doble triángulo, o forma adiamantada; y, por último, los molares, que no suelen aparecer en la huella por su posición tan posterior en el arco dentario pero, si lo hacen, tienen forma de rectángulos anchos.

A veces, el patrón de mordida típico puede verse modificado, encontrándonos variaciones, éstas incluyen:

1. Rasgos adicionales

Son elementos que podemos encontrar añadidos a las características típicas, tales como:

- Abrusiones lineales. El término abrasiones lineales es comúnmente usado para describir el movimiento entre los dientes y la piel.

- Doble mordedura. En ocasiones un agresor puede morder a su víctima de forma repetida en un mismo lugar dando lugar a imágenes de mordeduras superpuestas las unas sobre las otras o cuando el agresor muerde a su víctima y esta se mueve produciendo una segunda mordedura en el mismo sitio (Bundy, 1986).

- Dibujos a través de los tejidos o ropa interpuesta. En ocasiones la mordedura puede aparecer incompleta, debido a que parte de la piel donde se produjo la misma estaba cubierta por ropa impidiendo por lo tanto que se impresionaran bajo esa zona las marcas dentales.

- Equimosis periférica. A consecuencia de las heridas producidas por las piezas dentales, se produce una extravasación sanguínea que va a ir confluyendo de unas a otras, produciendo una imagen en forma de arco y exterior al contorno de la mordedura.

- Mordeduras parciales. Son mordeduras en las que no se presentan las marcas típicas de los dos arcos dentales enfrentados entre sí, de manera que faltan elementos de lo que sería una mordedura normal. Podemos encontrarlos:

- Un arco (media mordedura). A veces porque había ropa interpuesta.
- Uno o pocos dientes. Por falta de presión o ausencia de los mismos.
- Marcas unilaterales (un lado) debido a una dentadura incompleta, presión desigual, torcida o distorsionada.

2. Mordeduras poco definidas/descoloridas (desvanecida)

Debido a los fenómenos de extravasación sanguínea que acontecen a toda mordedura, a veces, y cuando éstos son muy intensos pueden provocar tal hemorragia, que produzcan un dibujo que difiera de lo que es una mordedura normal (arcos enfrentados entre sí con las marcas de las piezas de forma individualizada). De esta forma podemos encontrar:

- Arcos fusionados. La presión colectiva de los dientes deja arcos en forma de anillo sin presentar marcas de los dientes individuales.

- Mordedura sólida. El dibujo en anillo no aparece porque el eritema o contusión llena el centro entero, dejándolo lleno, descolorido, es como una marca circular.

- Arcos unidos. El maxilar y arco mandibular no están separados, están unidos por sus bordes.

- Latente. Vista sólo con técnicas especiales de imágenes. A veces la intensidad de la mordedura puede ser muy leve o haberse producido hace tiempo, en cualquiera de los casos siempre se producen pequeñas roturas de vasos sanguíneos y del tejido circundante que puede observarse con procedimientos que utilizan luces especiales bajo las cuales se visualizan estas marcas.

3. Mordeduras avulsivas

En este tipo de mordeduras se producen pérdidas de sustancia, pérdida de tejido implicado en las mismas, debido a que se trata de mordeduras que se han realizado con una gran intensidad y que provocan desgarros con lo que perdemos información sobre las marcas que hubieran dejado la piezas dentales. Esto suele ser frecuente en mordeduras producidas sobre la nariz, orejas, etc.

A pesar de las características típicas que pueden aparecer en las mordeduras humanas, tenemos que tener en cuenta las diferentes modificaciones que podemos encontrarnos, por ello es necesario tener un conocimiento detallado de la forma de la arcada humana, la morfología de cada diente, y las modificaciones que hayan podido producirse por la propia dinámica de la mordedura. Es por toda esta dificultad inherente a la propia herida por lo que en la mayoría de las ocasiones, si esto fuera posible, se debe oír el criterio científico de un odontólogo/a forense.

Una vez que sabemos que se trata de una huella por mordedura humana, la mayoría de los odontólogos/as forenses están de acuerdo en que el protocolo a seguir sería el siguiente:

1. Recogida de saliva si hubiera.
2. Fotografiar la lesión y;
3. Toma de impresiones de esa zona de la piel para obtener posteriormente un modelo.
4. En el caso de que la víctima fuera un cadáver, el protocolo también podría incluir la disección de la piel en el lugar de la mordedura.

5.2. Recogida de restos de saliva en la lesión por mordedura

Desde el momento que se asume que una mordedura no puede realizarse sin el depósito de saliva en el sitio de la herida, se comprende el interés que tiene la recogida de dicho indicio biológico. La muestra de saliva del lugar de la mordedura debe ser obtenida siempre que sea posible. Obviamente ciertas circunstancias como el lavado previo de la zona pueden impedir la toma de las muestras de saliva.

Las técnicas más tradicionales de análisis de la saliva con fines de identificación se basan en el estudio de los grupos sanguíneos. Los serólogos estiman que el 80-85% de la población secreta aglutininas en sus fluidos corporales (saliva, líquido seminal, lágrimas, sudor), las cuales pueden ser utilizadas para determinar el grupo sanguíneo al que pertenece (Clift y Lamont, 1974; Rutter y Whitehead, 1977; Sperber, 1986; Johnson y Cadle, 1989). En algunos casos también se puede estudiar la presencia de marcadores polimórficos convencionales de saliva (isoenzimas y proteínas polimórficas) presentes en la saliva o en objetos manchados por ella y recogidos en el lugar de los hechos (Gaensslen, 1983). Además se pueden analizar otras sustancias presentes en la saliva mediante el empleo de determinaciones específicas como la del ion tiocianato, el ion nitrito, la fosfatasa alcalina y

la amilasa salivar (Willott, 1974; Whitehead y Kipps, 1975; Kipps, Quarmby y Whitehead, 1978; Rushton y cols., 1979; DeForest, Gaensslen y Lee, 1983).

No obstante, el empleo de estas técnicas tradicionales ha sido desplazado por el análisis de ADN, por su alta capacidad de discriminación entre individuos. De hecho, se ha demostrado que la saliva depositada contiene células epiteliales descamativas de la cara interna de los labios y de la mucosa oral, y leucocitos de los fluidos gingivales y tejidos. Estas células permiten el estudio genético molecular (ADN) para la identificación del agresor (Gill, Jeffreys y Werret, 1985; Giusti y cols., 1986; Kanter y cols., 1986; Hochmeister y cols., 1991; Walsh, Varlaro y Reynolds, 1992; Hopkins y cols., 1994; Sweet y cols., 1997; Sweet y Hildebrand, 1999). El tiempo de recogida de la saliva es crítico ya que durante las primeras 24 horas la concentración de ADN va disminuyendo rápidamente, para posteriormente mantenerse estable entre las 24 y 48 horas (Sweet y cols., 1997).

Para una mejor recuperación de las células epiteliales descamadas y de los leucocitos, los cuales en su mayor parte, suelen estar deshidratados tras secarse en la superficie de la piel, en el Departamento de Medicina Legal de la Universidad de Granada, el Dr. David Sweet desarrolló una técnica nueva que permite obtener los mejores rendimientos de recuperación de la saliva, cuantificación del ADN y su posterior amplificación. Dicho método es conocido como del doble hisopo o método húmedo/seco (Sweet y cols., 1997). En este procedimiento el primer hisopo se sumerge en agua destilada, se aplica sobre la piel realizando movimientos circulares con una presión moderada. Con ésto se persigue rehidratar y soltar la mayoría de las células epiteliales, que se encuentran en la saliva reseca que ha sido depositada en la piel. A pesar de que el ADN salivar es una evidencia muy importante, no siempre está disponible ya que hay casos en los que la mordedura se produjo a través de la ropa, el lugar de la herida se lavó, transcurrió mucho tiempo entre el incidente y la recogida de muestra, algún fallo en la recogida con el algodón o por su alto coste (Sweet y Pretty, 2001) y, por tanto, es necesario proceder a la comparación morfológica.

Para realizar un estudio comparativo adecuado de los perfiles genéticos (ADN) de la víctima y del presunto agresor o agresores, es imprescindible tomar muestras biológicas de la víctima y de los agresores.

5.3. Análisis fotográfico de la lesión por mordedura

Está ampliamente aceptado que la realización de fotografías es uno de los mejores métodos disponibles para analizar y documentar las mordeduras (Robinson y Wentzel, 1992). La técnica debe ser lo más depurada posible, incluyendo una serie amplia de proyecciones y condiciones fotográficas (Golden, 1996). Por tanto, deben tomarse proyecciones generales en las que se recoja la orientación de la lesión con distintas estructuras anatómicas, así como proyecciones cada vez con más detalle del área lesionada. La resolución de las fotografías debe de ser de alta calidad. Se debe realizar fotografías con y sin escala (lineal plana, o autoadhesiva) o regla homologada (como la que propugna la ABFO nº2, Lightning Powder Co., Inc., Salem Oregon), la escala debe estar adyacente a la mordedura y en el mismo plano que ésta. La cámara fotográfica debe colocarse sobre la lesión, de tal manera que el plano de la película sea paralelo al plano de la escala para evitar distorsiones producidas a este nivel (Rawson y cols., 1986a). La serie fotográfica debe incluir fotografías realizadas con flash (el flash debe utilizarse en posición oblicua y desde diferentes ángulos para iluminar distintas áreas de la lesión) como con luz ambiente y deben utilizarse tanto películas fotográficas en color como en blanco y negro (Wright, 1998). También podemos usar flash anular para mejorar algunos detalles de la fotografía.

Para la realización de estas fotografías podemos utilizar un trípode u otros dispositivos que nos permitan colocar el film de la cámara paralelo a la mordedura. Debido al cambio que sufren estas lesiones con el paso del tiempo, sería deseable repetir la serie fotográfica a intervalos de tiempo regulares; se recomienda cada 24 h durante un periodo de 3 a 5 días.

El objetivo del estudio fotográfico es conseguir una verdadera reproducción de los dientes del agresor (1:1) por tanto, es necesario minimizar, en la medida de lo posible,

todos los factores que puedan distorsionar la realidad para conseguir una correcta interpretación de los resultados (Bowers y Johansen, 2001). A pesar de que pongamos todo nuestro empeño en evitar la distorsión fotográfica, ésta estará presente en casi todos los casos. Actualmente se dispone de medios informáticos a través del programa Adobe® Photoshop® para poder corregirla y a partir de ahí obtener imágenes a tamaño real de la mordedura en cuestión (Johansen y Bowers, 2000; Bowers y Johansen, 2002).

En la actualidad se están utilizando mucho las cámaras digitales para la realización de los procedimientos fotográficos, ya que ofrecen imágenes de muy alta calidad, además tienen otras muchas ventajas sobre las cámaras convencionales y es que las imágenes obtenidas podemos borrarlas en el momento de hacerlas si no quedáramos contentos con el resultado obtenido y hacer otras de nuevo. Otras ventajas sobre las cámaras fotográficas convencionales es la rapidez de poder realizar el estudio comparativo pertinente, ya que las fotos obtenidas pueden introducirse al ordenador de forma inmediata sin tener que escanearlas previamente.

5.4. Toma de impresiones para la obtención de modelos de la huella por mordedura

Si la mordedura presenta perforaciones en la piel o tiene identaciones obvias, se debe tomar una impresión de dicha área. Tanto en los casos de mordeduras producidas en sujetos vivos como en cadáveres, se puede obtener un modelo preciso de la lesión utilizando materiales dentales de impresión. El material dental de impresión que se utiliza se debe caracterizar por tener una gran precisión y buena estabilidad a largo plazo como el vinil-polixilosano de media y baja densidad (Ciesco y cols., 1981; Lacy y cols., 1981; Dailey, Shernoff y Gelles, 1989). Para reforzar el material de impresión y contrarrestar los cambios dimensionales es necesario utilizar un mecanismo de soporte que además reduce el riesgo de distorsión inherente a la curvatura de la zona anatómica (Sperber, 1981). Los criterios que debe seguir este dispositivo es el de rigidez y estabilidad, para así mantener el contorno anatómico de la impresión una vez es separado de la piel. Cada odontólogo/a forense está familiarizado con algún dispositivo en particular, como mallas de alambre, soportes de resina acrílica o mallas ortopédicas termoplásticas.

El tiempo de fraguado del material de impresión oscila, según los fabricantes entre 5-7 minutos bajo circunstancias normales. Este tiempo puede ser significativamente mayor cuando se trata de cadáveres, ya que la temperatura corporal es mucho menor, alcanzando tiempo de fraguados de 20 ó 30 minutos e incluso superiores. Posteriormente, en la impresión se vierte el yeso dental y se obtiene el modelo de la mordedura de forma que se pueda así obtener el positivo de la huella original. Cuando la piel no está perforada, un método alternativo es el mismo que el utilizado en las huellas dactilares: impresionando la huella sobre un papel adhesivo tras la aplicación del polvo de revelado sobre la lesión (Rao y Souviron, 1984).

En este trabajo se propone la toma de impresiones con una silicona de mordida Futar D Fast para posteriormente ser escaneada en 3D y realizar la comparación con las huellas generadas con el programa informático DentalPrint© a partir de los modelos del sospechoso escaneados también en 3D.

En ocasiones y en el caso de que la víctima sea un cadáver puede ser importante extirpar la lesión de la mordedura para conservarla y estudiarla por transiluminación (Dorion, 1982; Dorion 1984; Dorion 1987). Es imprescindible para que no se deforme la mordedura, colocar un anillo de plástico (Sweet y Bastien, 1991) alrededor de la misma, adaptándola bien a la curvatura anatómica de la piel. Este anillo se moldea en un baño de arena o de sal (a una temperatura de 106 °C) y se adapta a la piel uniéndolo a ésta con pegamento de cianocrilato y sutura discontinua (Sweet y Bastien, 1991). Una vez adaptado, pegado y suturado el anillo se llena su interior con silicona fluida, que nos servirá de impresión. Cuando fragüe el material de impresión, recortaremos el tejido unos 2 cm por fuera del arco incluyendo la dermis y el tejido subcutáneo. El fragmento de piel hay que fijarlo en formaldehído al 4% unas 10 horas. Con el material de impresión retirado se procederá al vaciado del mismo con yeso dental para obtener el modelo de la mordedura. Una vez fijado el tejido puede ser analizado con técnicas de transiluminación, de interés sobre todo en lesiones por mordeduras con marcas difusas.

5.5. Recogida de muestras del sospechoso

Para una comparación posterior es imprescindible recoger las muestras del o de los sospechosos. Se debe incluir: un examen clínico completo (intraoral y extraoral), fotografías, la toma de impresiones para la obtención de modelos dentales de estudio, registro interoclusal, y muestras de saliva o sangre. Previamente a la exploración o recogida de muestras del sospechoso, es necesario informarle del motivo de la visita y obtener su consentimiento por escrito y firmado.

5.5.1. Examen clínico completo

Se comenzará con un examen extraoral en el que observaremos y registraremos cualquier factor en los tejidos orales, duros o blandos (cicatrices faciales, secuelas de tratamientos quirúrgicos), que puedan influir en la dinámica de la mordida del sospechoso o la capacidad de apertura y movimiento de la mandíbula. Se valorará el estado de la articulación témporo-mandibular (ATM), asimetrías faciales, el tono y la masa muscular, así como la presencia de vello facial, por la posibilidad de que se pudiera encontrar algún pelo en la mordedura. En la exploración intraoral se debe ser muy minucioso realizando un odontograma completo, anotando cualquier característica individualizadora que pueda permitirnos la posterior identificación, también tenemos que valorar el estado periodontal, sobre todo la movilidad de piezas por la posible variación en la posición de los dientes. Se realizará, además, un estudio oclusal (resaltes, sobremordidas, etc.) y se incluirá una exploración de la lengua (alteraciones del tamaño o del movimiento). Además, hay que asegurarse si el agresor ha recibido o no más tratamientos dentales desde el incidente hasta el momento de la exploración.

5.5.2. Documentación fotográfica

Es necesario realizar una serie fotográfica al sospechoso, en la que se incluyan las siguientes proyecciones.

1. Fotografías extraorales de frente (con los dientes cerrados en oclusión céntrica y borde a borde) y de perfil.
2. Fotografías intraorales. Se realizarán diferentes proyecciones con ayuda de espejos intraorales (Sweet y Leroy, 1993). En todas las fotografías se debe incluir una escala de la ABFO n° 2.

5.5.3. Toma de impresiones y obtención de modelos

La técnica de toma de impresiones no varía de la que se realiza en la práctica clínica habitual empleando cubetas convencionales. El material que se debe utilizar es aquél que permita obtener un modelo lo más preciso posible, así que es preferible el vinyl-polixilosano. Las impresiones se vacían con yeso blanco (preferiblemente el utilizado en ortodoncia debido a su dureza) y es recomendable obtener dos juegos de modelos; el primero se debe guardar sin manipular y el segundo es el que se utiliza para el análisis. Hay que anotar el lugar, el tipo de material usado, material de vaciado y marcar la base del modelo con un número de identificación y fecha.

5.5.4. Registro interoclusal

Sería conveniente obtener del sospechoso un registro interoclusal en cera en oclusión habitual o máxima intercuspidadación tomando las arcadas superior e inferior de forma independiente. Es importante en este registro que los dientes se hundan con la suficiente profundidad en el material de cera como para que queden registradas todas las superficies oclusales y bordes incisales pero que no atraviesen y perforen la plancha de cera. Sobre los modelos en cera del registro interoclusal se puede añadir material radiopaco y

radiografiarlo o bien realizar una toma de impresiones sobre las identaciones dejadas en la cera.

5.5.5. Recogida de muestra de saliva

Si se ha recogido saliva de la mordedura es necesario obtener una muestra de saliva del sospechoso. Se recoge la muestra utilizando un hisopo que se presiona con movimientos circulares sobre el vestíbulo y de esta manera se recoge tanto saliva como células epiteliales descamativas. Este registro debe hacerse en ambos lados de la boca, dejar las muestras secar al aire en lugar seguro. Una vez seco se etiquetan y se guardan en frío hasta su posterior análisis. Con las muestras obtenidas tanto del sospechoso como de la mordedura se puede proceder al análisis comparativo de ADN.

5.5.6. Recomendaciones generales

La exploración que se debe realizar en el sospechoso depende del grado de cooperación de la persona, por tanto, en situaciones en la que la cooperación no sea la adecuada, deberemos priorizar aquellas pruebas que son indispensables para nuestra investigación: fotografías, modelos de estudio y recogida de saliva.

5.6. Comparación de la huella de la mordedura con las muestras del sospechoso

Es el último paso en el análisis de las huellas por mordeduras y consiste en comparar la mordedura desconocida encontrada en la víctima o en un objeto con la del sospechoso. Los indicios con los que contamos para llevar a cabo el proceso de comparación de la mordedura, pueden ser variados: por parte del sospechoso podemos disponer de fotografías de su dentadura, de modelos de su boca y de un registro interoclusal de su mordida en cera. De la víctima disponemos de las fotografías de la mordedura y de los modelos obtenidos de la toma de impresión de la lesión. Todos ellos son factibles por el proceso de comparación, sin embargo, el más utilizado en la actualidad es la comparación entre la fotografía de la huella por mordedura y los modelos dentales del sospechoso. El

proceso de comparación de una huella por mordedura se realiza en dos grandes apartados: el primero comprende la medida de los rasgos y características específicas, conocido como análisis métrico; y en segundo lugar, la asociación de patrones, es decir, la comparación de la forma y el patrón de la herida con los que presenta los dientes del sospechoso. De esta manera, se valora el grado de concordancia entre ellos.

5.6.1. Análisis métrico

En el análisis métrico estudiaremos, en primer lugar, la forma de la mordedura porque ésta depende de la superficie de tejido afectada por la mordedura. Si la forma es elíptica nos indicaría que se ha cogido poca cantidad de piel y que sólo han participado los dientes anteriores, cuando actúan también los premolares la forma de la mordedura es circular (MacDonald, 1974; Jakobsen y Keiser-Nielsen, 1981).

El siguiente problema es analizar qué arco de los dos posibles existentes está producido por los dientes superiores y cuál por los inferiores. Generalmente, el arco producido por los dientes superiores es más ancho (medimos el perímetro o distancia intercanina). Sin embargo, tenemos que tener cuidado, porque en el caso de una mordida cruzada anterior (en una clase III de Angle) podría ser justamente al contrario.

Una vez definido este aspecto, podemos calcular dónde están las líneas medias de cada arco y así conocer la posición de la mandíbula en el momento de la mordedura, es decir, si estaba centrada con respecto al maxilar superior o estaba en una posición oblicua hacia la derecha o hacia la izquierda.

A continuación, mediremos la longitud, anchura y profundidad de las indentaciones, las cuales, representarían los bordes incisales de los dientes del sospechoso, que son las marcas más estables de este tipo de lesiones. En ellos podemos observar algunas características individualizadoras como rotaciones, fracturas, ausencias o alteraciones oclusales (si una marca de un diente anterior no aparece puede ser debida a que el diente no esté o que tenga una posición oclusal en la arcada en un plano inferior). También

mediremos la distancia intercanina, el espacio entre las marcas de los dientes y el diámetro mesio-distal de los dientes en los modelos del sospechoso (nos indicarían la presencia de diastemas, ausencias o posiciones inferiores del plano oclusal), las rotaciones en la forma normal del arco (indicándonos la existencia de rotaciones dentarias), y malposiciones de los dientes.

Estas mediciones se harán tanto para la huella de mordedura de la víctima fotografiada a tamaño real como para el material procedente del sospechoso (normalmente sus modelos). La comparación de ambos datos nos puede dar una idea del grado de concordancia entre el tamaño y forma de las marcas dejadas en la lesión y los dientes del sospechoso. Para realizar estas medidas es muy útil el empleo de un compás de punta seca, si es posible que tengan un tornillo de ajuste para que pueda mantener de manera precisa las mediciones. El programa DentalPrint© nos permite realizar mediciones sobre las imágenes 3D ya sea de los modelos del sospechoso o de las impresiones de la mordedura.

5.6.2. Asociación de patrones

Una vez se han obtenido los datos más relevantes tanto de la víctima como del sospechoso, comenzamos con el proceso de comparación de los patrones. Muchos han sido los métodos presentados para poder establecer comparaciones entre las mordeduras y los dientes de los perpetradores de las mismas. Para una más clara exposición los vamos a dividir en métodos directos e indirectos.

Métodos directos

El método directo consiste en colocar los modelos del sospechoso directamente sobre las fotografías, y así ver los puntos concordantes. Una ventaja de este método es que los modelos pueden moverse sobre la fotografía y permiten ver la dinámica de la mordedura, mostrando los deslizamientos y rascaduras. West y Frair (1989) usaron directamente los modelos dentales de un sospechoso de haber asesinado a una mujer, colocándolos sobre uno de los pechos de la víctima en la que se halló una mordedura. De

esta forma los arrastraron a través de la piel demostrando que las marcas habían sido producidas por los dientes del sospechoso. El procedimiento entero fue fotografiado, y grabado en video y expuesto como prueba. Furness (1968) describió un método similar usado por la policía con las huellas digitales y que consiste en la búsqueda de puntos de coincidencias entre los modelos dentales y las marcas de los dientes. Esta técnica tiene la ventaja de que detalles como las marcas dejadas por los cúngulos prominentes de algunos incisivos pueden ser tenidos en cuenta como características individualizadoras. La desventaja es que esta técnica no puede ser utilizada en casos de marcas gruesas distorsionadas, donde las líneas podrían no estar diferenciadas nítidamente. Los métodos directos, aunque usados en los inicios del desarrollo de la investigación de las huellas por mordeduras, han sido desbancados por los métodos indirectos.

Métodos indirectos

Los métodos indirectos son los más utilizados. Para comparar el patrón de los dientes del sospechoso con la mordedura, se obtiene una imagen de los bordes incisales de los dientes anteriores superiores e inferiores del sospechoso en una transparencia (papel de acetato) a tamaño real. De esta manera, nos permite comparar los patrones de los dientes del sospechoso con una fotografía de la mordedura que se haya tomado a tamaño real (1:1). El análisis es posible porque la fotografía de la mordedura se puede visualizar a través de la transparencia donde están recogidos los bordes incisales de los dientes del sospechoso y además, se puede mover en cualquier dirección. Este método fue utilizado por primera vez por Sorup en 1924, y citado por Ström (1963). Posteriormente, Cameron y Sims (1974) describieron un método usando un film de acetato adaptado al modelo y trazando sobre él las superficies de los dientes. Sin embargo, no es recomendable utilizarlo en todos los casos ya que el trazado hecho a mano, puede inducir a errores.

Otro método descrito consiste en impresionar una lámina de cera con los modelos, según la técnica descrita por Luntz y Luntz (1973) para producir una impresión de los bordes incisales y caras oclusales de las piezas dentarias. Posteriormente, se coloca una transparencia encima de la cera y se traza con un lápiz fino el perímetro de las marcas

producidas. Una variante de este método es que una vez que hemos realizado las marcas sobre una lámina de cera con los modelos dentales, los rellenamos con un material radiopaco. Para ello mezclamos 600 mg de polvo de amalgama con 30 μ l de alcohol isopropílico, vamos colocando la mezcla en los huecos de las marcas, el alcohol en unos cinco minutos se evaporará, y lo que queda nos marcará la forma, el tamaño y la posición anatómica de las piezas dentales. Haremos una radiografía y la imagen obtenida la importamos a un programa informático de análisis de imágenes (Adobe® Photoshop®) en el que invertimos el color de la imagen (comando inverso), de manera que obtendremos un fondo blanco con bordes negros delimitando el área de los dientes (Sweet y Bowers, 1998). Uno de los métodos que se ha venido utilizando hasta ahora consiste en obtener la transparencia de la mordida del sospechoso fotocopiando los modelos dentales (Dailey, 1991).

En la actualidad, se ha desarrollado un método que permite obtener la huella de mordida de los modelos dentales del sospechoso al detectar áreas de píxeles similares. El método consiste en escanear los modelos dentales de yeso en un escáner de dos dimensiones. La imagen digital obtenida es procesada en un programa de análisis de imágenes (Adobe® Photoshop®) y así se obtiene una imagen de la huella dental, que viene representada como el perfil de los dientes implicados en una mordedura al detectar áreas de píxeles similares. Esta huella puede ser comparada con la fotografía de la mordedura, superponiéndose a ella, ya que la fotografía podemos una vez escaneada importarla también al programa, o bien si se utiliza fotografías digitales se descargan las imágenes directamente al Adobe® Photoshop®. El programa también dispone de medios para poder hacer mediciones lineales y angulares de las marcas observadas en las fotografías de las huellas. De esta manera podemos ver la existencia o no de coincidencias de tamaño de arco, posición de los dientes, número de los mismos, etc. A pesar de que los métodos indirectos para el análisis de las huellas por mordeduras son utilizados en la actualidad, es necesario, mejorar ciertos aspectos como la objetividad, precisión y versatilidad de estos métodos, por lo que es necesario profundizar en la investigación de este campo.

5.6.3. Técnicas complementarias

Aunque las técnicas anteriormente descritas son las más utilizadas actualmente en la práctica, se han desarrollado otros procedimientos fruto del desarrollo de otras líneas de investigación en este campo.

Una de las técnicas que se están desarrollando es el uso de la **fotografía ultravioleta**. Este tipo de fotografías presenta ventajas como que se observan mayor número de detalles en la lesión debido a su mayor longitud de onda. Además, refleja una mayor claridad de líneas debido a la posibilidad de observar cambios pigmentarios que ocurren tras la lesión y que son invisibles a la vista. Incluso semanas o meses después de tener lugar la mordedura pueden obtenerse datos lo suficientemente evidentes, ya que persisten lesiones observables (David y Sobel, 1994).

La **xerografía** y **transiluminación** (Rawson y cols., 1979) son técnicas que han sido utilizadas en el análisis de las mordeduras. Ambas técnicas requieren la disección y extracción del tejido afectado por la mordedura. En la técnica de la xerografía se utiliza una capa de contraste de yodo y sólo es aplicable cuando las indentaciones están presentes. La transiluminación del tejido con una fuente de luz permite realzar la visión de los cambios tisulares ocasionados por la hemorragia producida y la consecuente infiltración sanguínea perilesional. Este procedimiento es especialmente útil cuando la marca es muy difusa.

El uso del **microscopio electrónico** de barrido es otra de las técnicas complementarias usadas. Con el análisis de las mordeduras se intenta descubrir el causante de las marcas dejadas sobre la piel o algún otro material por parte del agresor. Esto conlleva la comparación de uno o más conjuntos de dientes con las marcas en cuestión. Es importante obtener el mayor número de datos y es aquí donde el microscopio juega un papel crucial (Bang, 1976; David, 1986; Lightelm, Coetzee y van Niekerk, 1987) porque la microscopía electrónica es capaz de detectar características individuales debido a su alto nivel de resolución (Solheim y Leidal, 1975; Vale y cols., 1976). Las **marcas de mordeduras experimentales** han sido utilizadas como ayuda en las comparaciones.

Los métodos complementarios descritos suponen una ayuda para la resolución de ciertos casos pero no constituyen hasta la actualidad un método fiable que desbanque a los métodos indirectos en el análisis de las huellas por mordeduras.

5.7. Aplicación de tecnología en tres dimensiones en el análisis de las huellas por mordeduras.

Las últimas investigaciones en el campo del análisis de las huellas por mordeduras humanas se están centrando en el uso de tecnologías en 3 dimensiones. Las razones para utilizar dichas técnicas se basan en que la mordedura es una estructura tridimensional y que, además, el acto de morder es un proceso dinámico. Los primeros en aplicar la tecnología 3D en este ámbito fueron Thali y cols. (2003) quienes desarrollaron un sistema para comparar por medio de un programa informático la imagen tridimensional obtenida por el escaneado de los modelos dentales del sospechoso con la fotografía de la lesión digitalizada con técnicas de fotogrametría. De esta forma, hacían coincidir los bordes incisales de los dientes anteriores en 3D con las huellas de la lesión en 3D superponiendo ambas imágenes previamente digitalizadas.

En este mismo sentido, Blackwell y cols. (2007) desarrollaron una técnica de comparación de imágenes 3D entre los modelos dentales y mordeduras simuladas. En las imágenes obtenidas se realizó un análisis cuantitativo de algunas características dentarias. El objetivo era realizar una comparación entre dos imágenes 3D y suprimir así la distorsión inherente a la fotografía convencional. Además se calcularon las coordenadas cartesianas obtenidas a partir de una serie de landmarks para crear una matriz que permitiera comparar todas las combinaciones posibles empleando técnicas de validación cruzada. Se desarrolló un algoritmo que estimó la probabilidad de emparejamiento de un modelo dental con su huella de mordida. Por último, estableció en un caso ejemplo que la probabilidad de acusar como mordedor a una persona inocente era de un 15%.

Por otra parte, Lasser, Warnick y Berman (2009) aplicaron la tecnología 3D de la industria automovilística al análisis de las huellas por mordedura. En su estudio emplearon

de forma combinada la regla ABFO número 2 con escáneres láser y un programa informático para el análisis tridimensional. Se estableció una correlación entre las huellas de las mordeduras y la dentición original sobre las cuales se definieron una serie de puntos superpuestos entre sí y fueron representados mediante un mapa de color.

El equipo de investigación al que me he incorporado para la realización de la presente Tesis Doctoral tiene un bagaje amplio en el análisis tridimensional de las huellas por mordeduras. De hecho, se ha desarrollado un programa informático capaz de generar huellas a partir del modelo del sospechoso digitalizado por medio de un escáner 3D. El programa se llama DentalPrint© (Martín-de las Heras y cols. 2005) y ha sido fruto 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. Información adicional de todos los recursos del programa DentalPrint© pueden obtenerse en la siguiente dirección de Internet <http://www.ugr.es/local/stella/dentalprint> donde se permite la descarga de una versión demostrativa del programa. Además, se ha investigado sobre la validación de dicha tecnología para poder ser utilizada como prueba pericial en los tribunales para la resolución de casos reales forenses (Martin-de-las-Heras, 2007).

No cabe duda que la aplicación de tecnología en 3D contribuirá a la mejora del análisis de las huellas por mordeduras humanas, sin embargo, se requiere profundizar aún más en este campo. Este ha sido el objetivo de esta Tesis Doctoral.

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El avance de las nuevas tecnologías y el aumento de pruebas periciales en los que se ha visto implicada una lesión por mordedura han obligado a los investigadores forenses a desarrollar nuevos métodos con validez en los tribunales de justicia para establecer la identidad del agresor.

Recientemente, el Departamento de Medicina Legal y Forense en colaboración con el Departamento de Lenguajes Informáticos de la Universidad de Granada, han desarrollado un nuevo programa informático con fines forenses llamado DentalPrint©. Este programa nos permite generar transparencias de las huellas de las mordeduras humanas a partir de los modelos dentales del sospechoso escaneados previamente en tres dimensiones. Finalmente, las huellas son comparadas con la fotografía de la lesión de la mordedura para establecer la identificación positiva del agresor.

En el presente trabajo de investigación se pretende desarrollar un nuevo método para el análisis de las huellas por mordeduras humanas empleando el programa informático DentalPrint©, con el propósito de realizar un proceso comparativo en tres dimensiones y evitar la distorsión inherente a la fotografía. Para ello realizaremos una impresión de la lesión de la mordedura que será digitalizada en 3D para permitirnos comparar dos imágenes en tres dimensiones: de un lado, la obtenida a partir de los modelos dentales del sospechoso y de otro, la obtenida a partir de la impresión de la lesión de la mordedura.

Asimismo, queremos mejorar el proceso comparativo en tres sentidos. En primer lugar, son varios los autores que han evidenciado que existe una distorsión inherente a la fotografía debido a que las lesiones por mordedura generalmente se localizan en superficies curvas. En segundo lugar, en muchos casos es difícil ceñirse por las cuatro decisiones diagnósticas propugnadas por la ABFO (no mordedor, posible mordedor, probable mordedor y mordedor), ya que por un lado se hace difícil discriminar entre las tres últimas y por otro se dificulta la comprensión de los miembros del jurado. Por último, se precisa aumentar la seguridad en el proceso comparativo realizando una comparación cuantitativa que confirme la identidad del agresor.

En este sentido, los objetivos de este trabajo de investigación son los siguientes:

1. Desarrollar un modelo experimental válido para simular las huellas producidas en un caso de lesión por mordedura. Para ello probaremos a emplear materiales de distinta naturaleza: ceras dentales, escayolas, resinas y siliconas.
2. Adaptar el programa DentalPrint© para generar transparencias con las huellas dentales obtenidas tanto a partir de los modelos dentales como de las lesiones simuladas por mordedura.
3. Analizar la validez del método desarrollado mediante un ensayo experimental y el análisis estadístico de las curvas ROC.
4. Analizar estadísticamente la validez de las posibles respuestas diagnósticas del observador. Para ello nos basaremos en dos modelos de respuestas, uno dicotómico que tan sólo discriminará entre “no mordedor” y “mordedor”, y el propuesto por la ABFO.
5. Desarrollar un método cuantificativo para comparar las huellas generadas a partir de los modelos dentales y las impresiones de las mordeduras.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIAL

1.1. Tipo de muestra: modelos dentales

Para este estudio se han utilizado 61 modelos dentales (superior e inferior) de tres procedencias diferentes. Un grupo de modelos procede de pacientes atendidos en clínicas dentales privadas (17 modelos), un segundo grupo procede de clínicas dentales especializadas en ortodoncia (25 modelos) y en tercer lugar, de las clínicas dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Granada (19 modelos). De la totalidad de la muestra, 22 modelos pertenecen a hombres, 37 a mujeres y en dos casos se desconocía el sexo. El rango de edades de la muestra está comprendido entre 6 y 70 años, distribuidos en 13 casos de niños (de 6 a 17 años) y 48 casos de adultos (de 21 a 70 años).

En la Tabla 1 se describen las características de la muestra, incluyendo el número del caso, el sexo y la edad.

Tabla 1. Características de la muestra (modelos dentales) utilizada en el presente trabajo de investigación.

Nº de caso	Sexo biológico	Edad (años)
1	Hombre	40
2	Mujer	50
3	Hombre	25
4	Mujer	32
5	Mujer	26
6	Mujer	25
7	Hombre	31
8	Mujer	25
9	Mujer	23
10	Hombre	21
11	Mujer	30
12	Mujer	35
13	Mujer	38
14	Mujer	25
15	Hombre	24
16	Mujer	32
17	Mujer	50
18	Hombre	22
19	Mujer	27
20	Mujer	25
21	Hombre	28
22	Mujer	17
23	Hombre	24
24	Mujer	21
25	Mujer	37
26	Mujer	9
27	Mujer	30
28	Mujer	17
29	Mujer	31
30	Mujer	42

31	Mujer	31
32	Mujer	21
33	Mujer	26
34	Mujer	16
35	Desconocido	Niño
36	Mujer	31
37	Hombre	70
38	Mujer	43
39	Mujer	23
40	Hombre	6
41	Mujer	10
42	Desconocido	Adulto
43	Hombre	33
44	Hombre	57
45	Hombre	35
46	Mujer	27
47	Hombre	35
48	Mujer	29
49	Hombre	11
50	Mujer	22
51	Hombre	7
52	Hombre	35
53	Mujer	22
54	Hombre	8
55	Hombre	10
56	Hombre	63
57	Mujer	22
58	Hombre	10
59	Mujer	8
60	Mujer	22
61	Hombre	23

Tras la toma de impresiones, éstas se vaciaron en yeso blanco (Selenor Speciale Ortodoncia, tipo III) siguiendo las pautas de dosificación de agua y yeso que indica el fabricante. Este yeso es de gran dureza y así se evita que puedan deteriorarse fácilmente las piezas dentarias.

1.2. Mordeduras experimentales

Para llevar a cabo este trabajo de investigación se realizaron mordeduras de tipo experimentales sobre cera dental. Este tipo de mordeduras experimentales han sido utilizadas en otros trabajos de investigación con resultados satisfactorios (Blackwell y cols., 2005). Para optimizar el diseño se han probado diferentes tipos de ceras dentales obteniéndose los mejores resultados cuando se utilizó cera roja en tiras de la marca Coltène Whaledent® (New York, USA) colocada dentro de una cubeta metálica estándar para la toma de impresiones (Figura 3).

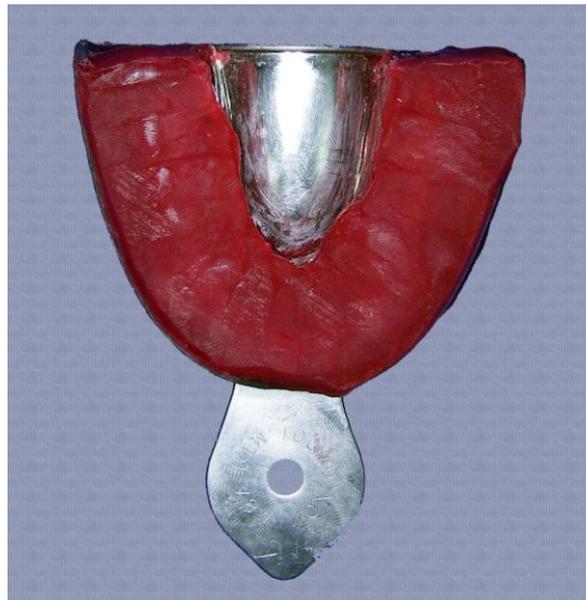


Figura 3. Cubeta metálica rellena de cera dental roja de la marca Coltène Whaledent® (New York, USA).

Posteriormente, se imprimieron las huellas dentales al presionar el modelo dental sobre la cera, obteniéndose así la mordedura experimental. La intensidad de la presión

fue también tenida en cuenta para obtener unas identaciones muy próximas a las encontradas en los casos reales (Figuras 4 y 5).

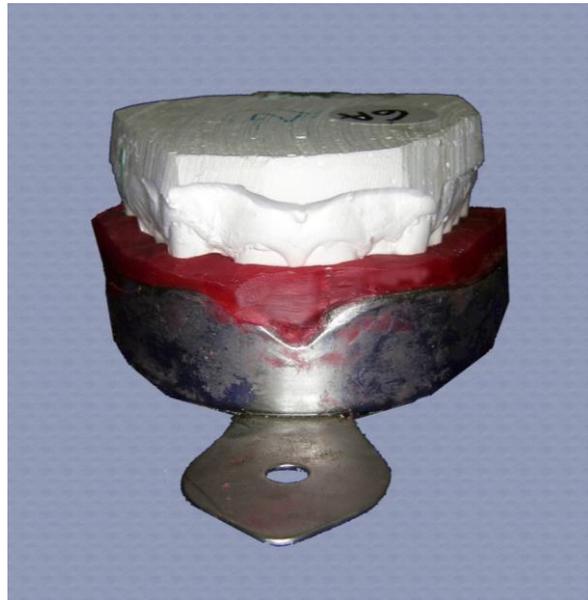


Figura 4. Modelo dental sobre la cubeta metálica rellena con cera para producir las identaciones.



Figura 5. Fotografía final de la producción de las mordeduras experimentales.

El positivado de las huellas de mordida se probó hacer con tres materiales de naturaleza bien distinta, resina Tab 2000® (Kerr Hawe, Orange, USA), el mismo yeso con el que se vaciaron los modelos y, por último, Futar D Fast de la marca Kettenbach® (Eschemburg, Alemania), una silicona de mordida de gran dureza que se puede fresar. La resina Tab 2000® a pesar de obtener la mayor calidad de detalle presentaba un inconveniente, el calor desprendido en la polimerización lo cual era un efecto indeseable a la hora de colocarlo sobre la piel. El yeso blanco mostraba un difícil manejo con el inconveniente añadido del riesgo de que fracturara al retirar el registro una vez fraguado. Fue precisamente el último de los materiales probados, la silicona de mordida Futar D Fast®, el que presentó mayores ventajas para positivizar las mordeduras experimentales y, por tanto, fue el empleado en este trabajo de investigación. Se trata de una silicona rosa consistente y frágil una vez fraguada con una calidad de detalle muy precisa y apta para el propósito del trabajo. Una de sus mayores ventajas es la gran capacidad que tiene para ser fresada lo cual facilitaría el trabajo a la hora del escaneado en 3D. Viene presentada en cartuchos acoplables a una pistola y una punta mezcladora (Figura 6).

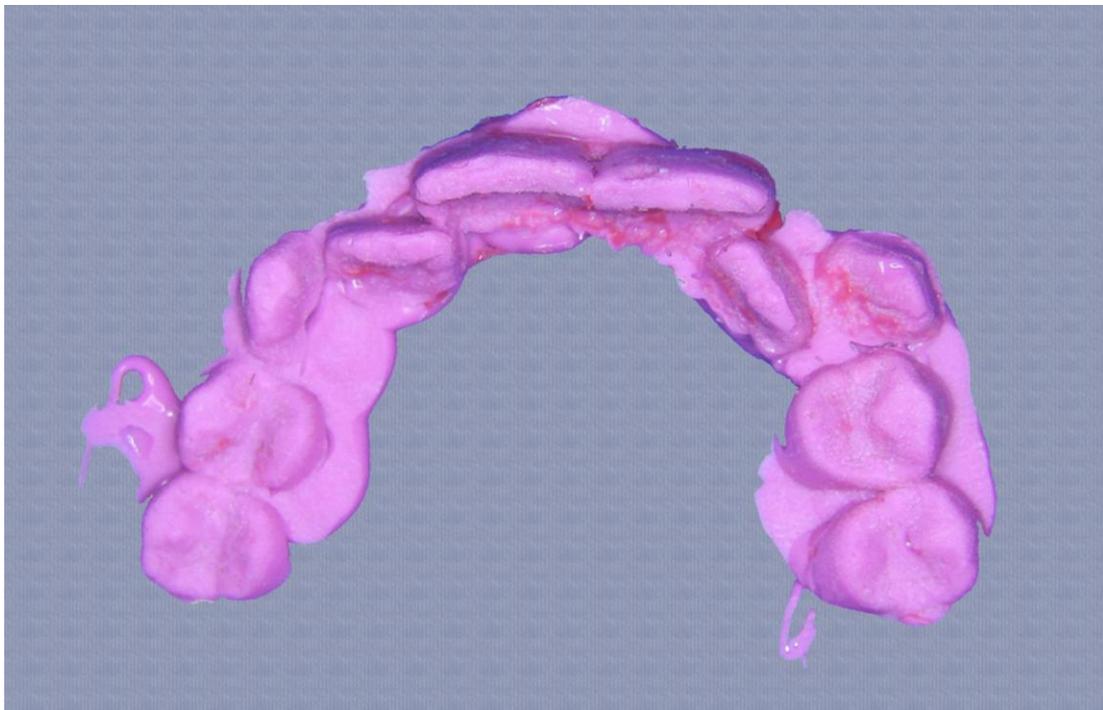


Figura 6. Impresión de las huella de la mordedura experimental.

2. MÉTODOS

2.1. Procedimiento para la realización de las mordeduras experimentales

Se impresionaron los modelos dentales sobre la cera roja previamente asentada en una cubeta metálica estándar para arcada superior. La huella de mordida obtenida se positivó con Futar D Fast® obteniendo así una impresión para cada mordida simulada. La cera roja se cortó en tramos más cortos para ser más fácilmente colocada con la ayuda de las manos en el interior de la cubeta. En primer lugar, se aplicó una fina capa de vaselina líquida ayudándonos de un pincel en la superficie del modelo para evitar cualquier deformación de la cera a la hora de desinsertar el modelo de la cubeta. El siguiente paso fue colocar cada modelo sobre la cera apoyando la superficie oclusal de las piezas dentarias y ejerciendo una ligera presión repartida por toda la base del zócalo del modelo consiguiendo así una huella uniforme en toda la arcada. El siguiente paso sería el positivado de la huella de mordida. Para ello se inyectó la silicona de mordida sobre el negativo de la impresión con una punta fina para que ocupara todos los espacios sin atrapar burbujas de aire. La silicona fragua en tan sólo unos minutos para comenzar con el recortado de la impresión que realiza con una fresa de resina acoplada en micromotor, lo que facilitará el proceso de escaneado al disminuir la superficie y eliminar márgenes que puedan confundir al programa DentalPrint© en la obtención de huellas de mordida. La impresión ahora estaría preparada para ser escaneada.

2.2. Escaneado en 3D

El escaneado de las impresiones de las mordeduras y de los modelos dentales se realizó por separado. Se colocan individualmente con los bordes incisales de los dientes hacia arriba en un escáner de contacto (Picza 3D, modelo Pix-3, Roland DG corp., Japón) que registra las formas del modelo mediante el contacto de una aguja de metal situada sobre un brazo móvil (la longitud de esta sonda es de 40 mm, y su diámetro en la punta de 0,08 mm). Este escáner puede escanear objetos con un tamaño máximo en longitud (eje X) de 152,4 mm, anchura (el eje Y) de 101,6 mm y altura (el eje Z) de 40,65 mm, desde una altura mínima de 10 mm desde la parte superior de la superficie de trabajo. Es un escáner capaz de escanear puntos sobre el objeto que estén tan próximos como 0,025 mm en el eje Z y 0,05 mm en los ejes X e Y. Se define la resolución del

escaneado marcando la distancia en milímetros que queremos que exista entre dos puntos contiguos del modelo en ambos ejes de coordenadas (eje x y eje y). Para obtener la suficiente precisión en las imágenes para su análisis posterior, se ha optimizado las características del escaneado realizando varias pruebas de escaneado. Se recomienda emplear un paso de exploración de 0,10 mm en ambos ejes, con una profundidad (eje Z) de 15 mm (Figura 7).

2.3. Generación de huellas de mordida a partir de imágenes escaneadas de los modelos dentales e impresiones de mordeduras en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©

Este procedimiento parte de imágenes digitales de las impresiones de las mordeduras y de los modelos dentales escaneados en tres dimensiones. DentalPrint© (Martin-de las Heras y cols., 2005) es un programa diseñado y desarrollado en la Universidad de Granada (Departamento de Medicina Legal y Forense, y Departamento de Lenguajes Informáticos), el cual es capaz de crear de forma automatizada huellas de mordida a partir de imágenes digitales en tres dimensiones de modelos dentales. El programa es capaz de analizar los modelos dentales y las impresiones de las mordeduras escaneados en tres dimensiones empleando un escáner de contacto Picza (Picza 3D, modelo Pix-3, Roland DG corp., Japón). Las imágenes digitalizadas se almacenan en un programa suministrado por la casa comercial llamado Dr. Picza y, posteriormente, estas imágenes se incorporan al programa DentalPrint©. Las huellas dentales generadas por el programa DentalPrint© pueden imprimirse en transparencias de papel de acetato y concluir con el proceso de comparación con las fotografías de mordeduras de forma manual. Pero también las huellas de mordida pueden almacenarse como un formato de imagen (bmp) y continuar el proceso de comparación de manera informatizada. Con este programa se puede hacer una precisa y objetiva selección de los bordes incisales de los dientes del sospechoso. Además puede producir diferentes transparencias de comparación por medio de una serie de herramientas que simulan presiones o desviaciones de la mordedura.

Requisitos técnicos

El ordenador utilizado en este procedimiento ha sido un PC Intel® Pentium III CPU, 866 MHz, 515 Mb RAM, tarjeta gráfica GEFORCE 4 MX 440, 128 MB DDR, AGP, disco duro 30GB, monitor de color de 17 pulgadas SVGA 1280X1024, (Samsung Electronics Co., Ltd.), escáner de tres dimensiones (Picza 3D modelo PIX-3, Roland DG Corp., Japón), impresora photosmart 7660 (Hewlett-Packard Comp., CA, USA) y el sistema operativo Windows Millenium operating system (Microsoft Corp., Redmond, WA).

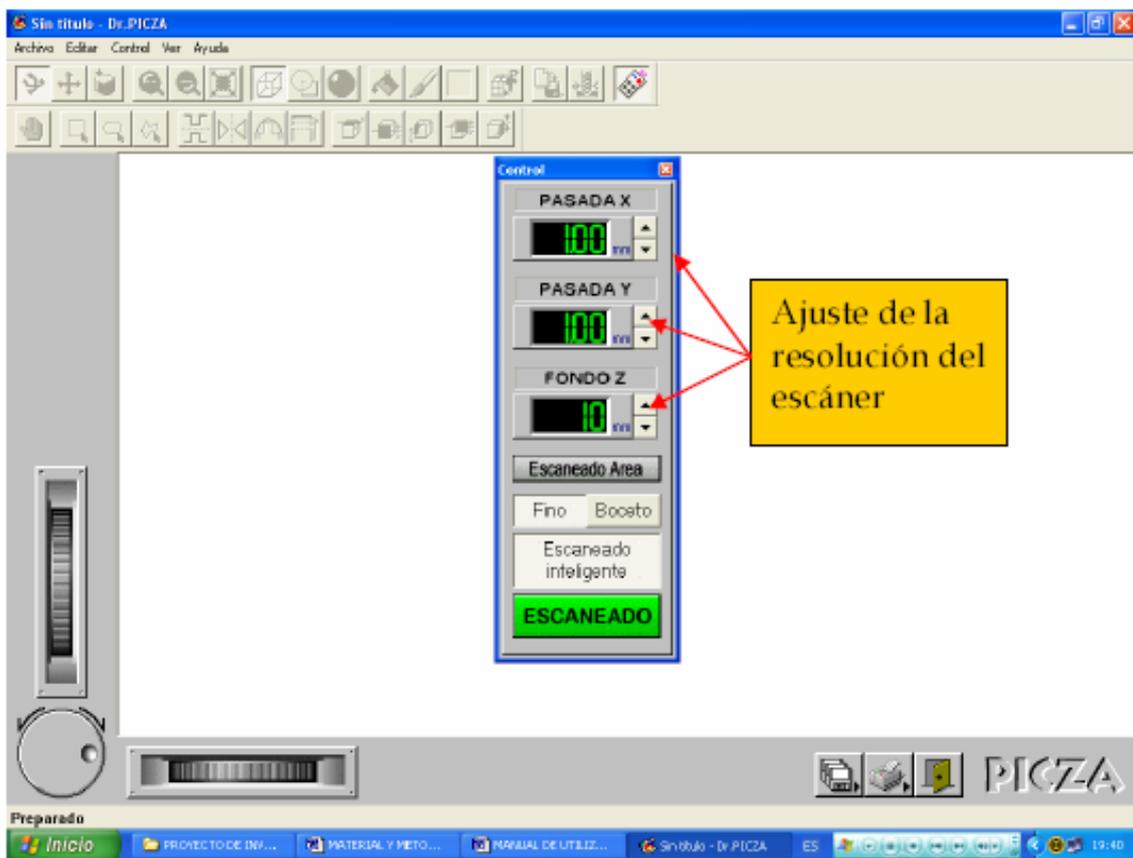


Figura 7. Imagen de la ventana principal del programa Dr. Picza. En la columna central se ven tres casillas que corresponden con los ajustes de resolución del escáner en los tres ejes espaciales.

En la exploración hemos incluido desde los incisivos hasta los premolares, dejando fuera del área de escaneado los molares ya que no suelen estar implicados en las mordeduras (Figuras 8 y 9). El proceso de escaneado puede tardar de 10 hasta 14 horas, según el tamaño de los modelos dentales.

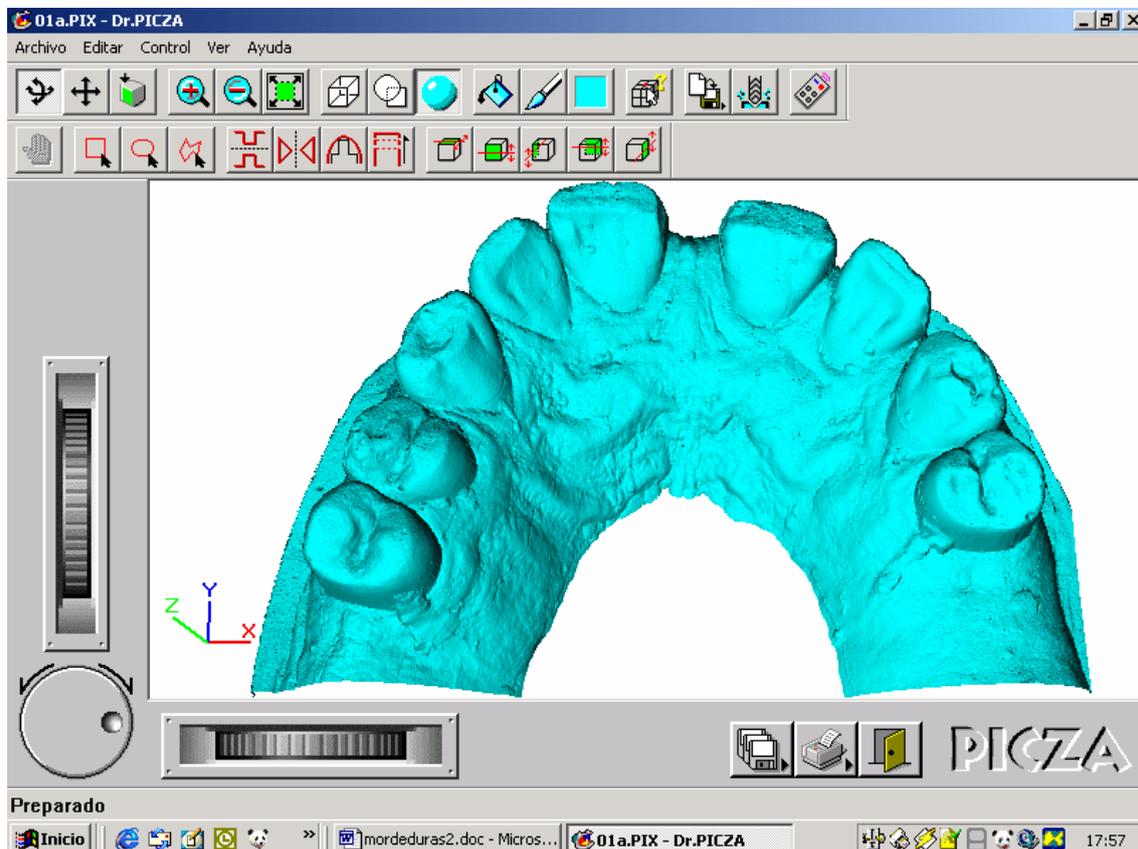


Figura 8. Imagen del modelo escaneado en el escáner 3D. La imagen se visualiza dentro del programa Dr. Picza.

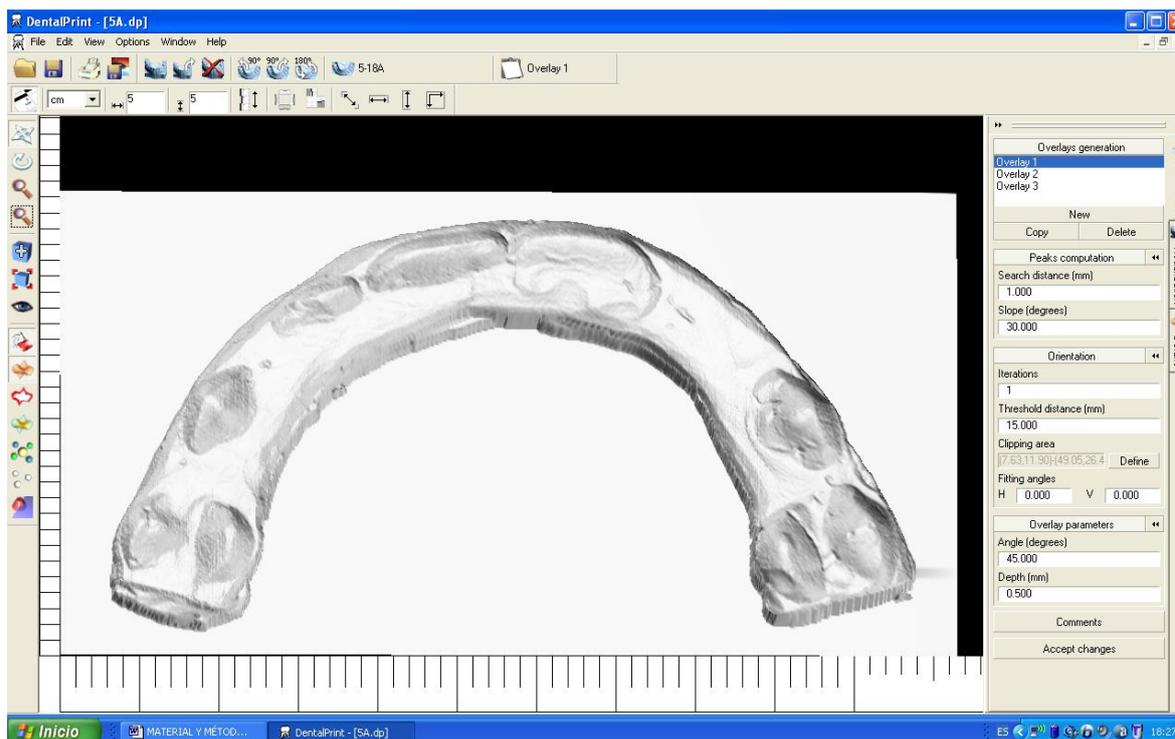


Figura 9. Imagen de la impresión de la mordedura escaneada en el escáner 3D. La imagen se visualiza dentro del programa Dr. Picza.

Generación de las huellas dentales con el programa DentalPrint©

Las imágenes de los modelos y las impresiones escaneados se incorporan en el programa DentalPrint©. La finalidad del programa es la creación de las huellas dentales a partir de imágenes en tres dimensiones de modelos dentales. Automáticamente, el programa es capaz de detectar las partes más altas del modelo que van a coincidir con bordes incisales y cúspides, y crear así de forma imaginaria una malla que vendría determinada por esos puntos más altos. Cuando la malla va descendiendo sobre el modelo, se van creando huellas de mordida diferentes que reflejarían diversas intensidades de mordida. También es posible simular distintos grados de angulación que reflejarían la inclinación de la mordida. De cada modelo se pueden, por tanto, crear o generar distintas huellas de mordida reflejando profundidades e inclinaciones de las diferentes mordeduras.

El programa DentalPrint© y el correspondiente manual de usuario, está disponible en la siguiente dirección electrónica: <http://www.ugr.es/~stella/dentalprint/>.

El primer paso en el proceso de generación de las mordeduras consiste en abrir el archivo con la imagen escaneada en tres dimensiones (Figura 10). Cuando el modelo dental se incorpora al programa, aparece de manera automática junto al modelo la escala n° 2 de la ABFO, que siempre se colocará en el lado izquierdo del modelo. Es posible cambiar la regla de posición lo que habrá que hacer en todos los casos con los modelos superiores ya que por defecto siempre aparece en el lado derecho del modelo, aunque izquierdo de la imagen (Figura 11).

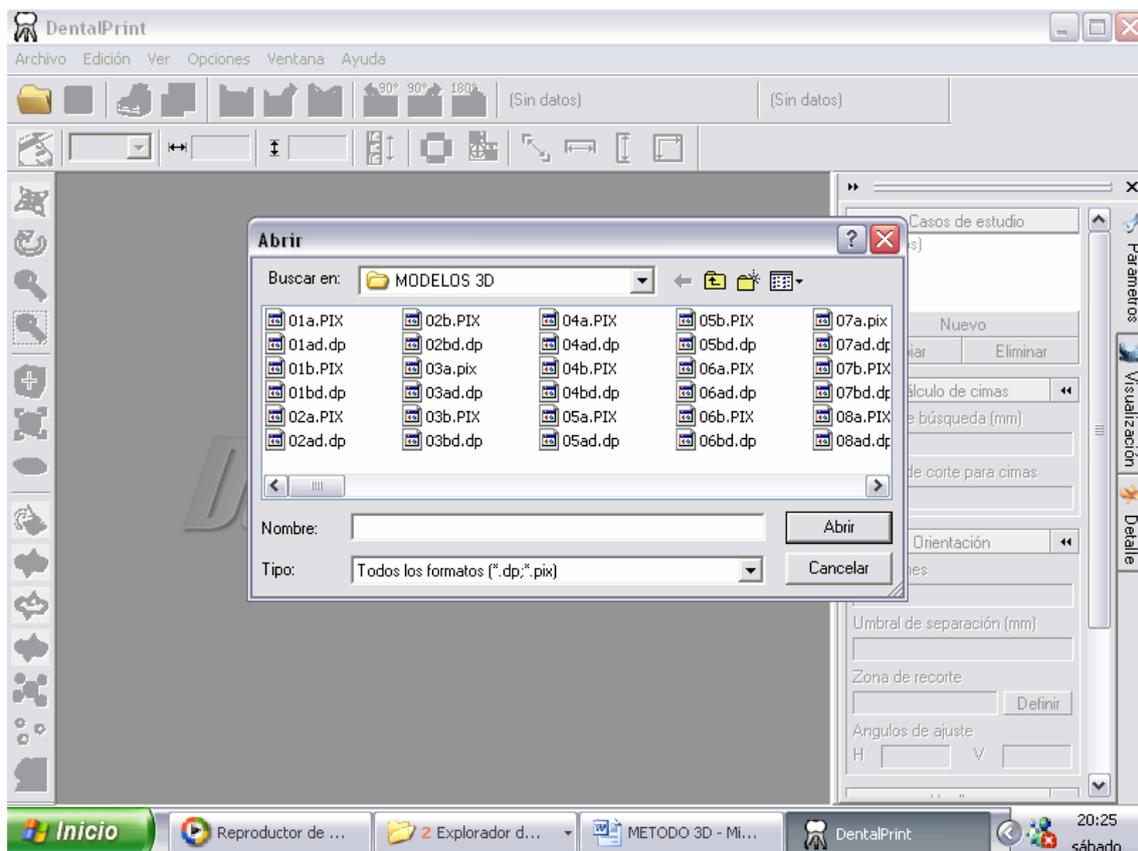


Figura 10. Selección del modelo e incorporación de la imagen en tres dimensiones.

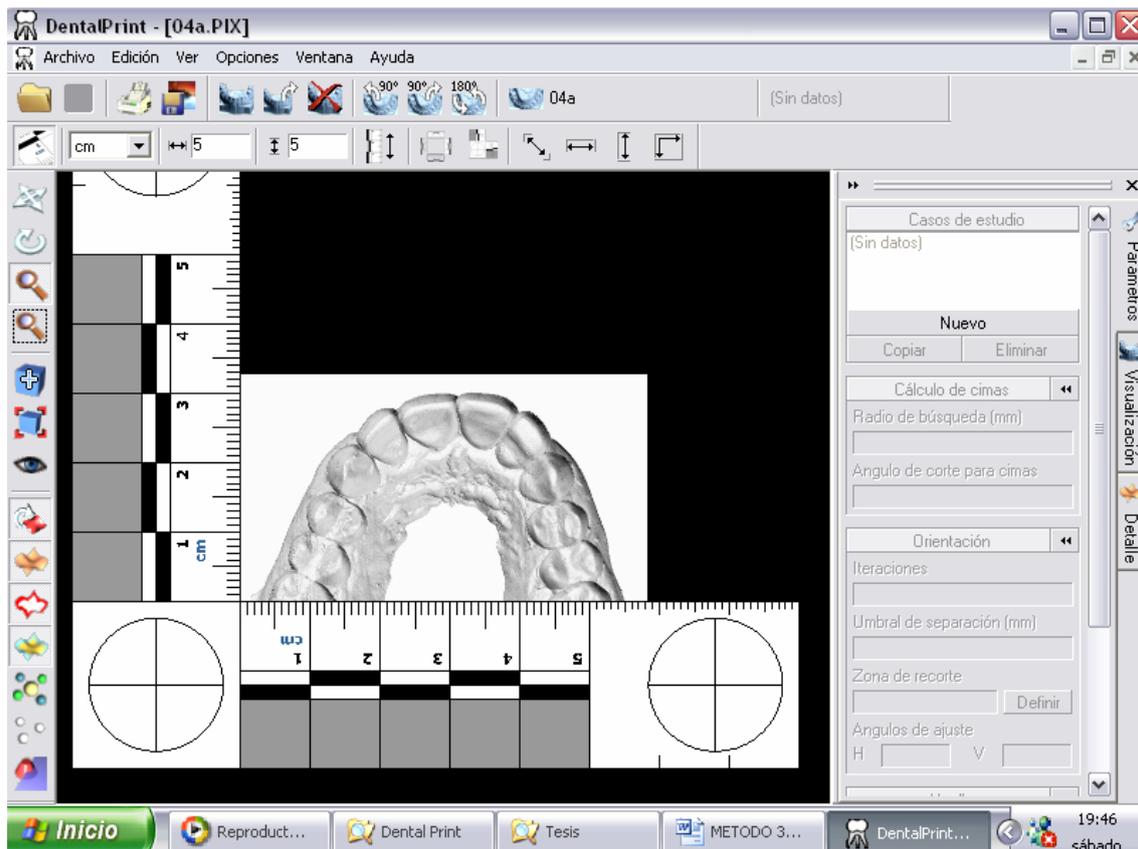


Figura 11. Posicionamiento correcto de la escala de la ABFO. El brazo lateral de la regla tiene que estar en el lado izquierdo del modelo dental.

Las imágenes en tres dimensiones de los modelos dentales tienen múltiples opciones de visualización en el programa, como distintas posiciones espaciales (arriba, frontal, posterior, derecha, izquierda), además podemos inclinar los modelos sobre el eje x ó y, incluso el programa nos permite hacer un zoom sobre una zona concreta del modelo para verlo con más detalle. Los pasos que seguiremos seguido para la generación de la huella de mordedura son los siguientes:

1. Selección del área de mordida

El proceso se inicia con la creación de un estudio nuevo, para lo cual basta con pulsar sobre **Nuevo** en el panel de parámetros. El programa nos creará de forma automática e inmediata (en base a unos parámetros que por defecto se le han asignado en la confección del mismo) una huella dental. Cada vez que se pulse Nuevo, obtendremos otro estudio al que podemos ir cambiando los parámetros que deseemos

mediante la herramienta **Realizar Cambios**. Los casos de estudio aparecen en orden numérico. El número más alto corresponde al último en ser creado. El programa puede crear la huella de mordida a partir de la información aportada por todas las piezas dentarias del modelo o se puede tener la opción de acotar un área de trabajo en la que incluiríamos sólo los dientes que han podido estar implicados en la mordedura, de esta manera, creará la huella dental a partir de esa información. Para seleccionar un área de trabajo determinado, activamos la herramienta **zona de recorte** y se crea pulsando con el botón izquierdo del ratón en el ángulo superior izquierdo del área que queremos seleccionar y sin soltarlo lo arrastramos hacia abajo y a la derecha, englobando el área deseada (Figura 12). En el presente trabajo de investigación sólo se han incluido las piezas dentarias comprendidas de canino a canino, puesto que aportan información suficiente para realizar las tareas de comparación.

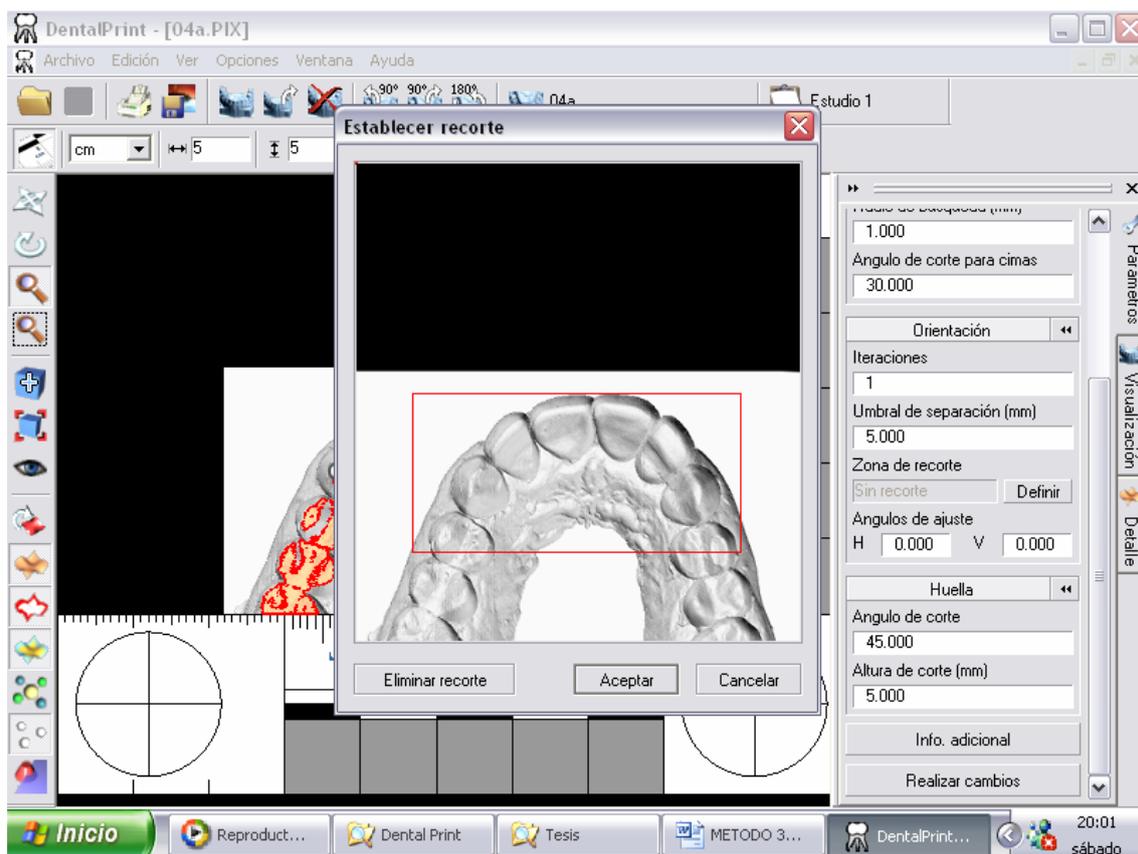


Figura 12. Selección del área de recorte.

2. Creación del plano de contacto

Para la creación del plano de contacto es necesario nivelar el modelo dental. Si, por ejemplo, se coloca el modelo sobre una mesa, de forma que los dientes contacten con algunas de sus cúspides sobre la superficie, el plano que forma la mesa sería equivalente al que la aplicación informática va a generar de una forma automática. Este plano recibe el nombre de **plano de contacto**. El programa trabaja mediante parámetros estrictamente geométricos marcando todos los puntos más elevados del modelo tridimensional. El programa DentalPrint© realiza una búsqueda por toda la superficie del modelo detectando todos los puntos más altos (**máximos locales**) para después seleccionar los 3 más elevados entre ellos (**cimas principales**) que determinarán el plano de contacto (Figura 13). Esta búsqueda la realiza en áreas circulares que va solapando unas con otras para evitar perder información. El **radio de búsqueda** determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea, más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen. En cada punto máximo de la superficie detectada se define una pendiente respecto del plano base, si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido (**ángulo de corte**), el máximo local será descartado.

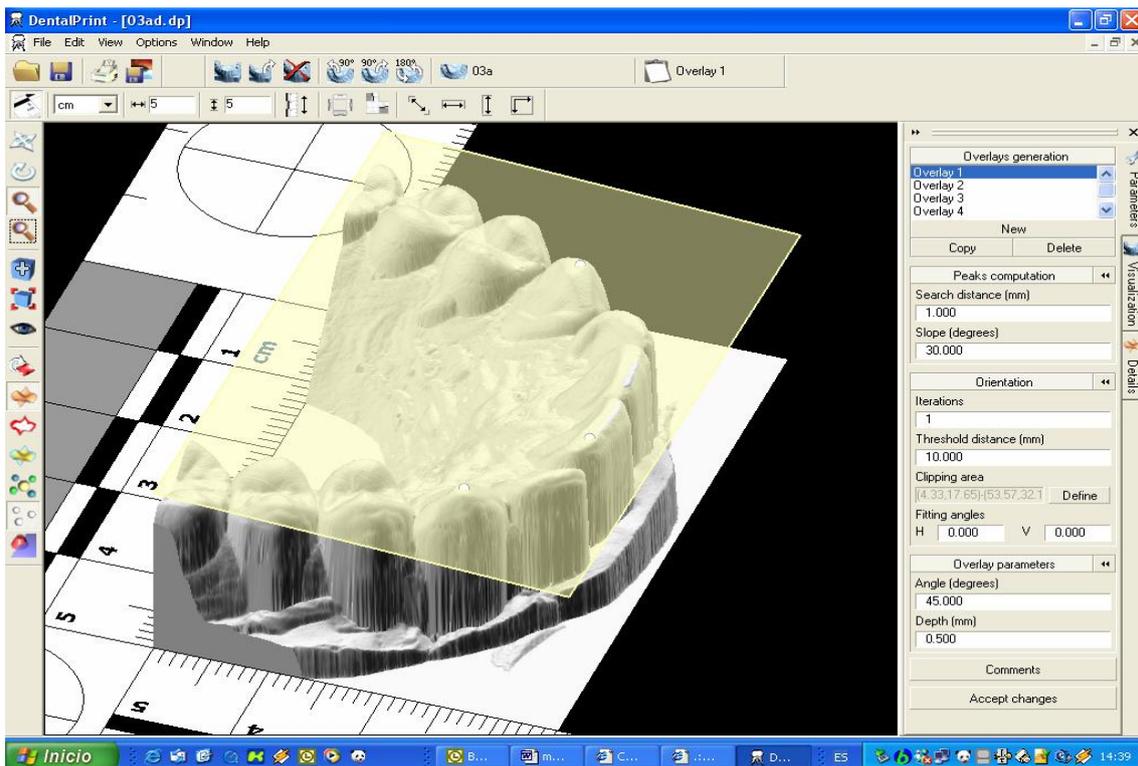
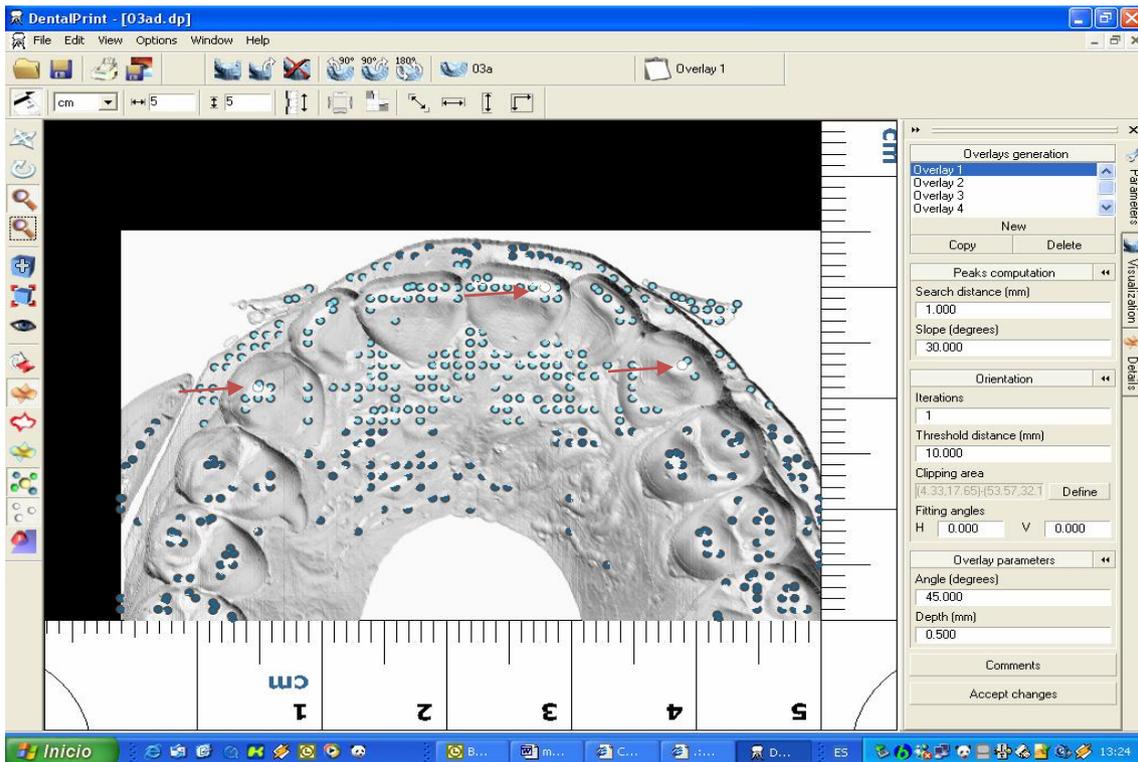


Figura 13. Imagen superior: selección automática de los máximos locales (puntos azules) y las tres cimas principales (puntos blancos señalados con las flechas de color rojo). Imagen inferior: a partir de las tres cimas principales se crea el plano de contacto.

Hay que tener en cuenta que los 3 puntos de calibración (cimas principales) contactan directamente con la superficie donde se supone que se realiza la mordida. Esto quiere decir que, si uno de estos puntos aparece en un molar que seguramente no interviene en la mordida, el plano resultante será conceptualmente incorrecto. Debido a esta circunstancia, es necesario definir la zona de la dentadura que más probabilidades tiene de intervenir en la mordida. En segundo lugar, puede ocurrir que aparezcan las cimas principales demasiado próximas, por ejemplo, si existe una pieza extruida, lo que produce resultados incorrectos. Para evitarlo, es necesario definir un **umbral de separación**, que fuerza una distancia mínima entre las cimas principales (por defecto la distancia mínima entre las cimas principales es de 5 mm). Además, es posible angular o inclinar el plano de contacto creado, en sentido horizontal o vertical, mediante la opción **ángulos de ajustes**, de forma que puede ajustarse a alguna situación concreta, como la simulación de una mordedura en la que existiera mucha angulación entre los dientes del agresor y la piel de la víctima o en los casos en los que la víctima se moviera para defenderse.

3. Obtención del perfil de la huella de mordida

Una vez que se ha calculado el plano de contacto y la dentadura está orientada, sólo falta obtener la huella dental. Gráficamente, podemos imaginar el siguiente proceso como que el plano de contacto definido es una malla que se va a extender en profundidad incluyendo las superficies que se encuentra por debajo (Figuras 14 y 15).

Los parámetros implicados en la creación de la huella de mordida en este último paso son:

Ángulo de corte: La huella se crea a partir del plano de contacto (definido por las 3 cimas principales) que se extiende hacia abajo, incluyendo las zonas en las que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte. Por defecto se le asignó al programa un valor de 45° pero es modificable según las características del caso en cuestión. Creemos que este valor es adecuado ya que aquellos puntos que estén situados del eje x (horizontal) a una inclinación de más grados de 45, ya no formarían parte de zonas elevadas de piezas dentales sino que se encontrarían en zonas que no intervienen

normalmente en la mordedura, por situarse en planos verticales (eje y: caras vestibulares y linguales).

Altura de corte: Para evitar que la huella supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo. Existe la posibilidad de definir la distancia deseada entre los distintos estudios, generándose una huella de mordida diferente en cada caso.

La variación de los diferentes parámetros implicados en la generación de la huella de mordida con el programa DentalPrint© permite obtener diferentes huellas (estudios) para cada caso (modelo dental) lo que se ajusta más a la realidad de los casos prácticos de mordeduras.

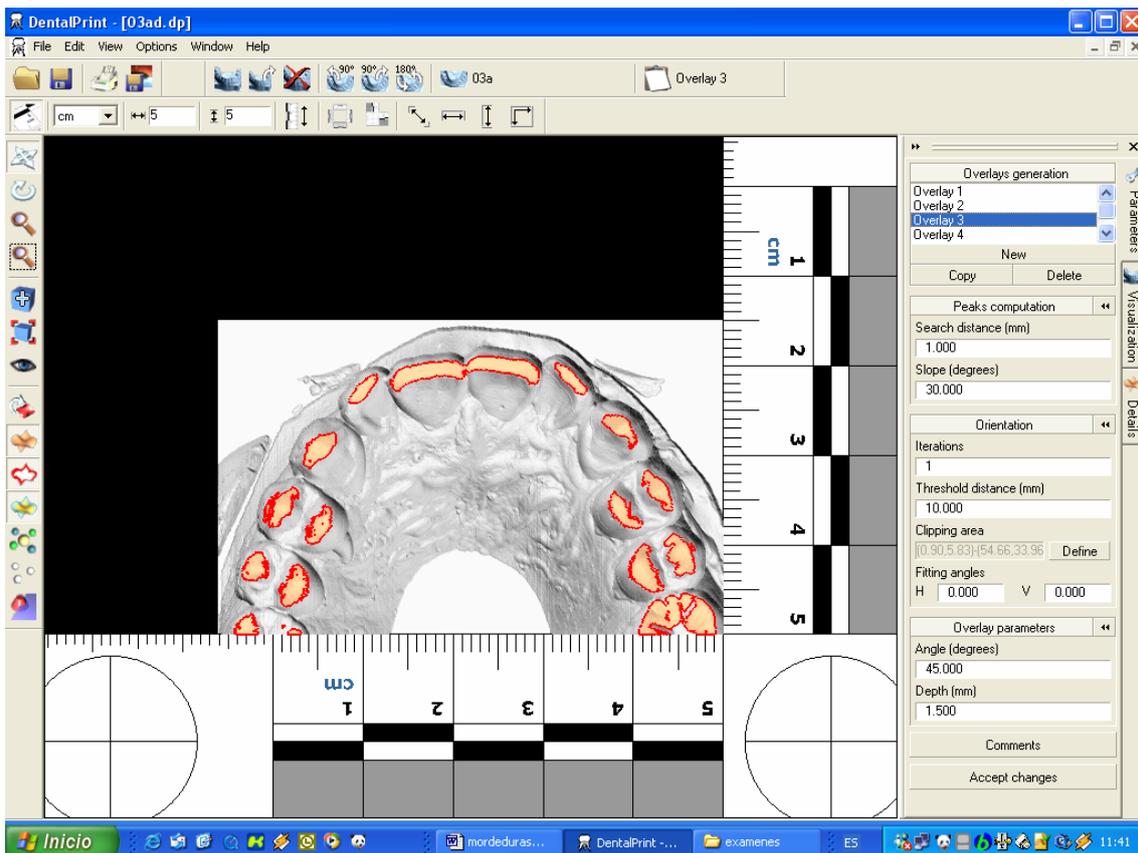


Figura 14. Generación de la huella de mordida con el programa DentalPrint© a partir de imágenes de modelos dentales escaneados en tres dimensiones.

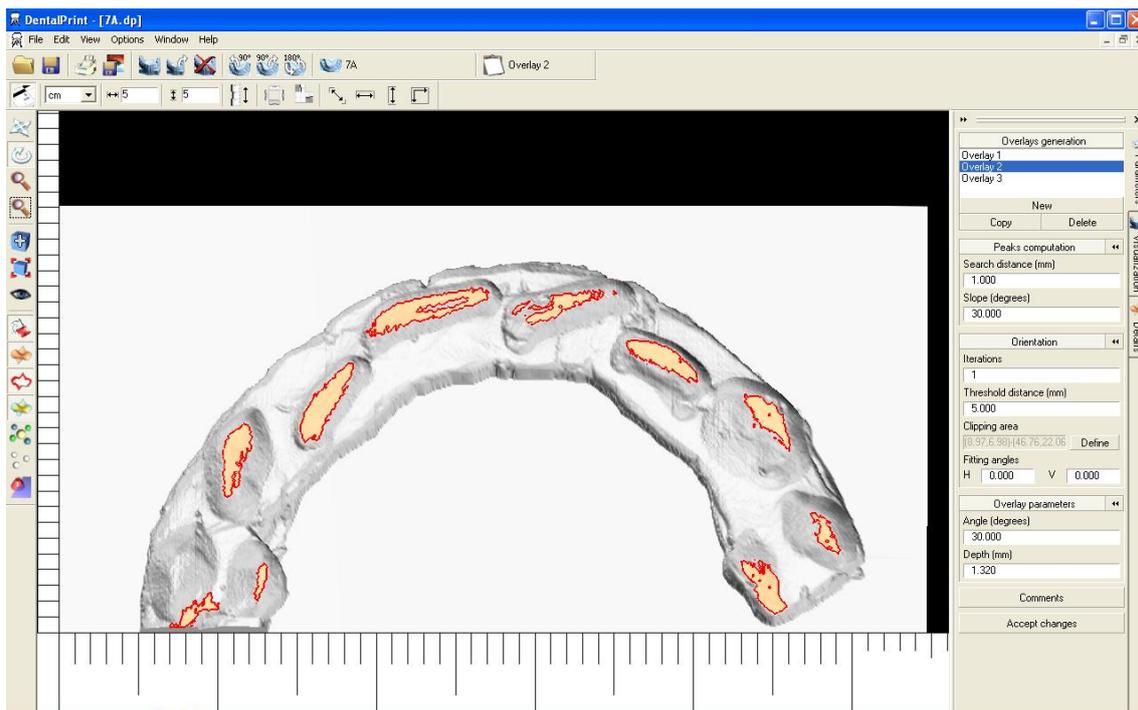


Figura 15. Generación de la huella de mordida con el programa DentalPrint© a partir de imágenes de las impresiones de las mordeduras en 3 dimensiones.

4. Impresión de las huellas de mordida

Las huellas obtenidas en el programa DentalPrint© a partir de imágenes en tres dimensiones de los modelos dentales pueden ser impresas en papel de acetato. Estas transparencias con la huella dental del sospechoso se pueden superponer a la fotografía de la mordedura o a las huellas dentales obtenidas de las impresiones de las lesiones de mordeduras. Las posibilidades y opciones de impresión con el programa son múltiples (Figuras 16 y 17). La huella del maxilar y de la mandíbula pueden ser impresas juntas o por separado en la transparencia, incluir la escala o no, mostrar los modelos dentales o sólo las huellas dentales, etc.

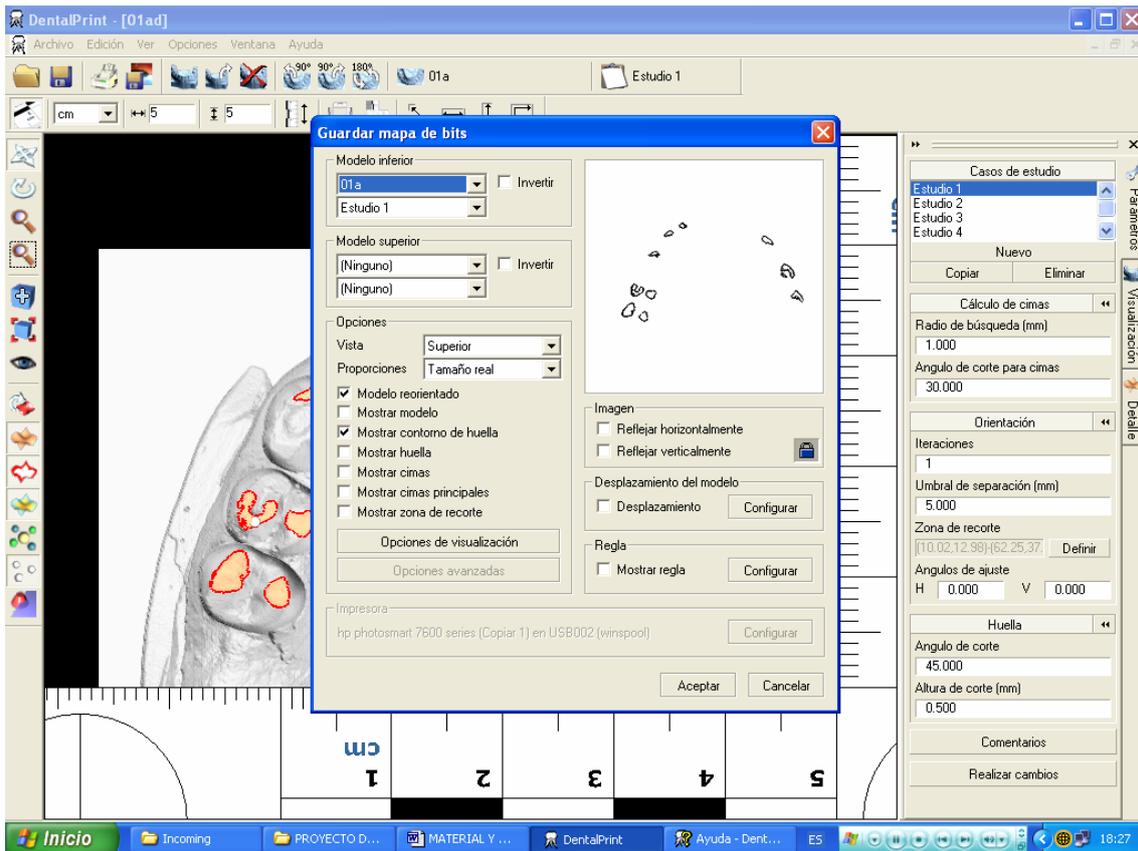


Figura 16. Proceso de impresión de las huellas en papel de acetato.

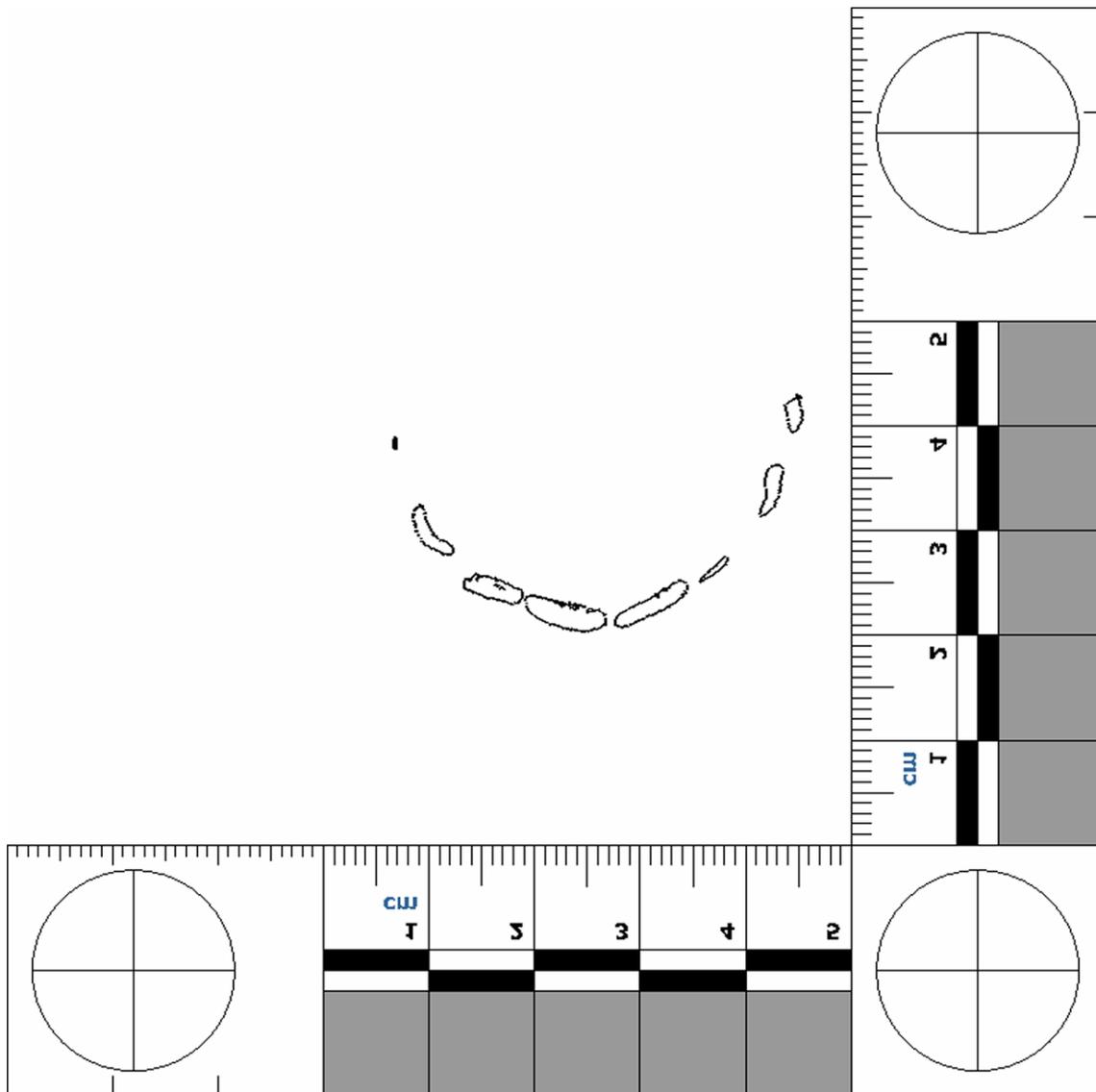


Figura 17. Impresión de la huella de la mordida en papel de acetato. Imagen de la huella de un modelo superior a una resolución de 300 dpi.

Al pulsar sobre icono de impresión se muestran las distintas opciones de impresión. El programa DentalPrint© nos ofrece un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la visualización e impresión de las huellas de la mordida, de manera que podemos incluir en la transparencia datos referentes a las dimensiones de la huella, nombre del modelo, valores de los parámetros utilizados en la creación de la huella, etc. Incluso es posible imprimir los modelos en tres dimensiones junto con las huellas dentales que producen, en definitiva podemos tener muchas variantes de impresiones, aspecto éste que no ofrece ningún programa hasta la fecha, no sólo aportando

información sino también pudiendo utilizar estas imágenes para una presentación en los tribunales de justicia (Figuras 18 y 19).

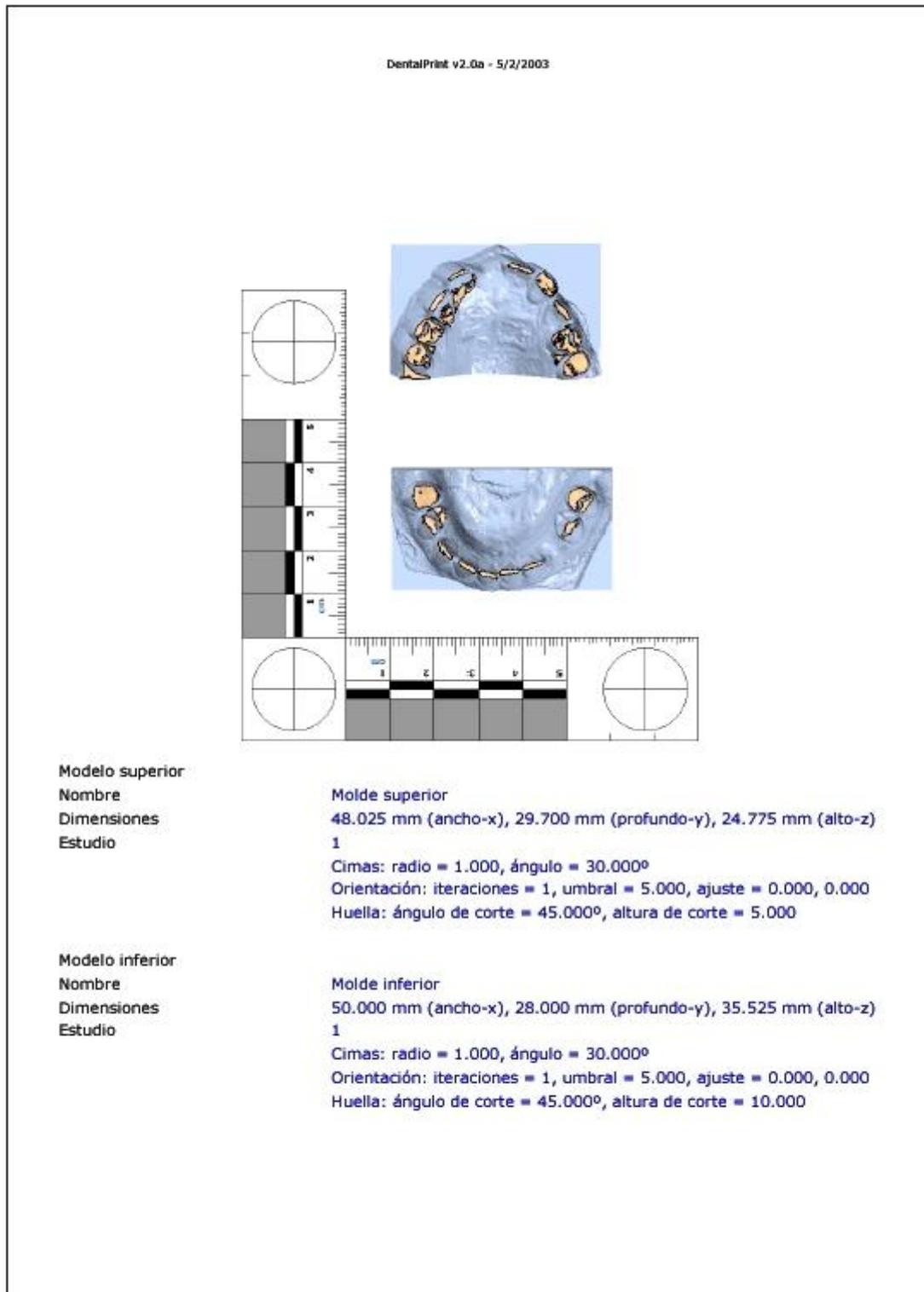


Figura 18. Transparencia impresa de la vista superior de la huella de mordida con los dos modelos presentes.

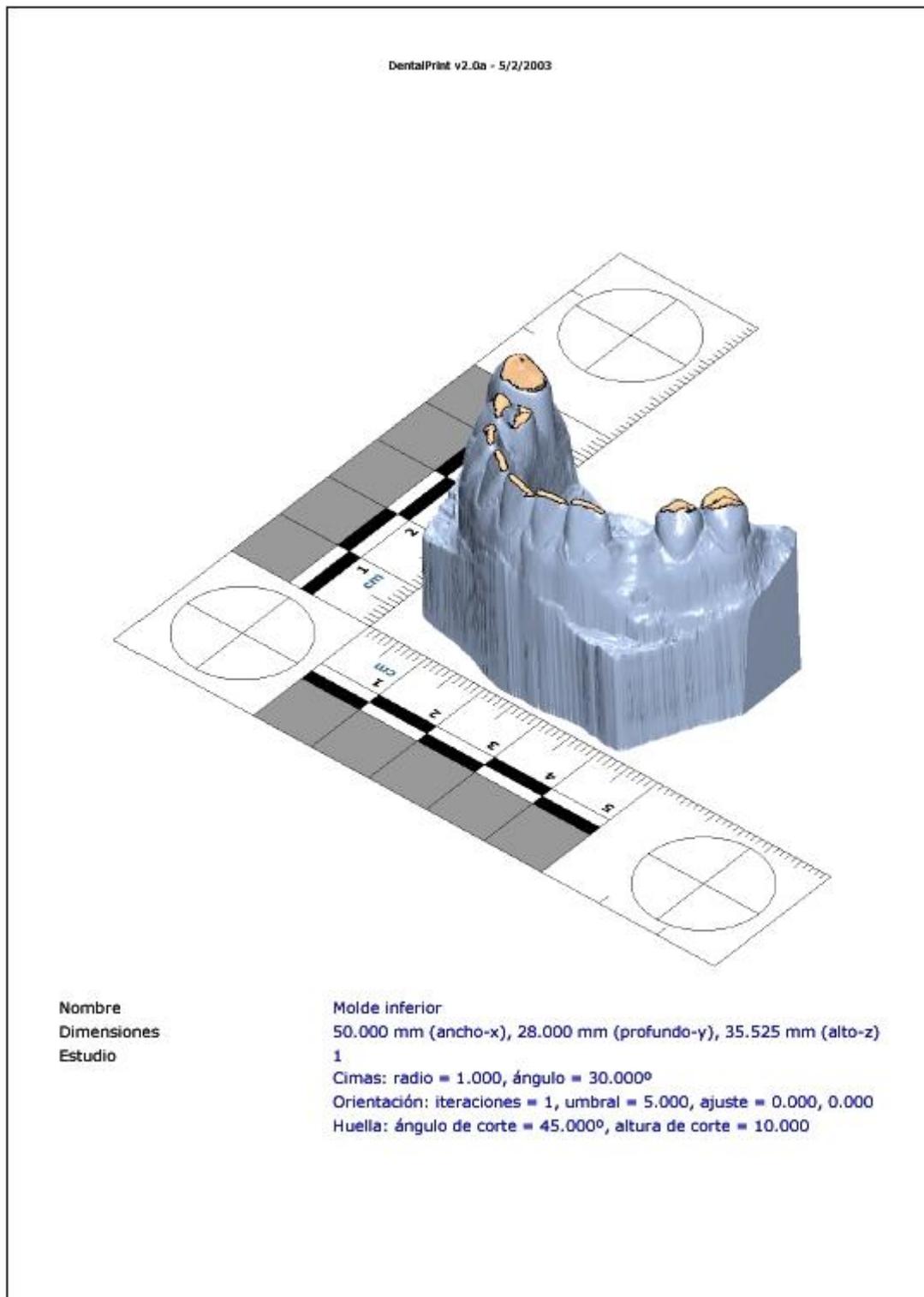


Figura 19. Ejemplo de impresión de un modelo dental inferior en tres dimensiones con la huella de mordida.

Otra posibilidad que nos ofrece este programa es poder almacenar la huella de mordida generada en formato de imagen (mapa de bits). La ventana de impresión en

mapa de bits es la misma que la utilizada para la impresión normal, aunque en esta ocasión se desactiven los controles asociados con la configuración de la impresora. Esta opción nos permite guardar y exportar la imagen de la transparencia a otros programas de gráficos como Adobe® Photoshop®, y poder hacerlo a diferentes resoluciones (Figura 20). Si se selecciona la impresión a escala real, el parámetro que determina las dimensiones finales de la imagen (en píxeles) es la resolución en puntos por pulgada (ppi). Es lógico pensar que, para obtener una impresión a tamaño real del bitmap con otro programa de tratamiento de imágenes, éste debe utilizar la misma resolución en puntos por pulgada que el bitmap (Figura 20).

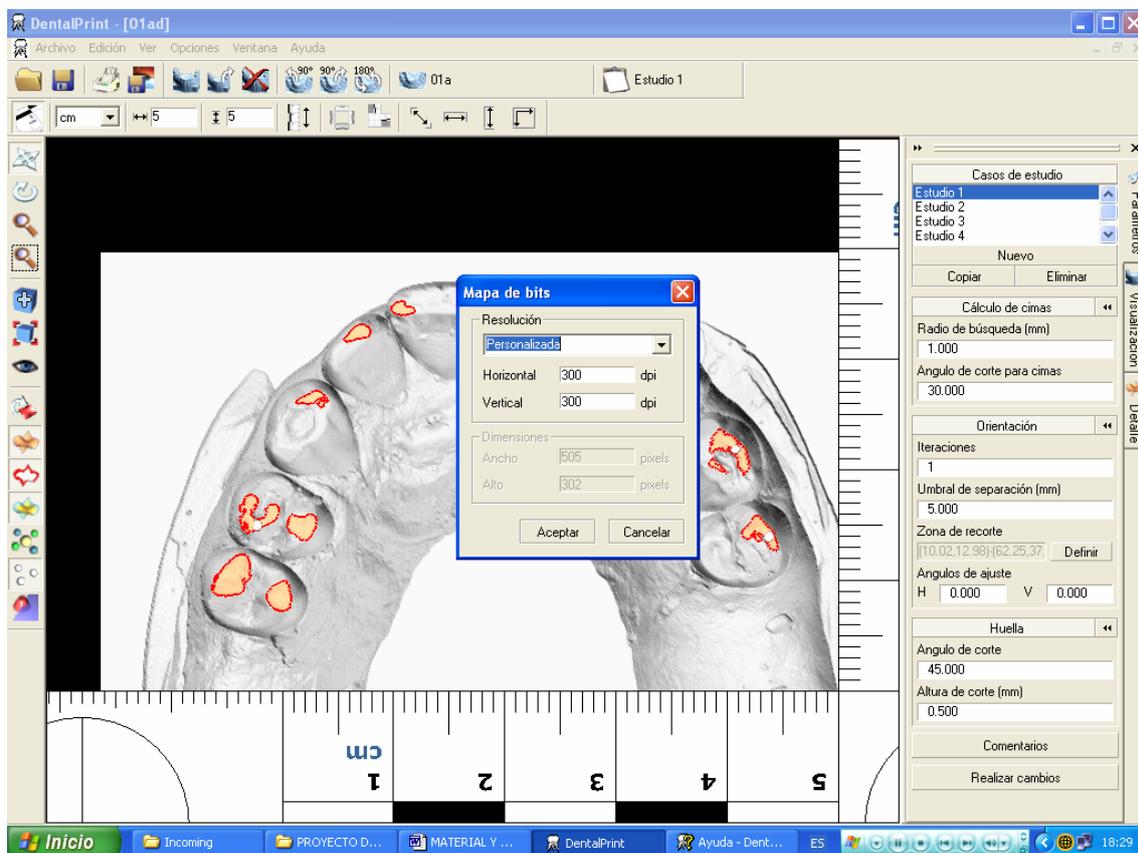


Figura 20. Impresión en mapa de bits de la huella dental generada. Cuando se pulsa sobre aceptar para imprimir en mapa de bits nos aparece una ventana que permite configurar el tamaño final de la imagen en píxeles.

2.4. Proceso de comparación por el experto de las huellas de mordida y las impresiones de las mordeduras

En todo proceso de comparación necesitaremos disponer de dos transparencias, una de la impresión de la mordedura y otra de la huella de mordida generada a partir de cada modelo en 3D, ambas a escala real (1:1).

Análisis métrico y angular

En el programa DentalPrint© también disponemos de herramientas para medir distancias entre dos puntos diferentes, tanto en vertical como en horizontal (Figura 21). Las mediciones de las características dentarias tanto en la huella dental como en la fotografía suponen una herramienta de inestimable ayuda en el proceso de comparación.

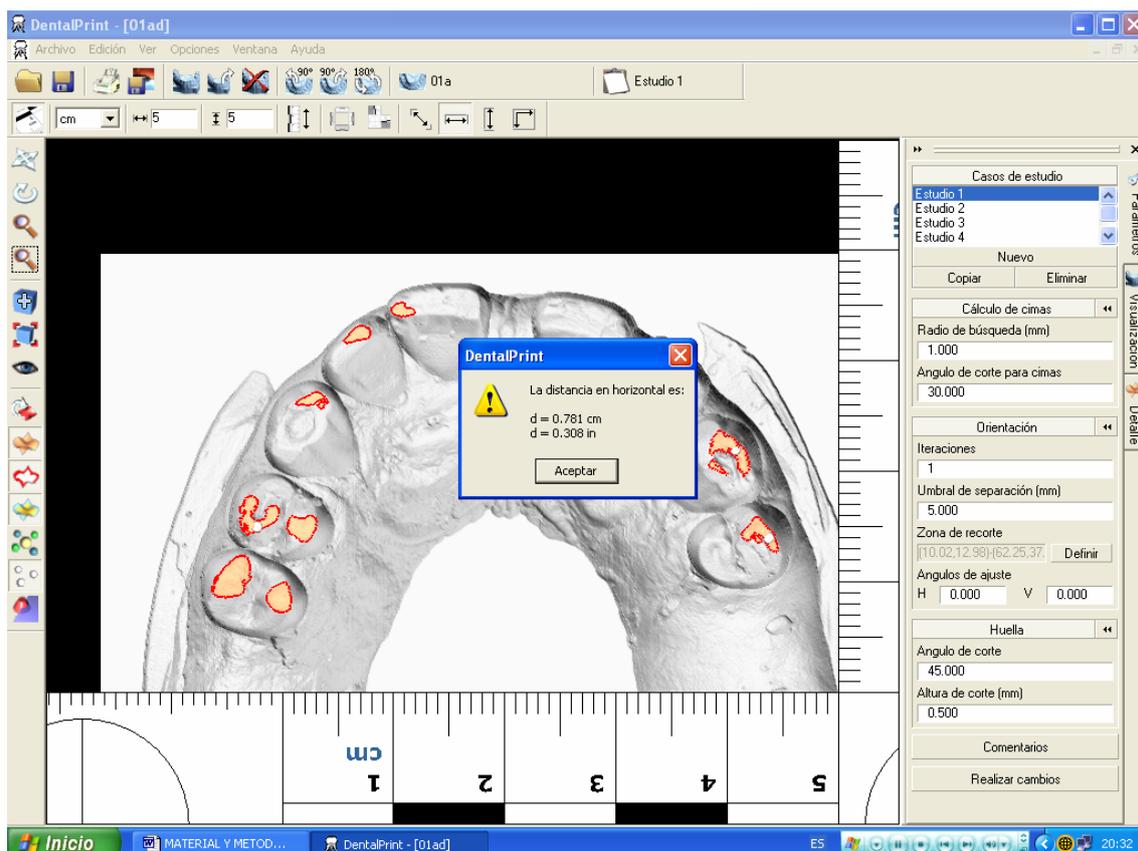


Figura 21. Sistemas de medición en el programa DentalPrint©.

Diseño del proceso de comparación de las transparencias de las huellas dentales y las impresiones de las mordeduras

De todos los modelos dentales y de todas las impresiones de las mordeduras realizadas para el estudio experimental, se generaron las huellas dentales siguiendo el método en tres dimensiones empleando el programa DentalPrint©, según los procedimientos descritos anteriormente en las secciones correspondientes del capítulo Material y Métodos.

Para el procedimiento en la comparación de las huellas dentales generadas se siguieron las indicaciones de un experto estadístico de la Universidad de Granada. En todos los casos, el observador comparó siempre una huella dental obtenida de un modelo con las transparencias de la huella dental generadas de las impresiones de las mordeduras, es decir, la comparación fue una a una. Se le suministró al observador una plantilla que establecía el orden de las comparaciones con una secuencia determinada (Tabla 2), de manera que, a partir de los 13 casos de mordeduras del experimento, se realizaron 104 comparaciones. El orden establecido fue el siguiente: el observador realizaba las comparaciones en sentido vertical descendente comenzando la comparación entre las imágenes 3D de la impresión del caso nº 7 con la huella dental del modelo nº 33; el segundo: imagen 3D de la impresión del caso 16 con la huella dental del modelo nº 30, y así, hasta terminar las comparaciones de la columna 1, continuando por la columna 2 también en sentido vertical descendente, y así sucesivamente, hasta finalizar con el último caso de estudio, que sería la comparación 104 entre las imágenes del caso 13 y la huella dental del modelo nº 41. Siguiendo este diseño nos asegurábamos que existía un número mínimo apropiado de comparaciones y, además, se incluyeron un número de identificaciones positivas adecuado para su posterior análisis estadístico (una cuarta parte de las comparaciones). Todo el procedimiento fue realizado a ciego, es decir, estos aspectos no eran conocidos por el observador.

Tabla 2. Plantilla que determina el orden y el número de comparaciones que realizó el observador en el ensayo experimental.

Impresión	Modelo			
7	33	22	51	37
16	30	41	38	56
13	26	51	45	18
16	38	40	41	37
2	26	38	22	40
14	40	38	17	1
15	17	51	56	22
11	37	17	22	18
14	40	30	56	30
2	21	37	38	1
6	21	33	40	38
4	30	45	17	37
5	56	18	21	51
8	26	45	17	22
9	17	30	37	13
8	26	38	18	56
3	38	13	51	18
3	26	18	51	13
9	45	33	37	30
5	51	21	17	18
4	17	37	30	33
7	51	26	45	22
15	40	56	13	1
6	13	17	21	40
11	13	30	56	37
13	37	51	22	41

Cada comparación fue realizada de acuerdo con el sistema de puntuación de la ABFO (1995) asignándole a cada conclusión diagnóstica un número. Las conclusiones de los observadores se catalogaron como:

0: No mordedor. Cuando no tenemos dudas sobre que la mordedura no ha podido producirla un determinado modelo dental (al compararlo con la transparencia generada por éste).

1: Probable mordedor. En el caso en el que no podamos estar seguros de excluir a un modelo dental de haber producido esa mordedura, no se ven claros indicios de coincidencia, pero tampoco como para excluirlo de haber producido la mordedura.

2: Posible mordedor. En estos casos es muy posible que la mordedura haya sido producida por un modelo dental determinado, pero no tenemos la seguridad total de que así sea.

3: Mordedor (Identificación positiva). Claramente podemos concluir que hay coincidencia total entre la mordedura y la transparencia.

De las categorías que propugna la ABFO hemos excluido la categoría inconclusa, ya que en nuestro caso teníamos información precisa de cada mordedura como para catalogarla entre las categorías expuestas anteriormente al realizar el proceso de comparación.

Todo este proceso de comparación se realizó por dos observadores odontólogos experimentados diferentes: el primero comparó las huellas generadas a partir de las impresiones de las mordeduras con las de los modelos dentales, ambas obtenidas con DentalPrint© mientras que el segundo realizó las comparaciones que tradicionalmente se han venido haciendo hasta ahora, es decir, entre las fotografías de las lesiones de mordedura, realizadas con los mismos modelos dentales sobre piel de cerdo cadáver con las huellas generadas por DentalPrint© a partir de los modelos dentales.

2.5. Proceso de comparación cuantitativo de las huellas de mordida y las impresiones de las mordeduras

Para la toma de mediciones empleamos el programa informático tpsDig versión 2.10 (Stony Brook, 2006). Se trata de una aplicación informática que permite realizar cálculos de morfometría, así como tomar mediciones lineales y angulares. Este programa es además capaz de importar imágenes en archivo jpg sobre las cuales realizar las mediciones.

En este caso se emplearon las imágenes de las huellas obtenidas a partir de los modelos y de las impresiones de silicona de mordida mediante el programa informático DentalPrint©. Para ello se seleccionó una imagen para cada caso que correspondía con la primera transparencia en la que se podían identificar los contornos de los seis dientes anteriores. En los casos en los que había ausencias de alguno de los dientes anteriores, se obvió la medición de dichas piezas sirviéndonos de las restantes.

El primer paso fue la selección de los landmarks. Los landmarks son puntos que permiten digitalizar una imagen para poder realizar una serie de cálculos matemáticos. Para ello se marcaron un par de puntos por cada incisivo y un punto por cada canino. Mientras que los landmarks de los caninos servirían para crear una línea de referencia, los situados a nivel de los incisivos determinarían el eje mesiodistal de cada pieza. De esta forma los landmarks se ubicaron en distal de los caninos y en mesial y distal de los incisivos presentes en cada arcada. La línea de referencia se denominó LIC (Línea Inter-Canina) y era la resultante de unir los landmarks situados en distal de ambos caninos dentro de una misma arcada. Para determinar la angulación de los incisivos se trazó una línea perpendicular a la LIC denominada LM (Línea Media) de tal forma que permitiera intersectar con las líneas resultantes de unir los landmarks ubicados en mesial y distal de cada incisivo y de esta forma describir un ángulo medible por el programa informático. Por tanto, en este estudio se determinaron los ángulos descritos por todos los incisivos presentes en todos los casos de la muestra (Figuras 22 y 23).

Asimismo, se determinó la distancia intercanina para ambas arcadas empleando una herramienta que ofrece el mismo programa y que requiere un calibrado previo en

cada caso. Este calibrado se realizó sobre la escala ABFO número 2 que genera el programa DentalPrint© de forma automática (Figuras 22 y 23).

Se realizaron las mediciones sobre un total de 13 modelos dentales y 13 impresiones de las huellas de mordedura y se midieron cinco variables: cuatro referentes a las angulaciones de los incisivos en relación a la LM y la distancia intercanina (DIC). Cada variable fue comparada con su homónima, realizando un total de 169 comparaciones de las cuales 13 eran positivas. El valor porcentual de la discrepancia para cada comparación de variables homónimas fue calculado a partir de la siguiente fórmula $[(x1-x2)/x2] \times 100$, siendo x1 la medición mayor de la pareja mordedura-modelo, y x2 la menor.

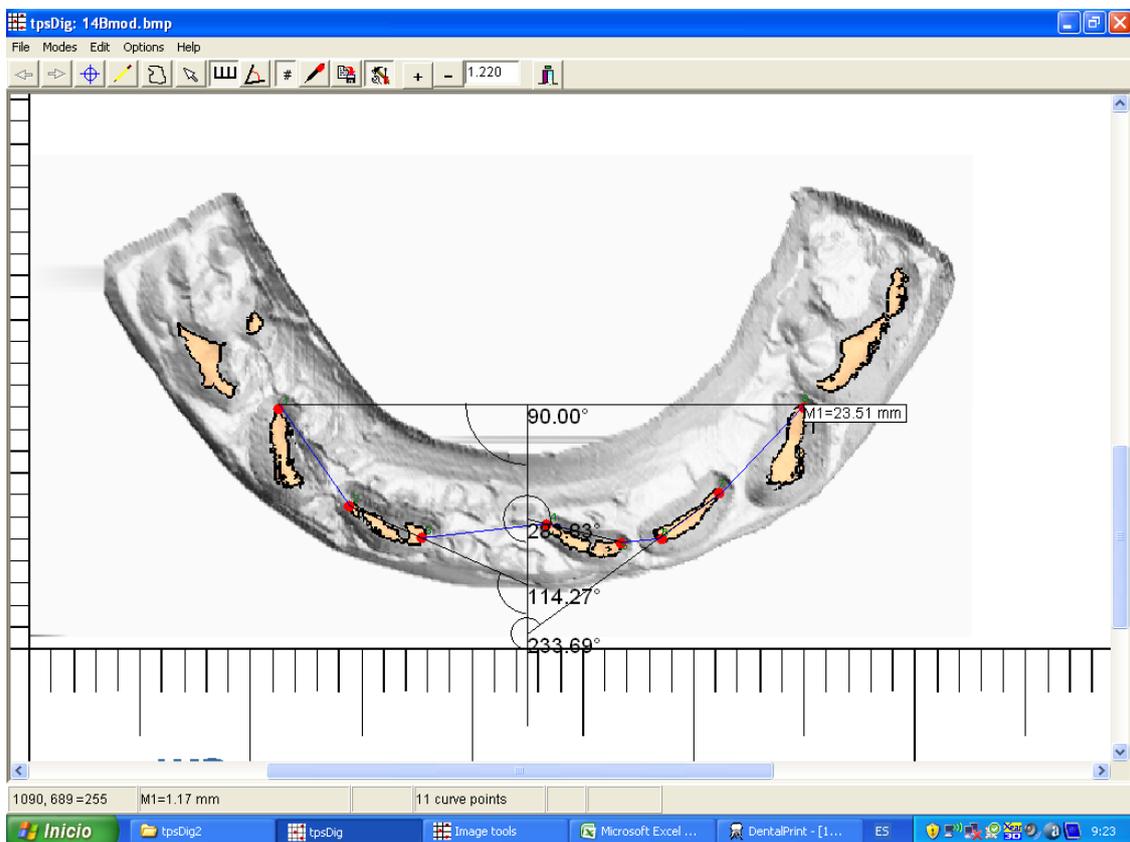


Figura 22. Imagen de la toma de mediciones de una impresión de mordedura inferior. Obsérvese como en el caso de la dentición inferior la LM y la LIC forman un ángulo de 90°. También se aprecia el cálculo de los ángulos de los incisivos con respecto a la LM y la distancia intercanina.

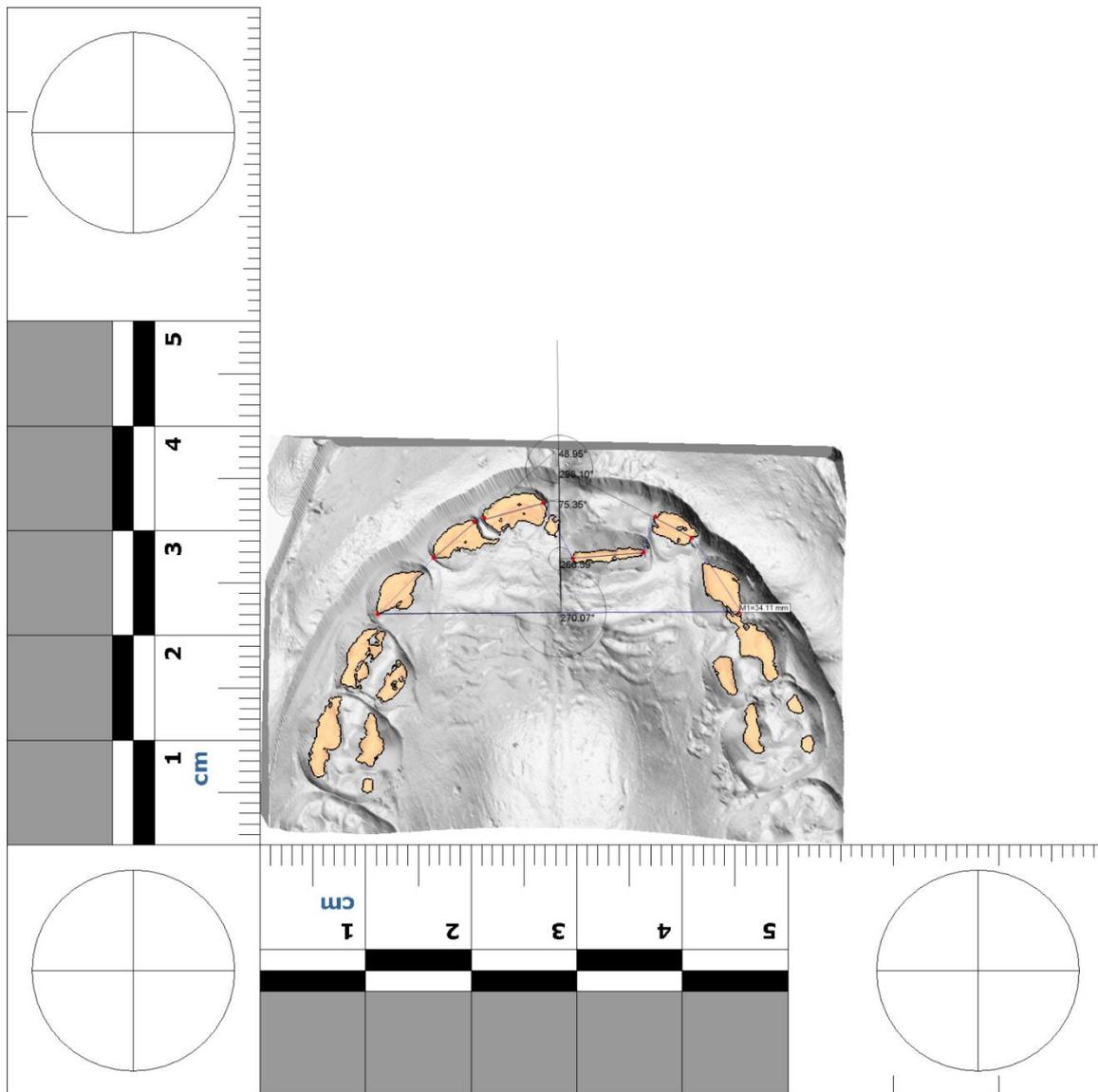


Figura 23. Imagen de la toma de mediciones de un modelo dental superior. Obsérvese como en el caso de la dentición superior la LM y la LIC forman un ángulo de 270° . También se aprecia el cálculo de los ángulos de los incisivos con respecto a la LM y la distancia intercanina.

2.6. Análisis estadístico

Para estudiar la validez del método se ha utilizado el análisis de las curvas ROC (Receiver-Operating Characteristic) que constituye un magnífico indicador de la precisión de una prueba diagnóstica, aspecto éste crítico en la toma de conclusiones. Las

curvas ROC aúnan el concepto de sensibilidad y especificidad en un solo valor, el área bajo la curva ROC, valor inequívoco de la precisión del método. Por tanto, el área bajo la curva ROC refleja, en nuestro caso, la capacidad del examinador de reconocer la dentadura que realizó la mordedura. La sensibilidad, también llamada fracción de verdaderos positivos, se define como la proporción de identificaciones correctas de dentaduras que produjeron las mordeduras. La especificidad es la proporción de identificaciones correctas de dentaduras que no produjeron las mordeduras. En los análisis de las curvas ROC en el eje Y se representa la sensibilidad o la fracción de verdaderos positivos. En el eje X se representa el número de identificaciones incorrectas como complemento al valor de la especificidad (1-especificidad). La figura de la curva ROC, por tanto, proporciona un cuadro completo de la habilidad de una prueba para discriminar, examinando todos los posibles umbrales de decisión; representa los pares de sensibilidad/especificidad para todo el rango de resultados observados. Cuando el examinador analiza una huella por mordedura, cada conclusión diagnóstica que expresaría el grado en el que cree que la dentadura en cuestión produjo la mordedura, puede ser usada como puntos de corte de la curva ROC. Una prueba diagnóstica con una discriminación perfecta tiene una curva que pasa a través de la esquina superior izquierda, donde la fracción de verdaderos positivos es 1 ó 100 % (sensibilidad perfecta) y la fracción de falsos positivos es 0 (especificidad perfecta). Una figura teórica para una prueba que no discrimina es una línea diagonal de 45° o desde la esquina inferior izquierda hasta la superior derecha. La mayoría de las representaciones caen entre estos extremos. Cuanto más cerca esté la línea de la esquina superior izquierda, mayor será la precisión de la prueba. Esta información se resume en el área bajo la curva ROC, valores entre 0,5 y 1 (discriminación perfecta) indicarían una relación positiva entre la categorización y la correcta identificación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las huellas por mordeduras constituye un tema novedoso dentro del campo de las Ciencias Forenses. Su estudio requiere una alta especialización tanto en el campo de la Medicina Legal como en el campo de la Odontología, ya que son necesarios conocimientos de ambas doctrinas para un correcto análisis. La aportación del estudio de las huellas por mordeduras persigue contribuir a la mejoría de la resolución de una serie de cuestiones de índole médico-legal, como son la violencia en la agresión, la vitalidad de las lesiones (es decir si se produjeron en vida o no del sujeto) o la data de las mismas. Sin embargo, la contribución estrella en la investigación criminal del análisis de las huellas por mordeduras la constituye la identificación del agente actor de la misma. La evidencia de una mordedura es a menudo una parte importante en los procedimientos judiciales. El proceso de comparación de mordeduras es un procedimiento comúnmente aplicado en el campo de la justicia criminal, sobre todo, en países en los que la Odontología Forense está profundamente desarrollada como Estados Unidos, Canadá o los Países Nórdicos. En los últimos años se ha investigado ampliamente sobre nuevas técnicas en el análisis de las mordeduras desde la perspectiva médico-legal. El proceso de análisis comparativo de las huellas de mordeduras con los modelos o la dentadura del agresor es crítico para la obtención de conclusiones. De la calidad en la generación de las huellas dentales a partir de los modelos del sospechoso dependerá la adecuada resolución pericial del caso. Esto nos obliga a profundizar en el desarrollo de nuevas metodologías que permitan la generación automática de las huellas dentales. La automatización del proceso permitirá mejorar la objetividad del análisis, principal crítica científica achacable a la mayoría de los procedimientos actuales (Sweet y Bowers 1998; Johansen y Bowers 2000; Pretty y Sweet 2001; McNamee y Sweet, 2003). La posibilidad de estandarizar el procedimiento y de que éste pueda ser reproducido por cualquier experimentador, es igualmente una finalidad que persiguen las nuevas metodologías.

En este trabajo de investigación se han utilizado técnicas de imágenes en tres dimensiones para el análisis de las mordeduras. El programa DentalPrint© se ha creado específicamente para tal fin en el Departamento de Medicina Legal y Forense en colaboración con el Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada (Martín-de las Heras S y cols., 2005). Este programa se diseñó originariamente

para la creación de huellas a partir de los modelos dentales del sospechoso. En esta memoria de investigación se ha optimizado dicho programa para la creación de las huellas dentales a partir de las impresiones tomadas de las lesiones por mordeduras en los casos donde se hayan producido identaciones.

1. Avances obtenidos con la utilización de técnicas de imágenes en tres dimensiones en el proceso de comparación de las huellas por mordeduras.

En este sentido, el programa DentalPrint© nos aporta una serie de ventajas al comparar las imágenes en tres dimensiones de las huellas dentales de los modelos del sospechoso con las impresiones de las identaciones de la lesión por mordedura también obtenidas en tres dimensiones. El análisis tradicional permitía la comparación de la fotografía de la mordedura (dos dimensiones) con la huella dental de los modelos del sospechoso (tres dimensiones).

La comparación de ambas imágenes en tres dimensiones, por tanto, presentan una serie de ventajas, las cuales paso a describir a continuación:

1.1. Las ventajas del escáner en 3D

Para la obtención de las huellas dentales de las lesiones de las mordeduras se emplea un método que utiliza imágenes de las impresiones de las mordeduras escaneadas en tres dimensiones. Las fotografías representan los objetos en dos dimensiones lo que supone una distorsión al tener que modificar una lesión que es tridimensional, como son las producidas por una mordedura donde se produzcan identaciones, y transferir la información que proporcionan a una imagen de dos dimensiones. Para ello hemos desarrollado una técnica de escáner de las impresiones de las mordeduras en silicona en tres dimensiones utilizando un escáner 3D de tipo contacto (Picza 3D Scanner, Roland Digital Group Corporation). Esta técnica nos permite comparar dos imágenes tridimensionales, por un lado la huella obtenida a través del modelo dental en 3D y por otro la obtenida a través de la impresión de la lesión por mordedura también previamente digitalizada en 3D.

1.2. Supresión de la distorsión inherente a la fotografía de la lesión

La distorsión provocada en la fotografía ha sido el apartado más discutido por los diferentes expertos en fotografías de mordeduras (Rawson y cols., 1986a). El objetivo del estudio fotográfico es conseguir una verdadera reproducción de los dientes del agresor (1:1), por tanto, es necesario minimizar, en la medida de lo posible, todos los factores que puedan distorsionar la realidad para conseguir una correcta interpretación de los resultados (Bowers y Johansen, 2001). En este sentido la aplicación de las nuevas tecnologías informáticas en 3D al análisis de mordeduras se muestra como una alternativa al método convencional de la fotografía en los casos donde se hayan producido identaciones y sea factible la toma de impresiones de la lesión por mordedura.

Esta distorsión se debe a tres factores:

- a) Distorsión inherente a las marcas en sí mismas debido a los mecanismos propios de producción de la mordedura y a las propiedades físicas y biológicas de la piel y estructuras subyacentes (Sheasby y MacDonald, 2001). Una mordedura rara vez es una reproducción exacta de los dientes porque se puede ver afectada por una serie de variables tal y como hemos descrito con anterioridad.
- b) Distorsión por intentar representar las marcas que están en tres dimensiones en fotografías que las reduce a dos dimensiones. Cuanto mayor es la curvatura de la piel, mayor es la imprecisión.
- c) Distorsión producida por la magnificación en la película fotográfica. Debido a la curvatura de la piel y a que se trata de marcas en tres dimensiones, cuando hacemos una fotografía de una mordedura, es difícil que la imagen obtenida sea de un tamaño real, generalmente suele haber una magnificación de la fotografía obtenida.

1.3. Mayor control de la distorsión primaria

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en el análisis de las mordeduras es que el acto de morder es un proceso dinámico, de un lado la mandíbula se mueve respecto del maxilar y de otro la persona que recibe la mordedura. Además, el sustrato sobre el que se produce frecuentemente la mordedura, la piel humana, es un tejido elástico y deformable. Una mordedura puede distorsionarse debido a las propiedades biomecánicas de la piel, su tejido subyacente, y en consecuencia provocar un desplazamiento de lugar de la mordedura o del área subyacente. La explicación a esta distorsión se halla en las propiedades de la piel: visco-elasticidad, histéresis, no linealidad y anisotropía. A través del análisis de las curvas de estrés/tensión para la piel se estudió la secuencia de cambios experimentados por la piel en el acto de morder observándose en primer lugar una deformación elástica y seguidamente una extensión visco-elástica. Además hemos de tener en cuenta que en el sujeto vivo, el tiempo va a producir una serie de cambios en la lesión de la mordedura debido a la propia respuesta natural del organismo ante una agresión externa: edema, hemorragia e inflamación. Asimismo se ha observado que cuando se producen ligeras identaciones, éstas no persisten más de 30 minutos, tanto en el sujeto vivo como en el cadáver. Por otro lado, el grado de distorsión varía también en función de la localización anatómica donde se produce la lesión e incluso la posición postural en la que se encuentra la víctima ya que modificará el grado de tensión experimentado por la piel (Dorion, 2009). Estas características específicas de este tipo de huellas hacen que cada episodio que produce una mordedura es un acontecimiento único. Por tanto, esto nos indica que una misma dentadura puede producir y produce marcas de huellas dentales diferentes (Sheasby y MacDonald, 2001).

Esta variabilidad en la apariencia de una huella por mordedura hace necesario que, para un mejor análisis, podamos obtener de un mismo modelo dental diferentes transparencias de sus huellas dentales, acordes al proceso dinámico del acto y a las características del sustrato, para compararlas con la fotografía de la mordedura. De igual forma la incorporación de este nuevo método informático nos permite realizar huellas dentales a partir de impresiones de mordeduras en los casos de identaciones obteniendo

como resultado diferentes transparencias según la profundidad o la inclinación que analicemos en la lesión por mordedura. Esta cuestión no estaba resuelta por los métodos de creación de huellas dentales utilizados hasta la fecha, sin embargo, el programa DentalPrint© permite crear diferentes huellas dentales (transparencias) para ello se ha dotado al programa de una serie de herramientas informáticas para conseguir este propósito. De cada modelo dental o impresión de la mordedura se pueden crear tantas transparencias de la huella dental (casos de estudios) como consideremos oportuno. En el panel de parámetros del programa (barra del lado derecho) se permite el acceso a todas las variables que se utilizan para los cálculos geométricos de cada caso de estudio. Éste se divide en varias secciones, cada una dedicada a una fase de los cálculos que se realizan para determinar la huella dental. Al lado del título de cada apartado aparece un botón que sirve para establecer los valores por defecto en los parámetros de esa sección. Después de hacer cualquier modificación sobre los datos, es necesario pulsar el botón inferior del panel (*realizar cambios*), para que se calcule y ejecute la nueva huella dental.

Los parámetros que podemos modificar son:

- Con respecto al cálculo de las cimas (puntos más altos)

Radio de búsqueda (milímetros). El programa DentalPrint© realiza una búsqueda por toda la superficie del modelo detectando todos los puntos más altos (máximos locales) para después seleccionar los 3 más elevados de entre ellos. Esta búsqueda la realiza en áreas circulares que va solapando unas con otras para evitar perder información. Este radio determina la amplitud de la zona donde se define cada máximo local. Cuanto mayor sea, más rápidos serán los cálculos y menos cimas aparecen. Al programa por defecto se le asignó que estas áreas circulares tuvieran 1 mm de radio, es decir, que va detectando los puntos más elevados del modelo dental en superficies de 1mm, este parámetro puede ser modificado aumentando o disminuyendo el valor del radio de búsqueda (Figuras 24 y 25).

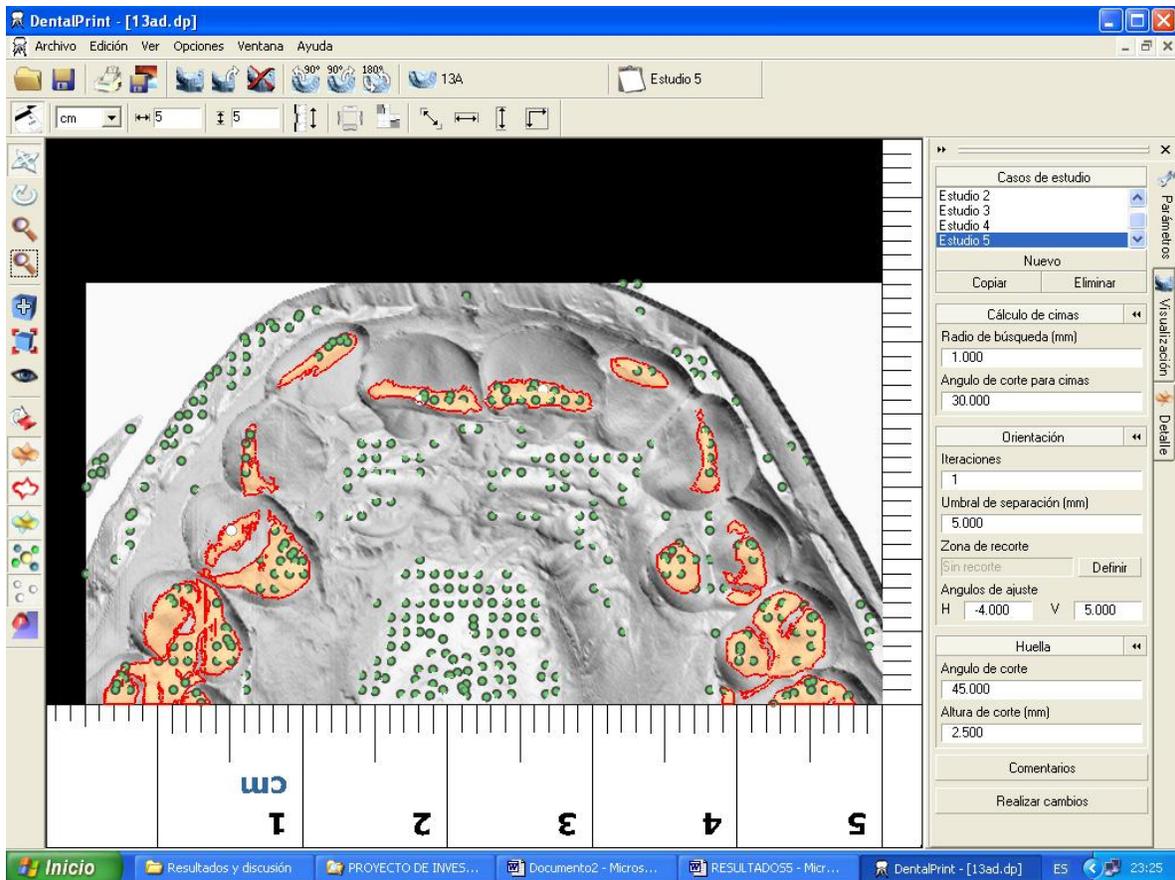


Figura 24. Los puntos verdes (cimas secundarias o máximos locales) nos indican los puntos más elevados de las distintas superficies del modelo, de entre todos ellos se detectarán las tres cimas principales (puntos blancos) que definen el plano de contacto.

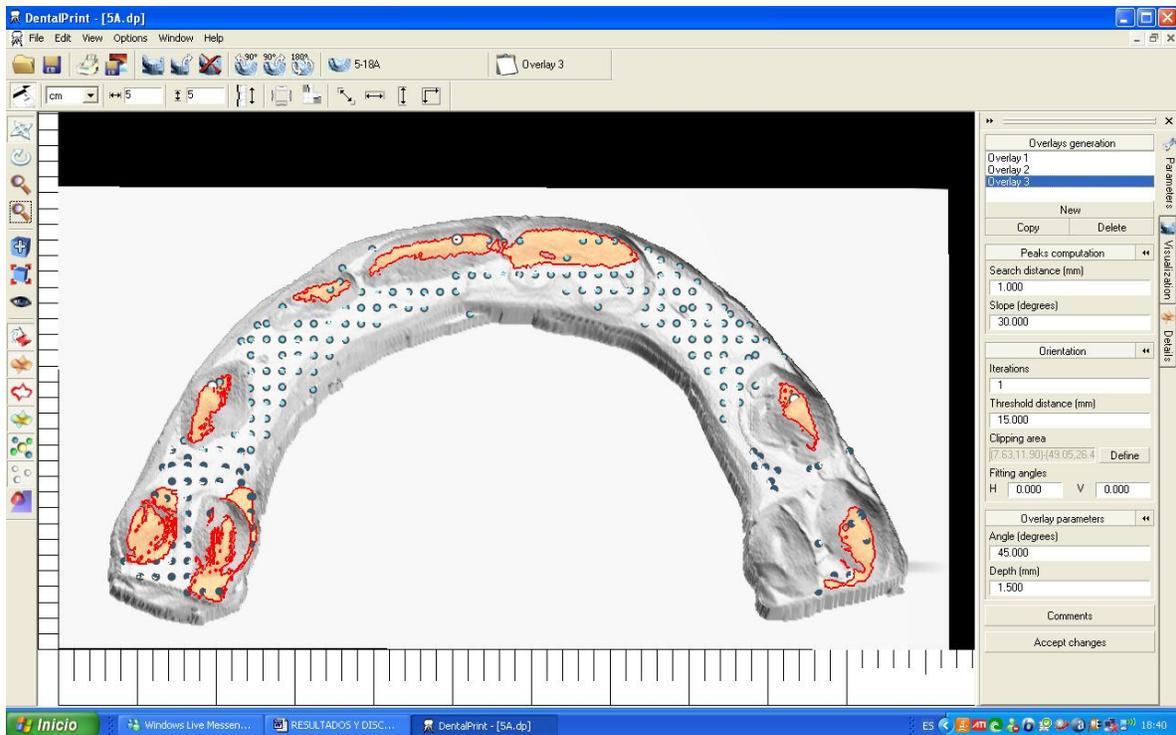


Figura 25. Representación de las cimas secundarias (puntos verdes) y principales (puntos blancos) sobre la impresión de una lesión por mordedura escaneada en 3 dimensiones.

Ángulo de corte para las cimas (grados). En cada punto de la superficie se define una pendiente respecto del plano base, incluyendo las cimas; si el ángulo de inclinación supera el umbral establecido, el máximo local será descartado. En los valores por defecto del programa le hemos asignado un valor de 30 grados que también puede ser modificado según el caso lo requiera.

- Con respecto a la orientación del modelo

Umbral de separación (milímetros): El umbral de separación es la distancia mínima que deben guardar entre sí las cimas principales, para evitar que estén muy próximas. Las cimas principales son los tres puntos más altos del modelo. El programa detecta todos los puntos más altos de las diferentes zonas del modelo y de todos ellos toma los tres más elevados (aparecen en color blanco) los cuales se situarán sobre bordes incisales y cúspides. Estos tres puntos definen el plano de contacto, el cual a su vez genera la huella al extenderse

hacia abajo en el modelo dental. Estudios previos durante la elaboración del programa hicieron aconsejable que estos tres puntos no pudieran estar entre sí a una distancia inferior a 5 mm, con objeto de que no aparecieran juntos en una misma pieza dentaria, como por ejemplo, ocurriría en una pieza dental que estuviera un poco elevada sobre el plano oclusal (extruída), esto debíamos evitarlo pues si en un mismo diente coincidían dos o las tres cimas, el plano de contacto nos daría una orientación incorrecta. Dicha distancia puede ampliarse si por las características oclusales de la dentadura así lo consideráramos (Figura 26).

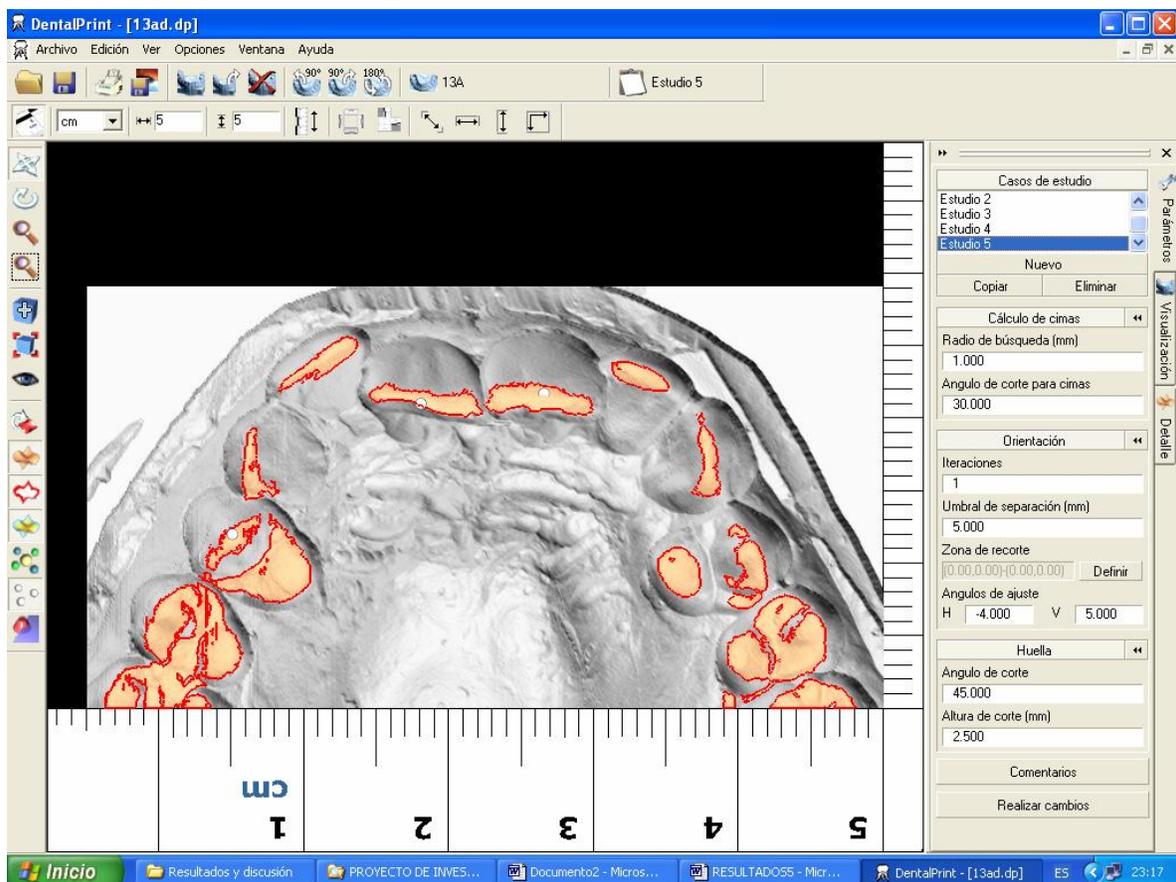


Figura 26. La presencia de las cimas principales define el plano de contacto (puntos blancos). En esta imagen aparecen en los dientes 14,11 y 21. La distancia entre ellas puede ser modificada si el caso lo requiere (umbral de separación).

Zona de recorte: La huella de una mordedura viene definida por el plano de contacto, que a su vez está definido por los puntos más altos del modelo dental (cimas principales), de esta manera, nosotros podemos delimitar una zona de trabajo (zona de recorte) del modelo en particular, que será la que defina el plano de contacto, pues las cimas principales siempre están dentro de la zona de recorte y, por tanto, la huella se creará basándose en esta información. También podemos mantener esta opción desactivada, en cuyo caso se trabajará sobre todo el modelo dental (Figura 27).

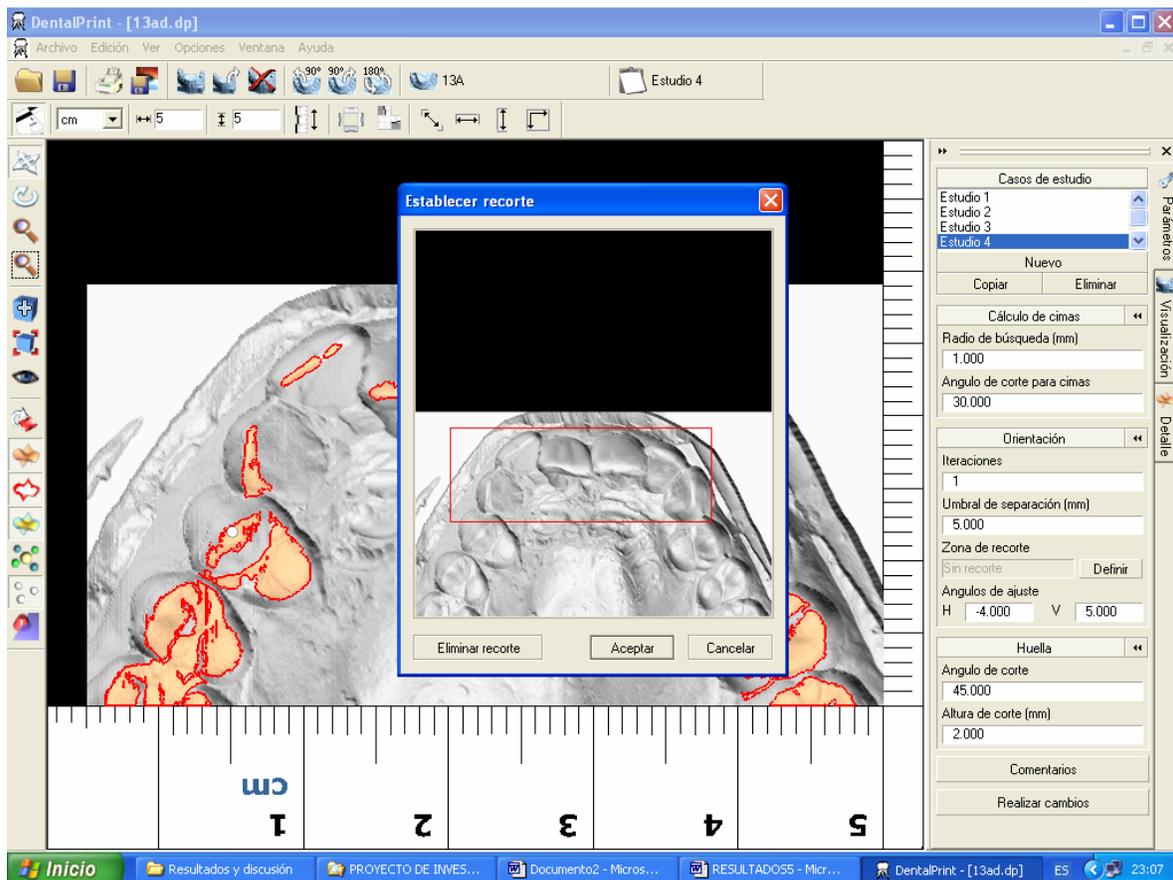


Figura 27. Con la herramienta de zona de recorte podemos acotar la zona sobre la que queremos trabajar para la generación de la huella dental.

- Con respecto a la huella

Ángulo de corte (grados): La huella se crea a partir del plano de contacto (definido por las 3 cimas principales) que se extiende hacia abajo, incluyendo las zonas en las que la pendiente de la superficie supera el ángulo umbral de corte. Por defecto se le asignó al programa un valor de 45° pero es modificable según las características del caso en cuestión.

Altura de corte (milímetros): La creación de la huella dental depende también de la profundidad a la que se extiende el plano de contacto. Para evitar que la extensión hacia abajo del plano de contacto supere cierta profundidad, se acota mediante este parámetro. La altura de corte se mide desde el plano de contacto hacia abajo.

Ángulos de ajuste (grados): Es posible realizar un ajuste adicional al plano de contacto creado mediante la herramienta ángulos H y V. El ángulo H hace rotar el plano de contacto resultante en sentido horizontal, los grados que estimemos oportuno, y el V en vertical. Mediante estos cambios en la angulación podemos obtener huellas diferentes para un mismo modelo (Figura 28). Esta herramienta es particularmente importante para controlar el dinamismo en la huella generada, como en los casos en los que existiera mucha angulación entre los dientes del agresor y la piel de la víctima, en las huellas de mordeduras parciales o en los casos en los que la víctima se moviera para defenderse y no recibiera un mordisco completo.

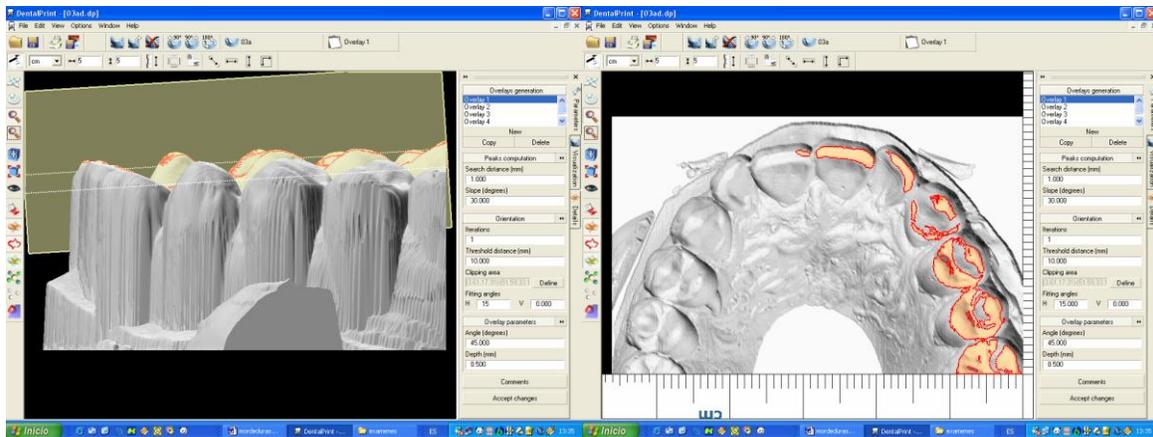


Figura 28. En el programa DentalPrint© podemos crear diferentes huellas dentales a partir de un mismo modelo cambiando los ángulos de ajuste vertical y horizontal del plano de contacto. En las fotografías vemos un ejemplo de una mordedura donde hemos inclinado el plano de contacto 15° en horizontal, en la imagen de la izquierda se ve el plano de contacto rotado y en la de la derecha la imagen de la huella resultante.

1.4. Creación de diferentes huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida

Dependiendo de la intensidad o fuerza con la que se realice una mordedura variará el grado de penetración de los dientes en la piel y por tanto, la huella dental cambiará. Además, hay que pensar que si, por ejemplo, hay piezas por debajo del plano oclusal (intruidas), éstas pueden no reflejarse en la mordedura si ésta no es suficientemente fuerte, pero a medida que la mordedura sea más intensa podrán aparecer en la misma. En las transparencias que se generaban en el programa Adobe® Photoshop® no existía la posibilidad de hacer estas distinciones en la creación de las transparencias, ya que todas las piezas de la arcada dental salían reflejadas en la huella sin tener en cuenta su posición respecto del plano de oclusión.

El programa DentalPrint© permite crear diferentes transparencias de huellas dentales dependiendo de la intensidad de la mordida, al poderse modificar la profundidad (altura de corte) a la que se extiende el plano de contacto para generar la huella (Figura 29).

En este trabajo de investigación se han realizado cinco estudios (transparencias) por cada modelo y de tres a cinco por impresión de mordedura, variando la altura de corte desde 0,5 mm para el primer estudio, 1 mm para el segundo, 1,5 mm para el tercero, 2 mm el cuarto y hasta 2,5 mm el quinto. En determinados casos el número de transparencias generadas por cada modelo ha sido mayor. De igual forma las profundidades analizadas han podido variar en el estudio de las impresiones de la lesión por mordedura según la ubicación inicial del plano de contacto.

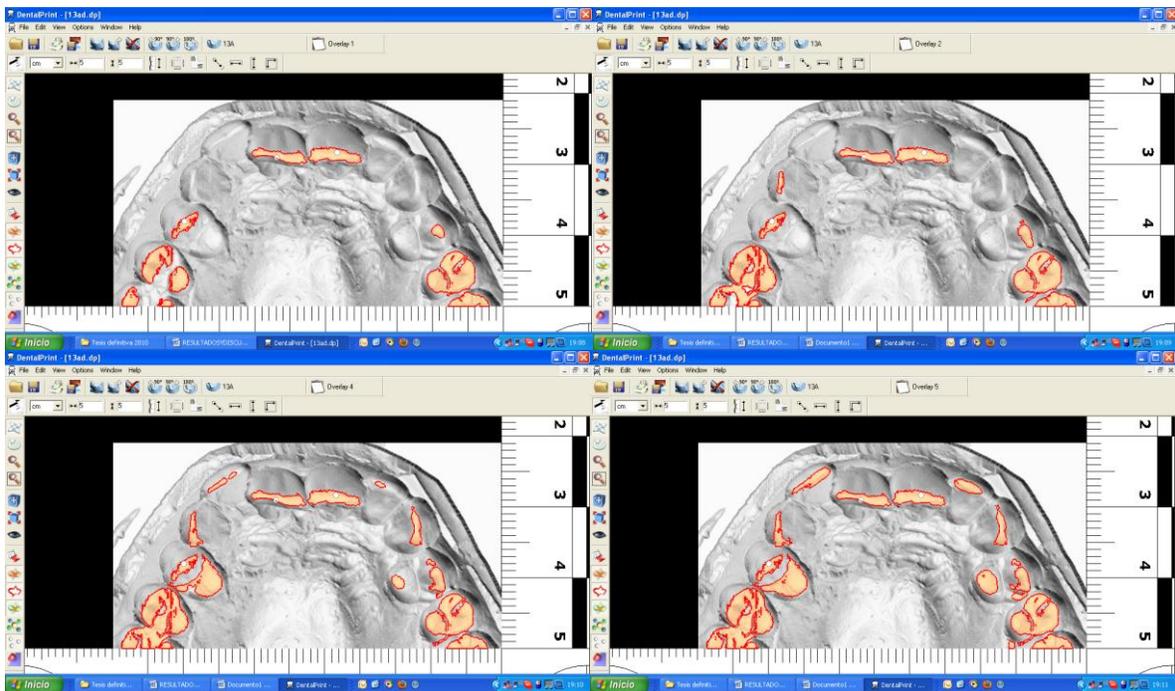


Figura 29. Ejemplos de diferentes huellas obtenidas a partir de un mismo modelo, dependiendo de la intensidad de la mordida. Las huellas dentales se obtienen cambiando la altura de corte (profundidad de la huella según la intensidad de la mordedura). Así tenemos el estudio n° 1 arriba a la izquierda con una altura de corte de 0,5 mm, le sigue a su derecha una altura de corte de 1 mm, abajo a la izquierda 1,5mm y abajo a la derecha 2 mm. Como vemos conforme aumentamos la altura de corte, aumenta el número y tamaño de las superficies implicadas en la mordedura.

1.5. Otros recursos informáticos del programa DentalPrint©

El programa DentalPrint© ofrece otros recursos de visualización y movimiento que mejora el estudio de los casos prácticos. Estos recursos están fundamentalmente localizados en la barra de herramientas de la izquierda de la pantalla. Nos permiten trasladar y girar los modelos dentales para tener una visualización completa de la imagen en 3D. Disponemos de otras herramientas como el zoom, opciones de visualización como vistas predeterminadas, centrado de la imagen, así como diferentes opciones de visualización en pantalla como las cimas, las huellas, los planos, etc. Como recursos adicionales del programa tenemos un panel donde pueden ajustarse las propiedades de visualización (color) del propio modelo. En la ventana de selección de material aparece una lista de materiales predefinidos, y al final algunos que pueden ser definidos por el usuario. Además, el programa incluye de manera automática la escala nº 2 de la ABFO. También DentalPrint© nos permite hacer mediciones sobre el modelo y la impresión de la mordedura para calcular distancias en sentido horizontal y vertical. Una vez generadas las transparencias de las huellas dentales, estas pueden imprimirse en un papel normal o de acetato. En este trabajo de investigación las huellas generadas a partir de los modelos se imprimieron en papel normal mientras que las obtenidas a partir de las impresiones de las mordeduras fueron impresas en papel de acetato. Las opciones de impresión son múltiples como incluir o no la escala nº 2 de la ABFO, permite imprimir los modelos superior e inferior en una misma imagen, etc.

2. Análisis de la validez del método DentalPrint© para la comparación de las huellas dentales en tres dimensiones obtenidas del modelo dental y la impresión de la mordedura.

Analizar la validez de un nuevo método debe ser un paso esencial para su posterior utilización en los casos judiciales de la práctica pericial. 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 que viene definida por el área existente bajo la curva (área bajo la curva: AUC) que se

considera un fiel reflejo de la precisión del método. Es decir, mide la capacidad del examinador para reconocer correctamente la dentadura que produjo la mordedura. El rango de área bajo la curva ROC va de 0 a 1, así un área de 0,5 indica que los examinadores están acertando en un 50 % de los casos. Áreas entre 0,5 y 1 indicarían una buena precisión en la identificación, y un área de 1 indicaría una precisión perfecta. La **sensibilidad** también llamada FVP (fracción de verdaderos positivos) es definida como el porcentaje de examinadores que identifican correctamente la dentición que hizo la mordedura. La **especificidad** es el porcentaje de examinadores que identifican correctamente la dentición que no hizo la mordedura. En el análisis de las curvas ROC, la FFP (fracción de falsos positivos) es el número de identificaciones que incorrectamente fueron diagnosticados como actores de la mordedura (1-especificidad). Cada respuesta que dan los observadores respecto a si una dentadura particular pudo producir una mordedura (“no mordedor”, “probable”, “posible”, “mordedor”) puede considerarse como un punto de corte en la curva ROC, produciendo unos datos pareados de FVP y FFP. Estos datos representados sobre el eje y (FVP) y sobre el eje x (FFP) formarían la curva ROC.

Para determinar la validez del método DentalPrint© en la comparación de las huellas dentales en 3 dimensiones obtenidas del modelo dental y la impresión de la mordedura, un observador dentista experto en mordeduras realizó 104 comparaciones. Para ello se siguieron las indicaciones de un experto estadístico de la Universidad de Granada. En todos los casos, el observador comparó siempre una impresión en papel de la huella dental generada de un modelo con las transparencias de la huella dental generada a partir de una impresión de la mordedura, es decir, la comparación fue una a una. Se le suministró al observador una plantilla que establecía el orden de las comparaciones con una secuencia determinada (Tabla 3), de manera que, a partir de los 13 casos de mordeduras del experimento, se realizaron 104 comparaciones. El orden establecido fue el siguiente: el observador realizaba las comparaciones en sentido vertical descendente comenzando la comparación entre las huellas de las impresiones de la mordedura del caso nº 7 con la huella dental del modelo nº 33; el segundo: impresión de la mordedura del caso 16 con la huella dental del modelo nº 30, y así, hasta terminar las comparaciones de la columna 1, continuando por la columna 2 también en sentido vertical descendente, y así sucesivamente,

hasta finalizar con el último caso de estudio, que sería la comparación 104 entre las huellas de las impresiones de la mordedura del caso 13 y la huella dental del modelo nº 41. Siguiendo este diseño nos asegurábamos que existía un número mínimo apropiado de comparaciones (104 para cada método) y, además, se incluyeron un número de identificaciones positivas adecuado para su posterior análisis estadístico (una cuarta parte de las comparaciones). Todo el procedimiento fue realizado a ciego, es decir, estos aspectos no eran conocidos por el observador.

Tabla 3. Plantilla que determina el orden y el número de comparaciones que realizó el observador.

Impresión mordedura	Transparencias de los modelos dentales			
7	33	22*	51	37
16	30	41*	38	56
13	26	51*	45	18
16	38	40	41*	37
2	26	38*	22	40
14	40*	38	17	1
15	17	51	56*	22
11	37*	17	22	18
14	40*	30	56	30
2	21	37	38*	1
6	21*	33	40	38
4	30	45	17*	37
5	56	18*	21	51
8	26*	45	17	22
9	17	30*	37	13
8	26*	38	18	56
3	38	13*	51	18
3	26	18	51	13*
9	45	33	37	30*
5	51	21	17	18*
4	17*	37	30	33
7	51	26	45	22*
15	40	56*	13	1
6	13	17	21*	40
11	13	30	56	37*
13	37	51*	22	41

* Casos positivos de identificación

Una vez realizada la comparación, el observador tomó dos tipos de decisiones: decisión 1 y decisión 2. La primera se rige por el sistema de puntuación que propugna la Comisión Americana de Odontología Forense (American Board of Forensic Odontology, ABFO, 1995) y que clasifica las conclusiones diagnósticas en cuatro categorías: 0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor y 3= mordedor (identificación positiva) y la segunda a la que llamamos “decisión simple” sólo admite dos categorías: 0= no mordedor y 1= mordedor.

El área bajo la curva ROC obtenida para el experto para la decisión 1 fue de 0,953 con un error estándar de 0,032 y un IC de 0,890 a 1,016 al 95% (Figura 30). Para la “decisión simple” esta área aumentó a 0.955 con un error estándar de 0.031 y un IC de 0.893 a 1,017 al 95% (Figura 31).

El área bajo la curva ROC es un parámetro objetivo de la precisión del método y se considera muy superior a los valores aislados de sensibilidad y especificidad. Swets (1988) clasificó los métodos diagnósticos de acuerdo al valor del área bajo la curva ROC como: “de alta precisión” para valores superiores a 0.9, “de utilidad para determinados propósitos” para valores entre 0.7 y 0.9 y de “precisión pobre” entre 0.5 y 0.7. Por tanto, y según los resultados obtenidos, podemos concluir que el método empleado es un método diagnóstico “de alta precisión”.

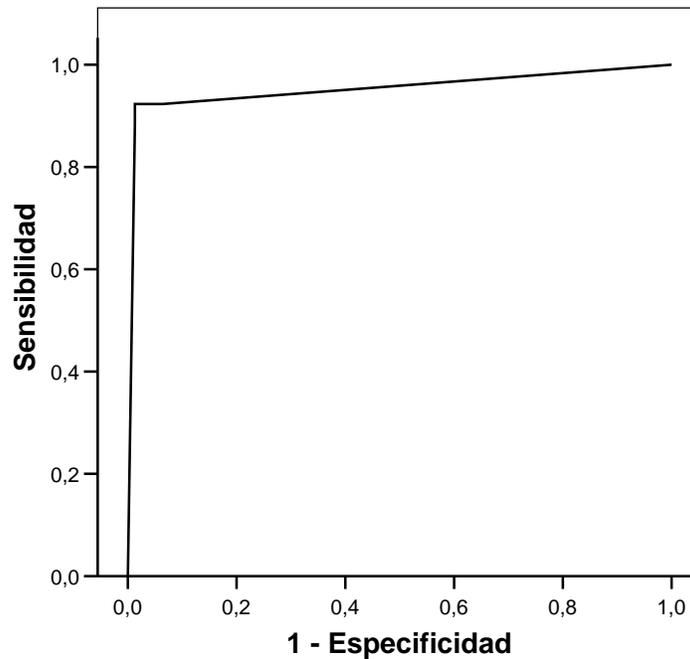


Figura 30. Representación gráfica de la curva ROC del observador experto utilizando el DentalPrint© para comparar las huellas de las impresiones de las mordeduras con las huellas obtenidas de los modelos dentales. Las categorías diagnósticas fueron las que sugieren la ABFO (decisión 1).

Sin embargo, nuestro estudio presenta algunas limitaciones, fundamentalmente en dos sentidos. Por un lado, el estudio experimental se diseñó sobre cera dental y no sobre piel humana donde los resultados no serán tan predecibles debido a sus propiedades particulares. Por otro lado, la técnica desarrollada en este trabajo tan sólo puede ser aplicada cuando se producen identaciones ya que aunque son las que tienen más significancia forense a su vez son menos frecuentes debido a que el análisis forense de la mordedura no suele realizarse tan rápido.

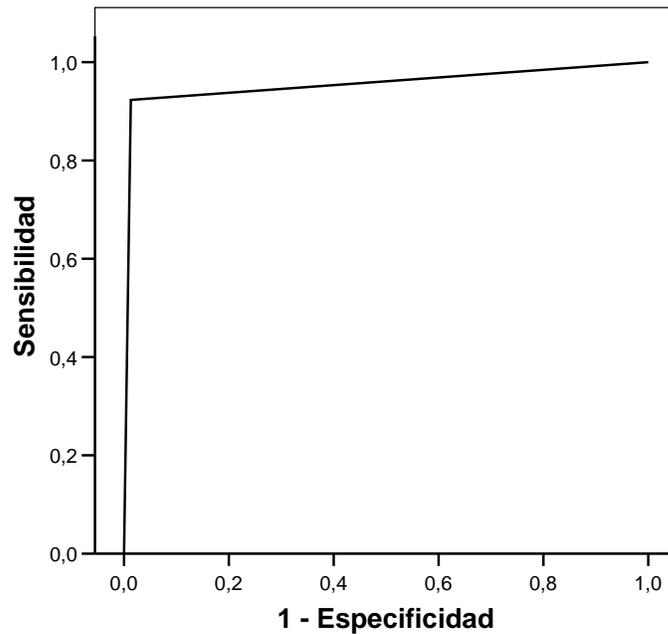


Figura 31. Representación gráfica de la curva ROC del observador experto utilizando DentalPrint© para comparar las huellas de las impresiones de las mordeduras con las huellas obtenidas de los modelos dentales. Las categorías diagnósticas utilizadas fueron “mordedor” o “no mordedor” (decisión 2).

Los valores aislados de la sensibilidad y la especificidad para cada punto de corte en el caso de la toma de decisión 1 se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de la sensibilidad y la especificidad para cada punto de corte específico obtenidos en el examinador experto usando el software DentalPrint© al comparar las impresiones de las mordeduras con los modelos dentales.

Puntos de corte*	Sensibilidad	Especificidad
0 – 1,2,3	92.3	93.6
0,1 – 2,3	92.3	98.7
0,1,2 – 3	88.5	98.7

* 0=no mordedor; 1=probable mordedor; 2= posible mordedor; 3=mordedor

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de corte. Atendiendo a los datos obtenidos se ha observado que los valores de sensibilidad para todos los puntos de corte son altos, lo que se traduce en que el método empleado detecta con mucha precisión la dentición que provocó la mordedura. Los mejores resultados se encontraron para los puntos de corte que discriminan entre “no mordedor” y el resto de las conclusiones posibles y entre “no mordedor”, “posible mordedor” y el resto de las conclusiones con una sensibilidad del 92.3%. Asimismo, el valor obtenido para la sensibilidad en la “decisión simple” fue del 92.3% lo cual valida al modelo dicotómico como un método de screening. Los valores de especificidad han alcanzado el 98,7% en la mayoría de los puntos de corte tanto para la decisión 1 como para la “decisión simple”. Tan sólo en el punto de corte que discrimina entre “no mordedor” y el resto de las conclusiones posibles, la especificidad adquiere el valor de 93,6%. Esta alta especificidad nos permite descartar con gran seguridad todas aquellas denticiones que no provocaron la mordedura y por tanto reducir al máximo las probabilidades de inculpar a una persona inocente.

Con respecto a los valores obtenidos con la “decisión simple”, nos gustaría señalar que Pretty y Sweet (2001) obtuvieron resultados similares cuando aplicaron un modelo de decisiones dicotómicas comparando transparencias de mordeduras en 2D con fotografías de mordeduras simuladas sobre piel de cerdo (23). Los 10 diplomados de la ABFO obtuvieron un AUC de 0.805 cuando se aplicaban cinco decisiones diagnósticas (“certeza médica razonable”, “probable”, “posible”, “exclusión” o “no concluyente”) y un AUC de 0.832 cuando forzaron las decisiones a “mordedor” y “no mordedor”.

Un nivel similar de precisión (AUC = 0.86) fue obtenido cuando 32 diplomados de la ABFO compararon cuatro casos de mordeduras con siete sospechosos potenciales usando transparencias en 2D (Arheart y Pretty, 2001); en tres casos reales se presentaron mordeduras sobre la piel de la víctima que había sido previamente investigada y litigada. Utilizaron siete conclusiones posibles (“certeza médica razonable”, “probable”, “posible”, “improbable”, “incompatible”, “no concluyente” o “no diagnóstico”). A pesar de las diferencias en el substrato y los diferentes niveles de conclusión diagnóstica se obtuvieron

valores muy similares en cuanto a la precisión del estudio realizado por los diplomados de la ABFO empleando la misma técnica de análisis.

La ventaja del modelo de decisión dicotómica se basa en la simplicidad de su terminología (por ej. falso positivo y verdadero negativo) que es fácilmente entendible por todas las partes (por ej. jueces, jurados, abogados y otros dentistas forenses) y, por tanto, ayuda a la toma de decisiones. Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la eficacia de la técnica no se ve reducida cuando el experto debe decidir entre mordedor y no mordedor.

Los resultados obtenidos se compararon con el método 3D que compara la fotografía de la lesión por mordedura con la huella dental del modelo dental generada con el programa DentalPrint©. Un segundo observador dentista experto en mordeduras realizó también 104 comparaciones de los mismos casos pero comparando las transparencias de las huellas dentales de los modelos con las fotografías de las mordeduras. Una vez más se utilizó el sistema de puntuación de la ABFO. En este caso el área bajo la curva ROC obtenida para el experto fue de 0,764 con un error estándar de 0,057 y un IC de 0,652 a 0,876 al 95% (Figura 32). Los resultados obtenidos pueden considerarse como de “utilidad para determinados propósitos” según la clasificación de Swets (1988) y nos permiten concluir que el análisis de las huellas por mordeduras con el programa DentalPrint© y su comparación con las fotografías de la lesión es un método de utilidad para la práctica forense. Estos resultados pueden considerarse ligeramente superiores a los publicados en otros trabajos que utilizan la metodología de comparación con transparencias de huellas dentales generadas en Adobe® Photoshop® a partir de modelos escaneados en dos dimensiones. Sin embargo, los mejores resultados los hemos encontrado cuando se compara las imágenes en tres dimensiones de las impresiones de las mordeduras, en vez de las fotografías, con los modelos dentales de los sospechosos.

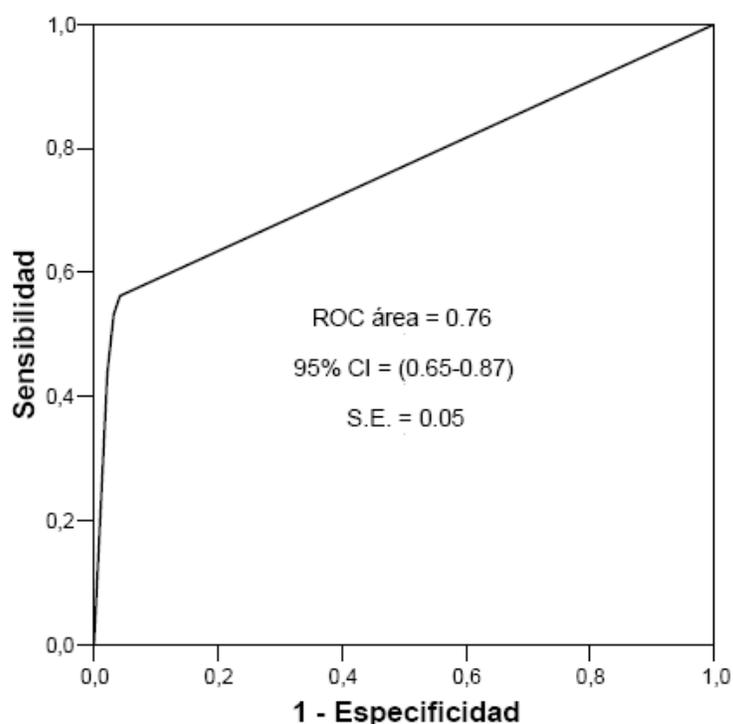


Figura 32. Representación gráfica de la curva ROC del observador experto utilizando DentalPrint© y comparándolo con la fotografía de la lesión.

Los valores aislados de la sensibilidad y la especificidad para cada punto de corte por el examinador experto usando el programa DentalPrint© se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de la sensibilidad y la especificidad para cada punto de corte específico obtenidos en el examinador experto usando el software DentalPrint© al comparar las fotografías de las mordeduras con los modelos dentales.

Puntos de corte*	Sensibilidad (%)	IC [^]		Especificidad (%)	IC [^]	
		Sensibilidad Inf (%)	Sensibilidad Sup (%)		Especificidad Inf (%)	Especificidad Sup (%)
0-1,2,3	56,3	38,5	72,2	95,8	90,2	98,6
0,10 2,3	53,1	34,7	70,5	96,9	91,7	99,9
0, 1, 2-3	43,8	27,8	61,5	61,5	93,2	99,6

*0= no mordedor; 1= probable mordedor; 2= posible mordedor; 3= mordedor

[^]IC = Intervalo de confianza al 95%

Según los datos recogidos por el segundo examinador experto, usando el software DentalPrint© al comparar las fotografías de las mordeduras con los modelos dentales, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de corte. En general, los valores de la sensibilidad para todos los puntos de corte son bajos, lo que nos indicaría que habría que considerarlo con mucha cautela como un test de cribado (screening). Los mejores resultados se encontraron para el punto de corte que discrimina entre “no mordedor” y el resto de las conclusiones posibles, con una sensibilidad del 56,3% y un intervalo de confianza al 95% de 38,5 a 72,2. Sin embargo, las pruebas periciales forenses deben minimizar los falsos positivos a toda costa, para no culpar a una persona inocente. Por tanto, el principal interés de un test forense, debería ser la identificación correcta de la dentición que no hizo la mordedura (verdaderos negativos). En este trabajo, precisamente, se obtuvieron valores muy altos de especificidad, el mejor resultado fue para el punto de corte que discrimina entre “mordedor” frente al resto de posibilidades (“no mordedor”, “probable” y “posible”) con un valor de la especificidad de un 97,9% y un intervalo de confianza al 95% de 93,2% a 99,6%. Por tanto, tenemos que tener en cuenta estas cuestiones a la hora de elaborar nuestro informe pericial cuando se emplea la fotografía de la mordedura como elemento de comparación en lugar de las imágenes en 3D de las impresiones de la lesión.

Podemos concluir, por tanto, que el método DentalPrint© que emplea las impresiones de las mordeduras en 3D para compararlas con las huellas generadas a partir de los modelos también escaneados en 3D es un método fiable y de alta precisión para la práctica forense. Tal y como hemos expuesto en este capítulo, este método obtiene los mejores resultados de sensibilidad, especificidad y de área bajo la curva ROC. Estos resultados nos vienen a confirmar cómo al comparar imágenes en tres dimensiones tanto de la mordedura como del modelo dental se aumenta la precisión, de esta manera evitamos la pérdida de información que supone el empleo de las imágenes en dos dimensiones (fotografías de las mordeduras). Por tanto, sería necesaria en la práctica forense, la toma de impresiones de todas aquellas mordeduras que presenten indentaciones.

3. Método de comparación cuantitativo de las imágenes obtenidas de los modelos dentales y de las impresiones de las mordeduras.

Aunque algunos expertos consideran que el análisis de mordedura no tiene bases cuantitativas (Pretty y Sweet, 2001), se han realizado varios intentos para cuantificar el proceso comparativo (Blackwell, 2007; Naru, 1998; Kittleson, 2002) y facilitar la valoración del impacto de la evidencia de las mordeduras por parte de jueces y jurados.

La cuantificación efectiva en el proceso comparativo y la supresión del elemento subjetivo han sido uno de nuestros objetivos en este trabajo de investigación. Para tal fin, se han utilizado técnicas de morfometría que han permitido el cálculo de cinco variables, tanto en los modelos dentales como en las impresiones por mordeduras. Las variables cuantificadas fueron las angulaciones de los cuatro incisivos y la distancia intercanina. El procedimiento de medición ha sido explicado con detalle en el apartado de Material y Métodos de esta memoria de investigación.

En la Tabla 6 se recoge los resultados de las mediciones de los ángulos y distancias para cada modelo e impresión de la mordedura analizada. A partir de las mediciones, se realizaron un total de 169 comparaciones para cada variable. Los resultados medios porcentuales de discrepancia para cada variable se presentan en la misma tabla.

Tabla 6. Datos descriptivos de las mediciones morfométricas de los 13 sujetos^a según arcada.

Sujeto No	Mordeduras					Modelos				
	Ángulo 11/31	Ángulo 12/32	Ángulo 21/41	Ángulo 22/42	Distancia Intercan.	Ángulo 11/31	Ángulo 12/32	Ángulo 21/41	Ángulo 22/42	Distancia Intercan.
Maxilar										
1	78.23	58.01	103.1	318.89	38.52	79.47	57.27	281.52	313.66	37.39
2	95.45	54.32	275.75	294.78	31.6	96.71	53.45	273.45	293.45	37.39
3	69.32	64.74	292.28	315.6	34.05	65.33	67.13	292	306.42	33.59
4	79.18	73.58	272.29	sin huella	39.35	79	63.43	275.5	307.44	38.97
5	87.41	37.85	276.54	272	37.97	86.28	29.91	270.43	266.2	38.36
6	72.94	35.33	251.27	308.11	34.9	76.63	35.87	260.05	304.1	35.06
7	46.66	33.13	325.75	sin huella	26.3	46.31	sin huella	326.06	sin huella	26.41
8	72.37	38.4	311.12	323.62	29.29	75.88	39.04	309.26	322.57	29.04
9	83.11	43.32	265.05	306.41	36.53	79.4	40.55	266.64	308.99	37.65
10	99.93	56.06	277.97	293.45	31.44	75.35	48.95	266.59	298.1	34.11
11	73.34	51.44	277.66	322.6	29.88	74.54	50.45	276.08	319.19	30.26
12	91.97	53.93	267.53	283.75	35.84	90.82	53.32	266.33	285.45	36.08
13	65.12	31.07	sin huella	322.2	30.81	64.31	34.63	sin huella	323.99	30.86
Media	78.08	48.55	266.36	305.58	33.58	76.16	47.83	280.33	304.13	33.76
De ^b	14.14	13.13	55.25	17.45	4.02	12.65	11.85	19.62	16.6	3.96
Mandíbula										
1	98.23	109.7	282.13	253.33	27.02	98.35	103.4	282.13	256.25	27.51
2	84.61	108.6	261	267.3	30.91	90.06	112.45	276.45	284.72	24
3	100.6	124.36	254.41	237.35	26.52	98.35	123.48	255.28	231.83	26.5
4	86.5	118.06	234.81	233.33	28.83	84.25	119.75	273.84	237.25	28.7
5	94.88	117.2	254.38	206.01	29.85	83.1	109.39	258.87	241.04	23.56
6	119.24	139.72	258.22	222.72	25.84	120.18	136.94	259.69	222.62	26.54
7	sin huella	93.17	sin huella	272.62	22.9	91.8	sin huella	256.66	275.93	23.29
8	119.5	119.5	299.1	217.7	26.01	107.54	sin huella	289.08	290.14	20.13
9	105.49	114.64	283.59	246.95	29.43	98.79	110.41	279.18	247.8	29.1
10	78.14	118.56	262.37	sin huella	26.49	76.7	115.38	264.95	244.44	26.43
11	sin huella	114.27	283.83	233.69	23.51	sin huella	113.58	291.25	237.08	23
12	100.08	97.05	257.56	265.8	30.33	101.95	94.64	263.66	272.26	30.66
13	100.78	sin huella	278.33	267.2	24.25	100.85	sin huella	276.65	262.25	24.39
Media	98.92	114.57	267.48	243.67	27.07	95.99	113.94	271.36	254.12	25.68
De ^b	13.01	12.11	17.89	22	2.63	11.78	11.43	12.3	21.37	2.94

a: 7 mujeres y 6 hombres, con edades entre 6 y 70 años (media±de= 31.1±21.7).

b: de es desviación estándar.

A partir de estos resultados, se calculó la discrepancia porcentual en los matching entre las mordeduras y los modelos para cada medida y según las arcadas analizadas. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Discrepancia (porcentual)^a en los matching^b entre mordeduras y modelos según arcada.

Medición	Matching positivos		Matching negativos		Discriminación			
	n ^b	Discrep.% media±de ^c	n ^b	Discrep.% media±de	Área curva ROC	Punto Youden ^d	Sensib.	Espec.
Maxilar								
Ángulo 11	13	4.8±8.6	156	25.1±24.2	0.88	≤ 6.10	92.3	82.1
Ángulo 12	12	7.4±8.1	144	39.4±30.4	0.88	≤16	91.7	70.8
Ángulo 21	12	15.6±49.6	132	21.9±46.2	0.81	≤1.20	66.7	88.6
Ángulo 22	11	1.2±0.8	121	6.8±5.2	0.87	≤3.00	100	76
Dist. Interca	13	1.8±2.2	156	15.8±11.5	0.94	≤3.10	92.3	87.8
Mandíbula								
Ángulo 31	11	4.4±4.7	121	16.5±12.8	0.82	≤6.80	81.8	72.7
Ángulo 32	10	3.1±2.2	110	12.7±10.3	0.83	≤3.80	80	80.9
Ángulo 41	12	3.1±4.6	144	6.9±5.1	0.76	≤3.50	83.3	66.7
Ángulo 42	12	5.8±9.8	144	11.5±8.3	0.78	≤2.40	75	89.6
Dist. Interca	13	7.4±11.9	156	14.3±10.9	0.75	≤2.70	76.9	86.5

a: Se calcula como $[(x1-x2)/x2] \times 100$, siendo x1 la medición mayor de la pareja mordedura-modelo, y x2 la menor.

b: Dado que hay 13 pacientes, el número máximo de combinaciones es 169 (13x13), siendo 13 los matching positivos y 153 los negativos. Cuando las "n" son menores se debe a los casos "sin huella".

c: de es desviación estándar.

d: Punto de corte de discrepancia porcentual que maximiza la suma de sensibilidad y especificidad.

A partir de las mediciones obtenidas se realizó un estudio estadístico univariable para analizar de forma independiente los parámetros obtenidos para cada una de las variables. Al igual que cuando se realizó el análisis cualitativo, en este caso se empleo el análisis de las curvas ROC para establecer la validez del método estadístico. Los valores obtenidos para las curvas ROC superaban en su mayoría el valor de 0.80 para la gran mayoría de las variables, siendo un poco más altos en el caso de la dentición superior, y por tanto se establece como un método "de utilidad para determinados propósitos" según la clasificación de Sweet (1988). El resultado era aún mejor cuando se analizaba la distancia intercanina (DIC) de la arcada superior ya que su valor para la curva ROC fue de 0.94 y por tanto se considera un método de "alta precisión" (Sweet, 1988). Asimismo los valores para

la sensibilidad y especificidad para la DIC fueron de 92.3 y 87.8 respectivamente. Otro de los resultados más relevantes fue el valor de especificidad obtenido para cada variable, el cual superaba en la mayoría de los casos el 80%. Según este resultado podemos discernir con relativa seguridad la dentición que no provocó la mordedura. Tan sólo un estudio que emplea tecnología 3D ha intentado realizar la comparación cuantitativa de denticiones humanas con mordeduras simuladas (Blackwell, 2007), obteniendo valores para la sensibilidad y especificidad de sólo un 78% y 85% respectivamente, evidenciando la necesidad de mayores investigaciones al respecto.

En este trabajo de investigación se han analizado las variables de forma independiente, habiéndose obtenido unos resultados muy prometedores por lo que se requieren más estudios al respecto para analizar más de una variable de forma conjunta. Por tanto, nuestro siguiente propósito sería realizar un estudio estadístico multivariable empleando un modelo de regresión lineal para optimizar el análisis cuantitativo aplicado al estudio de las lesiones por mordeduras y poder establecer así un método preciso para determinar la identidad del agresor.

Se requieren más investigaciones para establecer bases más sólidas (cuantitativas o cualitativas) para la toma de decisiones. En todos los casos el experto debe explicar a las cortes la tecnología y las huellas de las mordeduras empleadas, el nivel de entrenamiento del experto, la subjetividad de las evaluaciones y el análisis estadístico desarrollado, incluyendo las tasas de error.

V. CONCLUSIONES

Primera: Se ha diseñado y desarrollado una nueva metodología con la aplicación del programa informático DentalPrint© para la elaboración de huellas de mordida a partir de las impresiones de las lesiones de mordeduras. Esta metodología es de aplicación en los casos prácticos forenses en los que se hayan producido identaciones y sea factible la toma de impresiones de la lesión.

Segunda: Tras las pruebas pertinentes, el material de elección para la toma de impresiones sobre la lesión de la mordedura fue Futar D Fast®, una silicona de mordida de la marca Kettenbach®, por presentar una calidad de detalle adecuada, fácil manejo y poderse recortar con una fresa una vez fraguada sin provocar deformación alguna.

Tercera: Cuando se emplea el programa DentalPrint© para la generación de las huellas dentales a partir de las impresiones de la lesión se obtienen valores del área bajo la curva ROC de 0.953, por lo que se considera un método de análisis de huellas por mordedura humana con fines forenses “de alta precisión”.

Cuarta: La aplicación del programa DentalPrint© para la elaboración de una huella de mordida a partir de la impresión de la lesión mejora los métodos convencionales en los que se emplea la fotografía modificada con Adobe® Photoshop®, porque evita la distorsión fotográfica y por tratarse de un procedimiento completamente automatizado en el que no interviene la subjetividad del operador.

Quinta: Se ha analizado la validez metodológica de una toma de decisión diagnóstica dicotómica en el proceso de comparación, obteniéndose un área bajo la curva ROC de 0.955 siendo los resultados de precisión del método similares e incluso superiores a las decisiones multirresposta propuestas por la ABFO.

Sexta: Se ha desarrollado un estudio cuantitativo de morfometría para las imágenes tridimensionales de los modelos dentales y las impresiones de las lesiones por mordeduras. Se analizaron un total de cinco variables: cuatro referentes a las angulaciones de los incisivos y la distancia intercanina.

Séptima: En el estudio cuantitativo se obtuvieron valores del área bajo la curva ROC para las angulaciones de los incisivos en torno a 0.80, pudiéndose considerarse, por tanto, como un método estadístico “de validez para determinados propósitos”. Sin embargo, cuando fue cuantificada la distancia intercanina en el maxilar superior, el área bajo la curva ROC obtenida alcanzó el valor de 0.94, estableciéndose por tanto como un método “de alta precisión” diagnóstica.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- American Board of Forensic Odontology, Inc. Guidelines for bite mark analysis. J Amer Dent Assoc 1986; 112: 383-6.
- ABFO bite mark methodology guidelines. In: Bowers CM, Bell GL, editors. Manual of forensic odontology. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology, 1995; 334-7.
- Adams BJ. Establishing personal identification based on specific patterns of missing, filled, and unrestored teeth. J Forensic Sci 2003a; 48: 487-96.
- Adams BJ. The diversity of adult dental patterns in the United States and the implications for personal identification. J Forensic Sci 2003b; 48: 497-503.
- Allan JC. Learning about statistics. Johannesburg: MacMillan South Africa; 1982.
- 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.
- Arheart KL, Pretty IA. Results of the 4th ABFO Bitemark Workshop--1999. Forensic Sci Int. 2001; 124(2-3):104-11.
- Atkinson SA. A qualitative and quantitative survey of forensic odontologists in England and Wales, 1994. Med Sci Law 1998; 38: 34-41.
- Avon SL. Forensic odontology: the roles and responsibilities of the dentist. J Can Dent Assoc 2004; 70: 453-8.
- Bernitz H, van Niekerk PJ. Bungled bite mark evidence collection: a proposed protocol for the prevention thereof. SADJ 2003; 58: 16-9.
- Bernitz H, van Heerden WFP, 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?
- Blacwell SA *et al.* 3-D imaging and quantitative comparison of human dentitions and simulated bite marks. Int J Legal Med 2007; 121: 9-17.
- Bowers CM, Johansen RJ. Digital analysis of bite marks and human identification. Dent Clin North Am 2001; 45: 327-42.
- 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: 178-85.

- Bravo M. Age-Period-Cohort analysis of dentist use in Spain from 1987 to 1997. An analysis from the Spanish National Health Surveys. *Eur J Oral Sci* 2001; 109:149-154.
- Bundy v.State, 445 So.2d 330 (Fla.1984), cert.denied 476 U.S. 1109 (1986). Citado por Stimson PG, Mertz CA. Bite mark techniques and terminology. En: Cameron J, Sims BG, eds. *Forensic Dentistry*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1974; 129-45 y Berbell C. *CSI. Casos reales españoles*. 5ª ed. Madrid: La esfera de los libros s.l., 2003: 274-89.
- Butcher SJ, Pugh PD. A study of marks made by bolt cutters. *J Forensic Sci Soc* 1975; 15: 115-26.
- Cameron J, Sims BG. Bite marks. En: Cameron J, Sims BG, eds. *Forensic Dentistry*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1974; 129-45.
- 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.
- Ciesco JN, Malone WRP, Sandrik JL, Mazur B. Comparison of Elastomeric Impression Materials. II. Polyether, Poysulfides, and Polyvinylsiloxane. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 88-94.
- Clift A, Lamont CM. Saliva in forensic odontology. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 241-5.
- Cottone JA, Standish SM. *Outline of forensic dentistry*. Yearbook Medical Publishers, Chicago, 1982; 125.
- Dailey JC. A practical technique for the fabrication of transparent bite mark overlays. *J Forensic Sci* 1991; 36: 565-70.
- Dailey JC, Shernoff AF, Gelles JH. An improved Technique for Bite mark impressions. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 153-5.
- David TJ. Adjunctive use of scanning electron microscopy in bite mark analysis: a three-dimensional study. *J Forensic Sci* 1986; 31: 1126-34.
- David TJ, Sobel MN. Recapturing a five-month-old bite mark by means of reflective ultraviolet photography. *J Forensic Sci* 1994; 39: 1560-7.

- DeForest PR, Gaensslen, RE, Lee, HC. Forensic science-an introduction to criminalistics, McGraw-Hill, Nueva York, 1983.
- DeVore DT. Bite marks for identification? A preliminary report. Med Sci Law 1971; 11: 144-5.
- Dorion RBJ. Bite mark evidence. J Can Dent Assoc 1982; 48: 795-8.
- Dorion RBJ. Preservation and fixation of skin for ulterior scientific evaluation and courtroom presentation. J Can Dent Assoc 1984; 50: 129-30.
- Dorion RBJ. Transillumination in bite mark evidence. J Forensic Sci 1987; 32: 690-7.
- Earley MJ, Bardsley AF. Human bites: a review. Br J Plast Surg 1984; 37: 458- 62.
- Epstein JB, Scully C. Mammalian bites: risk and management. Am J Dent 1992; 5: 167-71.
- 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: 1436-43.
- Furness J. A new method for the identification of teeth marks in cases of assault and homicide. Br Dent J 1968; 124: 261-7.
- Furness J. A general review of bite-mark evidence. Am J Forensic Med Pathol 1981; 2: 49-52.
- Gaensslen RE. Sourcebook in forensic serology, immunology and biochemistry. Washington, DC: National Institute of Justice, 1983.
- Gill P, Jeffreys AJ, Werrett DJ. Forensic application of DNA 'fingerprints'. Nature 1985; 318: 577-9.
- Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Evaluation and treatment of patients with human bite marks. Am J Forensic Med Pathol 1989a; 10: 140-3.
- Gold MH, Roenigk HH, Smith ES, Pierce LJ. Human bite marks. Differential diagnosis. Clin Pediatr 1989b; 28: 329-31.
- Golden GS. Forensic photography: an expanding technology. J Calif Dent Assoc 1996; 24: 50-6.
- Goldstein EJ, Richwald GA. Human and animal bite wounds. J Pract Nurs 1987; 37: 16-9.

- Grey TC. Defibrillator lesión suggesting bite mark. *Am J Forensic Med Pathol* 1989; 10: 144-5.
- Harvey W. *Dental identification and forensic odontology*. London, Henry Kimpton, 1976a; 91-2.
- Harvey W. Bites and bite marks. En: Harvey W, eds. *Dental Identification and Forensic Odontology*. London: Kimpton, 1976b; 108.
- Hendriks FM. Mechanical behaviour of human skin in vivo: a literature review. Koninklijke Philips Electronics N.V., Nat. Lab. Unclassified Report 2001, 1–46.
- 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: 1649-61.
- 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: 526-31.
- Hugoson A, Koch G, Slotte C, Bergendal T, Thorstensson B, Thorstensson H. Caries prevalence and distribution in 20-80-year-olds in Jönköping, Sweden, in 1973, 1983, and 1993. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2000; 28:90-96.
- Irons F, Steuterman MC, Brinkhous W. Two bite marks on assailant. Primary link to homicide conviction. *Am J Forensic Med Pathol* 1983; 4: 177-80.
- Jaffe AC. Animal bites. *Pediatric Clin North Am* 1983; 30: 405-13.
- Jakobsen JR, Keiser-Nielsen S. Bite mark lesions in human skin. *Forensic Sci Int* 1981; 18: 41-55.
- James H, Cirillo GN. Bite mark or bottle top?. *J Forensic Sci* 2004; 49: 119-21.
- Johansen RJ, Bowers CM. *Digital analysis of bite mark evidence*. 1^a ed. Santa Barbara, California: Forensic Imaging Services, 2000.
- Johnson LT, Cadle D. Bite mark evidence. Recognition, preservation, analysis and courtroom presentation. *N Y State Dent J* 1989; 55: 38-41.
- 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: 403-8.

- 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: 355-8.
- Keiser-Nielsen S. Person identification by means of the teeth. John Wright & Sons. Bristol: England, 1980; 59-72.
- Kipps AE, Quarmby VE, Whitehead PH. The detection of mixtures of blood and other body secretions in stains. *J Forensic Sci Soc* 1978; 18: 189-91.
- Kizer KW. Epidemiologic and clinical aspects of animal bite injuries. *JACEP* 1979; 8: 134-41.
- 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: 329-33.
- Lasser AJ, Warnick AJ, Berman GM. Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks. *J Forensic Sci* 2009; 54: 3
- LeRoy H, Sweet DJ. Human Bite Marks. Victim Evidence Recognition and Recovery. *RCMP Gazette* 1993; 55: 4-7.
- Lightelm AJ, Coetzee WJ, van Niekerk PJ. The identification of bite marks using the reflex microscope. *J Forensic Odontostomatol* 1987; 5: 1-8.
- Lowry TMcG. The surgical treatment of human bites. *Ann Surg* 1936; 104: 1103- 6. Citado por 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: 1436-43.
- Luntz LL, Luntz P. A case in forensic odontology: a bite-mark in a multiple homicide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36: 72-8.
- MacDonald DG. Bite mark recognition and interpretation. *J Forensic Sci Soc* 1974;14: 229-33.
- MacFarlane TW, MacDonald DG, Sutherland DA. Statistical problems in dental identification. *J Forensic Sci Soc* 1974; 14: 247-52.
- 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: 127-33.

- 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: 151-156.
- Martin-de-las-Heras S, Valenzuela A, Luna J de D, Bravo M. The utility of dental patterns in forensic dentistry. *Forensic Sci Int* 2010; 25: 195(1-3): 166.e1-5. Epub 2009.
- McNamee AH, Sweet DJ. Adherence of forensic odontologists to the ABFO guidelines for victim evidence collection. *J Forensic Sci* 2003; 48: 382-5.
- Metcalf RD. Yet another method for marking incisal edges of teeth for bitemark analysis. *J Forensic Sci* 2008; 53(2):426-9.
- Patel F. Artefact in forensic medicine: postmortem rodent activity. *J Forensic Sci* 1994; 39: 257-60.
- Pierce LJ, Strickland DJ, Smith ES. The case of Ohio v. Robinson. An 1870 bite mark case. *Am J Forensic Med Pathol* 1990; 11: 171-7.
- Pretty IA. A web-based survey of odontologist's opinions concerning bitemark analyses. *J Forensic Sci* 2003; 48: 1117-20.
- Pretty IA, Hall RC. Forensic dentistry and human bite marks: issues for doctors. *Hosp Med* 2002; 63: 476-82.
- Pretty IA, Sweet DJ. Anatomical location of bitemarks and associated findings in 101 cases from the United States. *J Forensic Sci* 2000; 45: 812-4.
- Pretty IA, Sweet DJ. Digital bite mark overlays-an analysis of effectiveness. *J Forensic Sci* 2001; 46: 1385-91.
- Pretty IA, Turnbull MD. Lack of dental uniqueness between two bite mark suspects. *J Forensic Sci* 2001; 46: 1487-91.
- Rao VJ, Souviron RR. Dusting and lifting the bite print: a new technique. *J Forensic Sci* 1984; 29: 326-30.
- Rawson RD, Bell A, Kinard BS, Kinard JG. Radiographic interpretation of contrast-media-enhanced bite marks. *J Forensic Sci* 1979; 24: 898-901.
- Rawson RD, Koot A, Martin C, Jackson J, Novosel S, Richardson A, Bender T. Incidence of bite marks in a selected juvenile population: a preliminary report. *J Forensic Sci* 1984a; 29: 254-9.

- Rawson RD, Ommen RK, Kinard G, Johnson J, Yfantis A. Statistical evidence for the individuality of the human dentition. *J Forensic Sci* 1984b; 29: 245-53.
- 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* 1986a; 31: 1261-8.
- Robinson E, Wentzel J. Toneline bite mark photography. *J Forensic Sci* 1992; 37: 195-207.
- Rothwell BR, Thien AV. Analysis of distortion in preserved bite mark skin. *J Forensic Sci* 2001; 46: 573-6.
- Rushton C, Kipps A, Quarmby V, Whitehead PH. The distribution and significance of amylase-containing stains on clothing. *J Forensic Sci Soc* 1979; 19: 53-8.
- Rutter EA y Whitehead PH. The fractionation of ABH blood group substances in saliva. *Journal of the forensic science society* 1977; 16: 241-46.
- Sakoda S, Fujita MQ, Zhu BL, Oritani S, Ishida K, Taniguchi M, Maeda H. Wounding dynamics in distorted bitemarks: two case reports. *J Forensic Odontostomatol* 2000; 18: 46-51.
- Schweich P, Fleisher G. Human bites in children. *Pediatr Emerg Care* 1985; 1: 51-3.
- Sheasby DR, MacDonald DG. A forensic classification of distortion in human bite marks. *Forensic Sci Int* 2001; 122: 75-8.
- Sognaes RF, Rawson RD, Gratt BM, Nauyen NB. Computer comparison of bitemark patterns in identical twins. *J Am Dent Assoc* 1982; 105: 449-51.
- Solheim T, Leidal TI. Scanning electron microscopy in the investigation of bite marks in foodstuffs. *Forensic Sci* 1975; 6: 205-15.
- Sperber N. Identification of children and adults a through de federal and state dental identification systems: recognition of human bite marks. *Forensic Sci Int* 1986; 30: 187-93.
- Sperber ND. Chewing gum-an unusual clue in a recent homicide investigation. *Int J Orthod* 1981; 19: 7-8.
- Sperber ND. Bite marks, oral and facial injuries—harbingers of severe child abuse? *Pediatrician* 1989; 16: 207-11.

- Spiers RF. Prevention of human bite infections. *Surg Gynecol Obstet* 1941; 72: 619-21. Citado por Pretty IA, Sweet DJ. Anatomical location of bitemarks and associated findings in 101 cases from the United States. *J Forensic Sci* 2000; 45: 812-4.
- Ström F. Investigation of bite marks. *J Dental Res.(supplement)* 1963; 42: 312- 16.
- Sweet DJ. Human bite marks-examination, recovery and analysis. En: Bowers CM, Bell GL, eds. *Manual of forensic odontology*. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology, 1995.
- 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: 1565-71.
- 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: 362-7.
- Sweet DJ, Hildebrand D. Saliva from cheese bite yields DNA profile of burglar: a case report. *Int J Legal Med* 1999; 112: 201-3.
- Sweet DJ, LeRoy H.A. Human bitemarks victim evidence recognition and recovery, royal canadian mounted police gazette 1993; 55: 9-12.
- 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.
- Sweet DJ, Pretty IA. A look at forensic dentistry--Part 2: Teeth as weapons of violence--identification of bitemark perpetrators. *Br Dent J* 2001; 190: 415-8.
- Thali MJ *et al.* Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach, *Forensic Sci Int.* 135 (2003) 115-121.
- Vale GL. Dentistry, bite marks and the investigation of crime. *J Calif Dent Assoc* 1996; 24: 29-34.
- Vale GL, Noguchi TT. Anatomical distribution of human bite marks in a series of 67 cases. *J Forensic Sci* 1983; 28: 61-9.
- Vale GL, Sognaes RF, Felando GN, Noguchi TT. Unusual three-dimensional bite mark evidence in a homicide case. *J Forensic Sci* 1976; 21: 642-52.
- Walsh PS, Varlaro J, y Reynolds R. A rapid chemiluminescent method for quantitation of human DNA. *Nucleic Acids Res* 1992; 20: 5061-65.

- Walter RA. An examination of the psychological aspects of bite marks. *Am J Forensic Med Pathol* 1984; 5: 25-9.
- Walter RD. Anger biting. The hidden impulse. *Am J Forensic Med Pathol* 1985; 6: 219-21.
- Webb DA, Pretty IA, Sweet DJ. Bitemarks: a psychological approach. *Proceedings of the American Academy of Forensic Sciences Reno, NV, February 2000*; 6: 147.
- West MH, Frair J. The use of videotape to demonstrate the dynamics of bite marks. *J Forensic Sci* 1989; 34: 88-95.
- West MH, Hayne S, Barsley RE. Uniqueness of wound patterns, *American Society of Forensic Odontology newsletter* 1992; 4: 6-7.
- Whitehead PH, Kipps AE. The significance of amylase in forensic investigations of body fluids. *Forensic Sci* 1975; 6: 137-44.
- Whittaker DK. Bite marks—the criminal’s calling cards. *Br Dent J* 2004; 196:237.
- 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: 11-20.
- Wood RE, Miller PA, Blenkinsop BR. Image editing and computer assisted bitemark analysis: a case report. *J Forensic Odontostomatol* 1994; 12: 30-6.