

Comportamiento *in vitro* de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses*

SANDRA MORENO, OD¹, MIGUEL LEÓN, OD², LILIANA MARÍN, OD³, FREDDY MORENO, OD⁴

RESUMEN

Objetivo: Describir el comportamiento de los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento) y de cuatro materiales de uso odontológico (amalgama de plata, resina compuesta, ionómero de vidrio y cemento de óxido de zinc modificado) al ser sometidos a la acción de altas temperaturas, con el fin de establecer parámetros que se puedan aplicar a los métodos de identificación odontológica forense para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio experimental *in vitro* para observar los cambios físicos macroscópicos y microscópicos de los tejidos dentales y cuatro materiales de uso odontológico en 199 dientes humanos, sometidos a altas temperaturas (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C).

Resultados: Los tejidos dentales y los cuatro materiales estudiados presentan gran resistencia a las altas temperaturas sin variar considerablemente su estructura, de tal manera que pueden llegar identificarse, pues en cada rango de temperatura se presentaron cambios físicos característicos y repetitivos como estabilidad dimensional, fisuras, grietas, fracturas, textura, color, carbonización e incineración.

Conclusiones: Dada la naturaleza de este estudio, la descripción del comportamiento a la acción de las altas temperaturas de los tejidos dentales y de los materiales de uso odontológico puede guiar el proceso de identificación de un individuo cuyo cuerpo haya sido sometido a la acción del fuego y que implique eliminación de las huellas digitales, alteración de tejidos blandos y ausencia de otros elementos; lo cual puede llevar a una identificación positiva o fehaciente de un ser humano.

Palabras clave: *Odontología forense; Identificación humana; Diente; Materiales dentales; Temperatura.*

In vitro behavior of the dental tissues and some dental materials subjected to high temperatures with forensic purposes

SUMMARY

Objectives: To describe how diverse dental tissues (enamel, dentin and cement) and four dental materials (amalgam, composite, glass ionomer and zinc oxide modified cement) react after high temperature exposure. Dental tissue and dental materials can be used to identify human remains.

Methods and materials: An experimental *in vitro* study was carried out to determine physical macroscopic and microscopic changes in dental tissues and four dental materials, using 199 extracted teeth after high temperature exposition. Fire exposure at diverse temperatures ranking (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C) were performed in dental materials and tissues to determine their physical stability.

Results: Dental tissues and the four dental materials evaluated had high resistance to high temperatures without apparent variation in their physical structure. These features in both dental tissues and dental materials could be useful in forensic identification. However, small changes occurred after temperaure exposure such as dimensional expansion, presence of fissures, cracks, fractures and color change on dental tissues and dental materials.

* Investigación desarrollada a través de la beca-pasantía de Jóvenes Investigadores e Innovadores de COLCIENCIAS propuesta N° P-2005-0140.

1. Odontóloga, Joven Investigadora e Innovadora, COLCIENCIAS 2005-2006. e-mail:odsandramoreno@hotmail.com

2. Director, Grupo de Investigación Cirugía Oral y Maxilofacial, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: miguellev@telesat.com.co

3. Coordinadora, Laboratorio de Identificación Especializada (LABIESCI), Cuerpo Técnico Investigativo (CTI), Fiscalía General de la Nación, Seccional Buga, Colombia. e-mail:lilimarin18@hotmail.com

4. Coordinador, Línea de Investigación en Antropología Dental y Odontología Forense del Grupo Cirugía Oral y Maxilofacial, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail:freddyng@univalle.edu.co

Recibido para publicación febrero 26, 2007 Recibido para publicación enero 18, 2007

Conclusions: This study determines that hard dental tissues and dental materials were able to resist high temperatures without high physical variants that may facilitate forensic identification of human remains after fire exposure.

Keywords: *Forensic odontology; Human identification; Teeth; Dental materials; Temperature.*

En Colombia la situación política, social y económica de los últimos 25 años desencadenó una crisis de valores que desvirtúa el derecho y respeto por la vida de los seres humanos, evidenciado en un índice promedio de más de 60 muertes violentas por 100,000 habitantes¹.

En cuanto a muertes relacionadas con quemaduras y según el último informe del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, en 2005 hubo 237 casos de muertes por explosivos y minas antipersonales², 154 quemados por fuego y 200 electrocutados³, donde la identificación se desarrolló a partir de las huellas dactilares y la carta dental, de acuerdo con la Ley 38 de enero de 1993, que unifica la dactiloscopia y adopta la carta dental como sistemas de identificación en Colombia⁴.

Históricamente, los dientes han sido los primeros elementos estudiados para establecer la identidad de las personas fallecidas, cuando quedan irreconocibles por las características de la causa de muerte y por la magnitud de la destrucción corporal. Esto es posible debido a que pese a las condiciones extremas de muerte, los dientes son las estructuras que mejor se conservan del cuerpo humano⁵⁻⁷; en efecto, el esmalte dental es el tejido más duro del organismo y se preserva en situaciones extremas de pH, salinidad, humedad, altas temperaturas⁸⁻¹⁶.

No obstante su alta resistencia, se debe tener en cuenta que los dientes, articulados funcional y fisiológicamente en los alvéolos del maxilar y la mandíbula, se encuentran protegidos por tejido óseo esponjoso y cortical, y por tejidos blandos mucosos, epiteliales y musculares, que en el caso de exposición a altas temperaturas los aíslan durante algún tiempo^{10,17}.

La identificación a través de los dientes de un individuo quemado, carbonizado o incinerado se hace al comparar los registros post-mortem con la historia clínica odontológica pre-mortem a través de información proporcionada por el sistema estomatognático^{10,18}.

Norrlander¹⁹ clasifica las quemaduras corporales en

cinco condiciones:

1. Quemaduras superficiales.
2. Áreas de la epidermis destruidas.
3. Destrucción de la epidermis y dermis y áreas de necrosis en tejidos subyacentes.
4. Destrucción total de la piel y tejidos profundos.
5. Restos cremados.

Dentro de esas categorías a los odontólogos se les llama para ayudar a identificar las víctimas quemadas en las clases tercera, cuarta y quinta, donde la destrucción de los tejidos es extensa y no es posible identificarlas por métodos convencionales como reconocimiento visual o huellas dactilares.

Así, resulta evidente que la verificación de la identidad de víctimas quemadas se dificulta según las condiciones postmortem de la evidencia y de la cantidad y calidad de la información pre-mortem, y que debido a la poca investigación científica experimental se limita el empleo de métodos eficaces que determinan positivamente las características de algún material de uso odontológico específico deformado por las altas temperaturas. Las comparaciones o cotejos más frecuentes se realizan a partir de tratamientos odontológicos como restauraciones protésicas y obturaciones, rasgos morfológicos dentales y óseos individualizantes, variaciones patológicas individuales^{11,20-22} y obtención de ADN de la pulpa en dientes que no se hayan afectado por las altas temperaturas²³⁻²⁵.

Quizás el primer proceso de identificación odontológica en un desastre producido por acción del fuego que se informa en la literatura, fue el presentado por el Dr. Oscar Amoedo en 1897^{6,26,27} ante el Congreso Médico Internacional de Moscú con el nombre «*Función de los dentistas en la identificación de las víctimas de la catástrofe del Bazar de la Caridad*», que tuvo lugar el 4 de mayo del mismo año en París. Los 30 cuerpos que resultaron quemados y que no se pudieron identificar visualmente o a través de los despojos de ropas y objetos personales lo fueron por métodos odontológicos^{6,26,27}.

Otra identificación famosa fue la de los cadáveres deformados por el fuego de Adolfo Hitler y su mujer Eva Braun Hitler. Las investigaciones de peritos rusos en los archivos del odontólogo del Führer, y las indagaciones a la auxiliar de éste y al laboratorista dental, permitieron identificar a Hitler por medio del cotejo de los registros post-mortem obtenidos en la necropsia con la historia

clínica odontológica y las radiografías dentales, pues se lograron 26 concordancias (prótesis parcial fija superior anterior, prótesis parcial fija cantilever inferior, obturaciones en oro, porcelana y amalgama, endodoncias y alteraciones periodontales en dientes inferiores anteriores). Para la identificación de la esposa se observaron una prótesis parcial fija inferior derecha en oro y porcelana y una obturación en distal del premolar superior izquierdo que iba a funcionar como apoyo de una prótesis parcial fija que nunca se realizó^{6,27}.

En Colombia, el Dr. Yesid Valdéz, pionero de la odontología forense, con los estudiantes de odontología de la Universidad Javeriana contribuyeron, primero con la identificación de los cuerpos quemados de las víctimas del holocausto del Palacio de Justicia en 1985 (exhumadas once años después por orden de la Fiscalía General de la Nación para realizar la identificación y reconstrucción facial de los restos óseos, y cotejarlos con los protocolos de necropsia, bajo la asesoría del Departamento de Antropología de la Universidad Nacional de Colombia). Otro tanto se hizo con la identificación de los cadáveres incinerados a través del examen dental de las víctimas de la explosión del avión de Avianca en 1989^{6,27,28}.

De igual forma son numerosos los casos de individuos quemados, carbonizados e incinerados que los odontólogos forenses del Cuerpo Técnico Investigativo de la Fiscalía General de la Nación y del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses resuelven en el medio colombiano, cuando hay accidentes de diversa índole (grandes desastres, accidentes automovilísticos y colisiones de aeronaves que incluyen conflagraciones), así como la situación de orden público que acontece en el país, donde la cremación pre- y post-mortem de los cadáveres, las víctimas por ataques terroristas y el empleo de artefactos explosivos, son cada vez más frecuentes¹³.

Por tal razón, la comprensión de los cambios físicos macro y microestructurales que ocurren en los tejidos dentales y en los materiales de obturación dental al ser sometidos a altas temperaturas, podrá eventualmente, apoyar la evaluación de los restos humanos quemados, carbonizados o incinerados para determinar qué tipos de tratamientos odontológicos existían en la boca y los biomateriales dentales con que se elaboraron, lo que permitirá aplicar cotejos pre- y post-mortem con la historia clínica odontológica y establecer la identifica-

ción fehaciente de un individuo o sus restos mortales. Por tanto, los resultados expuestos en esta investigación contribuyen a la generación de nuevo conocimiento en el área de la odontología forense, específicamente en el campo de la identificación odontológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este es un estudio experimental *in vitro* acerca del comportamiento a la acción de altas temperaturas de los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento) y cuatro materiales de uso odontológico: amalgama de plata y resina compuesta, ambos materiales de obturación definitiva; ionomero de vidrio, empleado como base de los materiales de obturación definitivos y protector pulpar; y cemento de óxido de zinc modificado, que se utiliza como material de obturación temporal. Para ello se recolectó una muestra escogida por conveniencia, de 200 dientes posteriores (premolares y terceros molares) recién extraídos por motivos ortodóncicos y periodontales, que no presentaran caries, restauraciones, tratamientos de endodoncia, patología pulpar y malformaciones congénitas. Finalmente la muestra quedó constituida por 199 dientes debido a la pérdida de un diente durante el proceso de aplicación de temperaturas. Las variables tenidas en cuenta en este estudio se deben a los cambios micro y macroscópicos observados en los tejidos dentales y en los materiales de uso odontológico (Cuadros 1-6). Estos cambios se agruparán para facilitar la discusión en desadaptación marginal de las obturaciones; fractura de la unión amelocementaria y separación de la corona; fisuras, grietas, aspecto cuarteado y fracturas de los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico; cambios en la textura; cambio de color y niveles de carbonización e incineración.

Recolección de la muestra. Una vez avalada la investigación por el Comité de Ética en Seres Humanos de la Universidad del Valle de acuerdo con el Artículo 11 de la Resolución N° 008430 del Ministerio de Protección Social²⁹ y los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos indicados por la Asociación Médica Mundial en la Declaración de Helsinki³⁰ y previa autorización de las directivas de la Escuela de Odontología y firma del consentimiento informado por los pacientes, se procedió a obtener la muestra a partir de los dientes extraídos en la clínica de

Cuadro 1
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 200°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Corona color pardo claro	100.0	88.9	77.8	100.0
Rebordes cuspídeos blancos	100.0	100.0	100.0	100.0
Pérdida de brillo del esmalte	100.0	88.9	100.0	100.0
Pérdida brillo del cemento	100.0	100.0	100.0	100.0
Placa bacteriana carbonizada	22.2	-	-	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	100.0	-	-
Pérdida de brillo de la amalgama	-	100.0	-	-
Formación de nódulos en la amalgama	-	100.0	-	-
Opacidad de la amalgama	-	100.0	-	-
Textura rugosa amalgama	-	100.0	-	-
Fisuras en la amalgama	-	11.1	-	-
Retracción marginal de la resina	-	-	88.9	-
Desadaptación marginal del cemento óxido de zinc	-	-	-	100.0
Grietas en la superficie del cemento óxido de zinc	-	-	-	100.0
Expansión dimensional del cemento óxido de zinc	-	-	-	100.0
Textura rugosa cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	100.0
Porosidad cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	100.0

cirugía oral de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle que cumplieran con los criterios de inclusión.

Manejo y conservación de la muestra. Inmediatamente después de ser extraídos los dientes, se procedió a lavarlos con agua no estéril para eliminar residuos de sangre y se introdujeron en un recipiente oscuro con solución fijadora cloramina T al 5% (100 g tosilcloramida sódica diluida en 2 litros de agua destilada) durante una semana. Después se colocaron los dientes en solución salina a una temperatura de 37°C con una humedad relativa de 100%, y se cambió la solución salina cada dos semanas según las normas ICONTEC 4882\2000³¹ e ISO/TS 11405/2003³², hasta iniciar los procedimientos en las muestras.

Preparación de las cavidades. Los 199 dientes que conforman la muestra se organizaron al azar en tres grupos de 50 dientes y uno de 49, de tal forma que a los del Grupo 1 no se les hizo ningún tipo de tratamiento

odontológico, los del Grupo 2 se obturaron con amalgama de plata (GS-80 SDI®) con base en ionomero de vidrio (Vitrebond® 3M-ESPE®), los del Grupo 3 se obturaron con resina compuesta (Z100® 3M-ESPE® con base en ionomero de vidrio (Vitrebond® 3M-ESPE®), y los del Grupo 4 se obturaron con cemento de óxido de zinc modificado (Coltosol® Coltene-Whaledent®).

Un solo operador puso en una base de cera cada uno de los dientes y procedió a hacerles una cavidad oclusal Tipo I sin afectar la pulpa dental con una pieza de alta velocidad marca NSK® con refrigeración constante y fresas de diamante de grano medio-fino en forma de pera (Diatech®) a una profundidad de 3 mm, diámetro mesio-distal de 3 mm y diámetro vestibulo-lingual de 2 mm de acuerdo con la Norma ICONTEC 4882/2002³¹, medidas que se estandarizaron por medio de topes de caucho para limas de endodoncia y medición constante con una sonda peridontal Hu Friedy®. Una vez hecha la

Cuadro 2
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 400°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Corona color pardo oscuro	100	100	100	100
Carbonización de la placa bacteriana	75	50	87.5	100
Estallido del esmalte cervical	75	87.5	100	87.5
Fisuras longitudinales en el esmalte	75	100	87.5	100
Cemento color café oscuro	100	100	100	100
Fisuras longitudinales esmalte	87.5	100	-	-
Fractura esmalte cervical	100	87.5	-	-
Fisuras raíz	25	-	-	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	100	-	-
Pérdida de brillo de la amalgama	-	100	-	-
Formación de nódulos en la amalgama	-	100	-	-
Opacidad de la amalgama	-	100	-	-
Textura rugosa amalgama	-	100	-	-
Grietas en la amalgama	-	12.5	-	-
Aspecto cuarteado del esmalte	-	12.5	-	-
Aspecto cuarteado del cemento	-	12.5	-	-
Resina color marrón claro	-	-	100	-
Aumento brillo resina	-	-	100	-
Desadaptación marginal de la resina	-	-	100	-
Vetas blancas en resina	-	-	100	-
Desadaptación marginal del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Grietas en la superficie del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Expansión dimensional del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Cemento óxido de zinc color pardo	-	-	-	100

cavidad, a cada diente se le efectuó una profilaxis con agua oxigenada para desinfectar la cavidad y disminuir la tensión superficial de la dentina a fin de optimizar las propiedades adhesivas de la resina compuesta.

Obturación de las cavidades. Las cavidades de los dientes del Grupo 2 se obturaron con amalgama de plata (GS-80 SDI®) por medio de la técnica convencional de empaçado, condensado, bruñido y pulido de la restauración, y se dejó previamente ionómero de vidrio (Vitrebond® 3M-ESPE®) como base de la cavidad.

A los dientes del Grupo 3 se les aplicó ionómero de vidrio (Vitrebond® 3M-ESPE®) como base de la cavidad; se les hizo un grabado ácido del esmalte por 15 segundos y acondicionamiento de la dentina por 10 segundos con ácido fosfórico al 35% (3M-ESPE®); se

les aplicó adhesivo (Single Bond® 3M-ESPE®) con micro-cepillo en dos capas dejando impregnar la primera 20 segundos mediante chorro de aire indirecto por cinco segundos para que el adhesivo penetrara los túbulos dentinales y una segunda capa para homogeneizar la superficie evitando zonas secas, y se polimerizó el agente adhesivo por 40 segundos con una lámpara de foto-polimerización (Spectrum 800® Dentsply®); por último se empacó la resina compuesta (Z100® 3M-ESPE®) mediante técnica por incrementos oblicuos, que se polimerizaron, cada uno de ellos, por 40 segundos con una lámpara de foto-polimerización (Spectrum 800® Dentsply®) hasta obturar por completo la cavidad. Se finalizó con el pulido y brillo de la restauración para eliminar la capa inhibida superficial.

Cuadro 3
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 600°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Cemento color café oscuro	100	100	100	100
Corona color café con pigmentos negros	100	100	100	100
Separación esmalte-dentina a nivel del margen cervical	100	62.5	100	100
Grietas longitudinales en el esmalte				
Aspecto cuarteado del esmalte	100	100	100	100
Aspecto cuarteado cemento	87.5	100	100	-
Carbonización de la dentina	100	100	100	100
Grietas longitudinales raíz	100	100	100	100
Placa bacteriana carbonizada	100	-	87.5	87.5
Fractura esmalte cervical	100	-	100	100
Fisuras raíz	-	-	-	-
Dentina carbonizada	25	-	37.5	-
Exposición cámara pulpar	25	-	-	25
Tejido pulpar incinerado	25	-	-	25
Diferenciación dentina circumpulpar	-	-	-	12.5
Grietas internas dentina	25	25	37.5	37.5
Dentina atrapada en esmalte	25	-	-	-
Fisuras esmalte	25	75	100	87.5
Fragmentación del esmalte	37.5	-	12.5	-
Brillo metálico superficie de la raíz	-	100	-	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	100	-	-
Textura rugosa amalgama	-	100	-	-
Fisuras en la amalgama	-	25	-	-
Formación de nódulos en la amalgama	-	75	-	-
Grietas en la amalgama	-	12.5	-	-
Pigmentos rosados en esmalte alrededor de amalgama	-	62.5	-	-
Pigmentos rosados en amalgama	-	62.5	-	37.5
Fisuras dentina	-	25	37.5	-
Fisuras ionómer	-	12.5	37.5	-
Grietas ionómero	-	12.5	37.5	-
Dentina atrapada en la morfología del esmalte	-	25	-	-
Color negro grisáceo de la resina	-	-	87.5	-
Vetas grises zona marginal resina	-	-	87.5	-
Grietas que atraviesan la resina	-	-	75	-
Desadaptación marginal de la resina	-	-	87.5	-
Desalajo de la obturación en resina	-	-	87.5	-
Fragmentos de ionómero adheridos a resina	-	-	12.5	-
Desadaptación marginal del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Grietas en la superficie del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Expansión dimensional del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Color gris oscuro del cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Textura rugosa cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	87.5
Porosidad cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	87.5
Opacidad cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	75

Cuadro 4
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 800°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Separación esmalte-dentina a nivel del margen cervical	87.5	100	50	50
Fractura esmalte cervical	100	100	100	100
Grietas longitudinales en el esmalte	100	100	-	50
Aspecto cuarteado del esmalte	100	87.5	100	50
Fragmentación del esmalte	-	12.5	-	37.5
Carbonización de la dentina	100	87.5	100	100
Grietas longitudinales raíz	100	87.5	-	100
Corona color gris con pigmentos negros	100	100	25	50
Rebordes cuspídeos blanco-tiza	100	-	-	-
Separación casquete de esmalte	12.5	-	12.5	10
Placa bacteriana incinerada	100	-	-	-
Cemento de color blanco-azuloso	100	100	100	75
Ápice blanco	87.5	87.5	100	87.5
Aspecto cuarteado cemento	100	50	75	-
Grietas longitudinales cemento	87.5	75	100	-
Grietas internas dentina	25	37.5	87.5	85.7
Dentina atrapada en esmalte	25	37.5	50	42.9
Grietas esmalte	100	62.5	37.5	100
Grietas transversales raíz	25	37.5	62.5	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	100	-	-
Textura rugosa amalgama	-	100	-	-
Fisuras en la amalgama	-	25	-	-
Formación de nódulos en la amalgama	-	87.5	-	-
Grietas amalgama	-	37.5	-	-
Pigmentos rosados en esmalte alrededor de amalgama	-	100	-	-
Pigmentos rosados en amalgama	-	100	-	-
Fractura de la amalgama	-	12.5	-	-
Fisuras ionómero	-	12.5	-	-
Grietas ionómero	-	12.5	62.5	-
Ionómero de vidrio color negro	-	-	62.5	-
Desadaptación margen ionómero	-	-	62.5	-
Halo dorado reborde cuspídeo	-	62.5	-	-
Manchas rosadas en raíz	-	12.5	-	-
Exposición cámara pulpar	-	25	37.5	-
Tejido pulpar incinerado	-	25	12.5	-
Sin rastros de pulpa	-	-	25	-
Diferenciación dentina circumpulpar	-	25	37.5	-
Brillo metálico en superficie de raíz	-	12.5	-	-
Desadaptación marginal de la resina	-	-	50	-
Grietas que atraviesan la resina	-	-	25	-
Desalojo de la obturación en resina	-	-	75	-
Resina color blanco-tiza	-	-	100	-
Fragmentos de ionómero adheridos a resina	-	-	12.5	-
Resina incinerada	-	-	87.5	-
Desadaptación marginal del cemento óxido de zinc	-	-	-	62.5
Grietas en la superficie del cemento óxido de zinc	-	-	-	62.5
Contracción cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	100
Desalojo de la obturación en coltosol	-	-	-	37.5
Textura rugosa cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	100
Porosidad cemento óxido de zinc modificado	-	-	-	100

Cuadro 5
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 1000°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Separación esmalte-dentina a nivel del margen cervical	50	100	50	62.5
Grietas longitudinales en el esmalte	62.5	62.5	100	87.5
Aspecto cuarteado del esmalte	100	87.5	100	87.5
Fragmentación del esmalte	25	57.1	100	37.5
Carbonización de la dentina	100	100	-	-
Grietas longitudinales raíz	100	-	100	100
Rebordes cuspídeos blanco-tiza	62.5	-	-	-
Separación casquete de esmalte	12.5	-	-	-
Placa bacteriana de color gris oscuro	87.5	-	-	-
Corona color gris oscuro	62.5	71.4	-	87.5
Dentina blanca con manchas gris-azuloso	100	57.1	100	-
Cemento de color blanco-tiza	100	100	100	-
Aspecto cuarteado del cemento	100	100	87.5	100
Aspecto cuarteado del esmalte	-	100	25	-
Fractura esmalte cervical	87.5	-	12.5	87.5
Exposición cámara pulpar	12.5	-	-	-
Diferenciación dentina circumpulpar	12.5	-	75	-
No hay rastros pulpa	12.5	-	75	-
Techo de la cámara pulpar gris oscuro	12.5	-	-	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	71.4	-	-
Color negro de la amalgama	-	100	-	-
Rebordes cuspídeos color marrón	-	71.4	-	-
Grietas en la amalgama	-	28.6	-	-
Rebabas marginales en la amalgama	-	14.3	-	-
Desalojo de la obturación en amalgama	-	28.6	-	-
Textura rugosa amalgama	-	87.5	-	-
Fisuras en la amalgama	-	50	-	-
Formación de nódulos en la amalgama	-	87.5	-	-
Pigmentos rosados en esmalte alrededor de amalgama	-	25	-	-
Pigmentos rosados en amalgama	-	25	-	-
Grietas dentina	-	75	-	50
Fractura de la amalgama	-	37.5	-	-
Desalojo amalgama	-	28.6	-	-
Fisuras ionómero	-	25	87.5	-
Grietas ionómero	-	37.5	87.5	-
Grietas superficie interna de la dentina	-	50	-	50
Dentina atrapada en la morfología del esmalte	-	37.5	25	37.5
Grietas esmalte	-	75	12.5	75
Halo dorado reborde cuspídeo	-	37.5	-	-
Grietas transversales raíz	-	50	62.5	-
Manchas rosadas en raíz	-	37.5	-	-
Exposición cámara pulpar	-	37.5	75	-
Desalojo de la obturación en resina	-	-	100	-
Corona color gris oscuro	-	-	50	-
Fractura radicular	-	-	50	-
Grietas resina	-	-	62.5	-
Desalojo resina	-	-	100	-
Fractura resina	-	-	12.5	-
Resina incinerada	-	-	62.5	-
Fragmentos de ionómero adheridos a resina	-	-	25	-
Fractura ionómero	-	-	87.5	-
Desalojo del ionómero de vidrio	-	-	37.5	-
Cemento óxido de zinc modificado blanco-tiza	-	-	-	100
Desalojo de la obturación en coltosol	-	-	-	62.5
Desadaptación marginal cemento óxido de zinc	-	-	-	75
Grietas en la superficie cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Textura rugosa cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Porosidad cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Contracción cemento óxido de zinc	-	-	-	100
Dentina color blanco	-	-	-	50

Cuadro 6
Frecuencia (%) de cambios macro y microestructurales de los dientes a los 1200°C

Características	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
Separación esmalte-dentina a nivel del margen cervical	11.1	22.2	11.1	11.1
Grietas longitudinales en el esmalte	44.4	33.3	44.4	22.2
Aspecto cuarteado del esmalte	55.6	44.4	55.6	44.4
Grietas longitudinales raíz	100	88.9	55.6	-
Separación casquete de esmalte	22.2	-	-	18
Fragmentación del esmalte	62.5	66.7	66.7	77.8
Cemento de color blanco-tiza	100	77.8	100	-
Corona color grisáceo con pigmentos blancos	22.2	88.9	88.9	77.8
Esmalte blanco-tiza	66.7	-	-	-
Fragmentación de la dentina	66.7	-	33.3	44.4
Fractura esmalte cervical	-	100	100	100
Aspecto cuarteado cemento	100	100	88.9	-
Grietas longitudinales cemento	-	100	100	88.9
Exposición cámara pulpar	55.6	22.2	44.4	50
No hay rastros pulpa	66.7	22.2	44.4	50
Techo de la cámara pulpar gris oscuro	55.6	22.2	-	-
Diferenciación dentina circumpulpar	44.4	22.2	33.3	-
Dentina atrapada en esmalte	44.4	-	88.9	100
Placa bacteriana incinerada	88.9	-	-	-
Dentina color blanco	88.9	-	-	100
Dentina interna color gris-azuloso	-	-	44.4	-
Separación del casquete de esmalte	-	11.1	22.2	-
Desalajo de la obturación en amalgama	-	55.6	-	-
Desadaptación marginal de la amalgama	-	44.4	-	-
Color negro de la amalgama	-	44.4	-	-
Color dorado de la superficie oclusal	-	88.9	-	-
Manchas rosadas en el esmalte	-	88.9	-	-
Manchas rosadas en el cemento	-	33.3	-	-
Cemento color amarillo claro	-	22.2	-	-
Fracturas radiculares	55.6	44.4	44.4	22.2
Grietas transversales en la raíz	-	33.3	-	-
Fractura de la amalgama	-	33.3	-	-
Grietas en el ionómero de vidrio	-	55.6	-	-
Ionómero de vidrio color marrón claro	-	55.6	-	-
Fractura del ionómero de vidrio	-	22.2	-	-
Pigmentos rosados en dentina alrededor de amalgama	-	11.1	-	-
Fisuras ionómero	-	33.3	-	-
Grietas ionómero	-	44.4	-	-
Desadaptación marginal de la resina	-	-	22.2	-
Resina color blanco-tiza	-	-	22.2	-
Grietas resina	-	-	100	-
Fractura resina	-	-	11.1	-
Desalajo resina	-	-	77.8	-
Resina incinerada	-	-	100	-
Grietas ionómero	-	-	11.1	-
Desaparición del ionómero de vidrio	-	-	88.9	-
Fragmentos de ionómero adheridos a resina	-	-	11.1	-
Desalajo de la obturación en coltosol	-	-	-	77.8
Grietas más profundas en el cemento óxido de zinc	-	-	-	22.2
Cemento óxido de zinc color blanco-tiza	-	-	-	88.9
Textura rugosa cemento óxido de zinc	-	-	-	100

Cuadro 7
Distribución de los dientes que constituyen la muestra por rangos de temperatura

Rangos de temperatura (°C)	Grupos (%)			
	1 Sin tratamiento odontológico	2 Obturados con amalgama de plata	3 Obturados con resina compuesta	4 Obturados con cemento de óxido de zinc
200	9	9	9	9
400	8	8	8	8
600	8	8	8	8
800	8	8	8	8
1000	8	7	8	8
1200	9	9	9	9
Total dientes	50	49	50	50

Los dientes del Grupo 4 se obturaron con cemento de óxido de zinc modificado (Coltosol® Coltene-Whaledent®) por medio de la técnica convencional de empacado, condensado y bruñido.

Aplicación de temperaturas. Una vez hechas las obturaciones, los dientes se llevaron a bandejas individuales confeccionadas con material de revestimiento refractario (Cera-Fina® Whipmix®) para facilitar su manipulación de acuerdo con el prototipo patentado por la Unidad de Materiales Dentales del Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavía (Italia); y se sometieron al calor directo dentro de un horno tipo mufla (Thermolyne®) previamente calibrado a seis diferentes rangos de temperatura (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C) con una tasa de ascenso de 10°C por minuto desde una temperatura inicial de 34°C (temperatura ambiente) hasta alcanzar cada uno de los rangos propuestos (Cuadro 7). Terminada la aplicación del rango de temperatura específico, se retiraron los dientes del horno y se esperó a que se enfriaran a temperatura ambiente. Una vez fríos, se rociaron con laca para cabello con el fin de conferirles cierto grado de resistencia y facilitar su manipulación^{7,10}.

Observación macroscópica y microscópica. Un examinador observó y describió los cambios macroestructurales de los tejidos dentales y los cuatro materiales de obturación mediante visión directa de la muestra, apoyado por imágenes digitales obtenidas en una cámara digital (Olympus® C3000). De igual forma se empleó un estereomicroscopio con 10 aumentos (Carl Zeiss®) para demostrar y describir los cambios microestructurales en la muestra.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se ingre-

saron en una plantilla de Excel® y se procesaron mediante el Software SPSS® versión 12 para determinar su frecuencia.

RESULTADOS

Grupo 1 (dientes sin tratamiento odontológico)

Análisis macroscópico. A los 200°C hay pérdida de brillo del esmalte y del cemento, la corona adquiere una leve coloración parda y los rebordes de las cúspides se tornan blancos. A los 400°C se observa la corona con una tonalidad más oscura, carbonización de la placa bacteriana, fisuras en el esmalte, estallido del mismo en la zona cervical, y el cemento adquiere un color café oscuro (Fotos 1-4). A los 600°C la corona toma un color café intenso con manchas negras, hay separación esmalte-dentina a nivel del margen cervical, grietas longitudinales y aspecto cuarteado del esmalte; la dentina está carbonizada y a nivel de la raíz se observan grietas longitudinales y el cemento es color café oscuro (Fotos 5 y 6). A los 800°C la corona es gris con los rebordes cuspidados blanco-tiza, la placa bacteriana se torna gris oscuro y el cemento se observa de color blanco-azuloso en algunos especímenes, cambios que evidencian incineración de los tejidos dentales a partir de este rango de temperatura (Fotos 7-10). A los 1000°C en algunos dientes hay fragmentación del esmalte, la dentina se aprecia de color blanco con manchas gris-azuloso, y el cemento se torna de color blanco-tiza con aspecto cuarteado (Fotos 11 y 12). A los 1200°C el esmalte (que adquiere un color blanco-tiza) y la dentina se fragmentan en la mayoría de la muestra y se observan fracturas del tercio medio y grietas longitudinales y

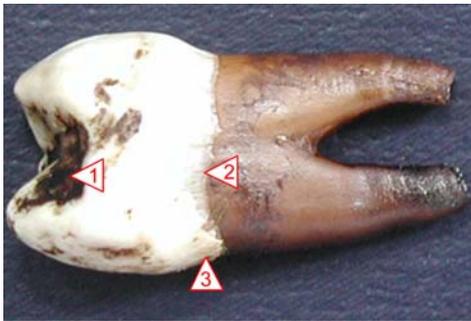


Foto 1. Diente sin preparación sometido a 400°C. 1. Placa bacteriana carbonizada. 2. Fractura de esmalte cervical. 3. Estallido esmalte cervical.

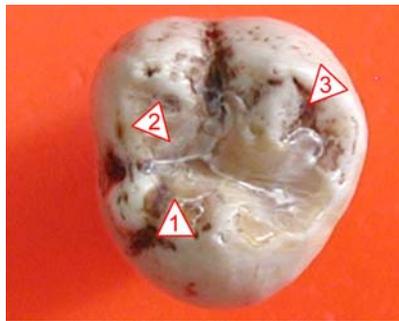


Foto 2. Diente con obturación en resina sometido a 400°C. 1. Desadaptación marginal. 2. Vetas de color blanco de la resina. 3. Placa bacteriana carbonizada.

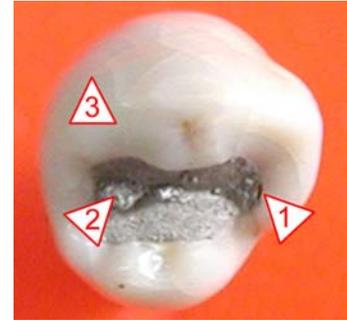


Foto 3. Diente con obturación en amalgama sometido a 400°C. 1. Desadaptación marginal de la amalgama. 2. Nódulos en la superficie de la amalgama. 3. Fisuras en el esmalte.

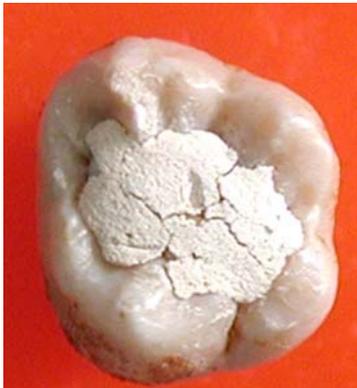


Foto 4. Diente con obturación en cemento de óxido de zinc modificado sometido a 400°C. 1. Desadaptación marginal del cemento. 2. Grietas superficiales en el cemento.

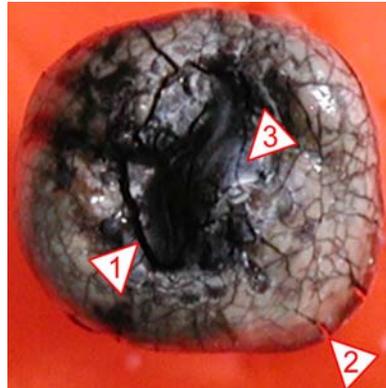


Foto 5. Diente con obturación en resina sometido a 600°C. 1. Desadaptación marginal de la resina. 2. Grietas en el esmalte con aspecto cuarteado. 3. Vetas grises en la resina carbonizada.



Foto 6. Diente fragmentado con obturación en cemento de óxido de zinc modificado sometido a 600°C. 1. Obturación temporal desalojada. 2. Dentina carbonizada. 3. Restos de ceniza de la pulpa dental.

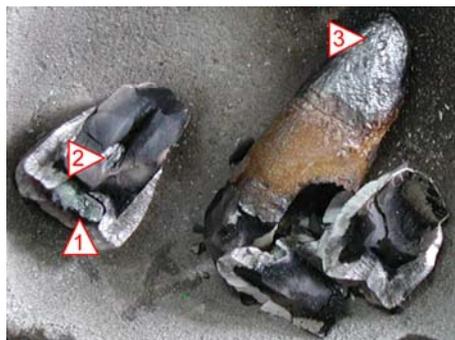


Foto 7. Diente fragmentado con obturación en amalgama sometido a 800°C. 1. Amalgama carbonizada. 2. Restos de ceniza de la pulpa dental. 3. Trazas de mercurio en la raíz.



Foto 8. Diente sano sometido a 800°C. 1. Casquete de esmalte con dentina atrapada en los fosas y fisuras de la superficie oclusal. 2. Grieta longitudinal de la raíz.



Foto 9. Diente fragmentado con obturación en resina sometido a 800°C. 1. Resina incinerada desalojada de la cavidad. 2. Dentina coronal carbonizada. 3. Dentina circumpulpar. 4. Fractura dentina coronal de la cámara pulpar.

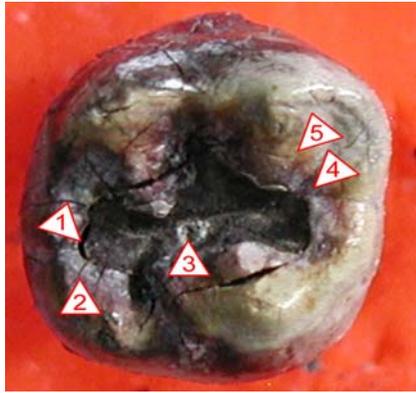


Foto 10. Diente con obturación en amalgama sometido a 800°C. 1. Desadaptación marginal de la amalgama. 2. Fractura del esmalte. 3. Nódulos en la superficie de la amalgama. 4. Pigmentos rosados en el esmalte. 5. Pigmentos dorados en el esmalte.

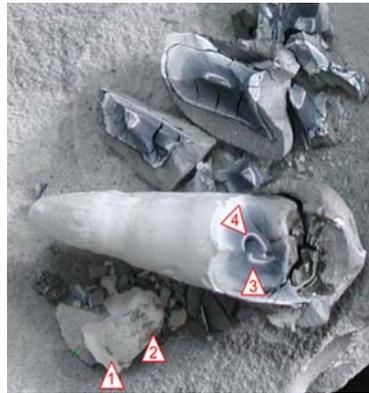


Foto 11. Diente fragmentado con obturación en resina sometido a 1000°C. 1. Resina incinerada desalojada de la cavidad. 2. Trazo de ionómero de vidrio adherido a la resina. 3. Dentina coronal parcialmente incinerada. 4. Dentina circumpulpar incinerada.



Foto 12. Diente fragmentado con obturación en amalgama sometido a 1000°C. 1. Amalgama carbonizada. 2. «Balas de plata» de la amalgama.



Foto 13. Diente fragmentado con obturación en amalgama sometido a 1200°C. 1. Amalgama. 2. Pigmentos rosados en esmalte y dentina.



Foto 14. Diente fragmentado con obturación en cemento de óxido de zinc modificado sometido a 1200°C. 1. Obturación temporal desalojada.

transversales de la raíz (Fotos 13 y 14). (Cuadros 1-6).

Análisis microscópico. Se aprecian cambios relevantes a partir de los 400°C, cuya observación evidencia la aparición de fisuras longitudinales en el esmalte y fractura del mismo a nivel del margen cervical (Fotos 1 y 3). A los 600°C se nota fractura y separación esmalte-dentina en el margen cervical, cuarteado del esmalte y del cemento, así como grietas longitudinales en este último. A los 800°C surgen grietas en el esmalte y la dentina advierte signos de incineración (Foto 9). A los 1000°C la dentina expuesta presenta un color blanco (Fotos 11 y 12). A los 1200°C se observa exposición de la cámara pulpar en la mitad de la muestra, lo cual permite señalar cambios como calcinación de la pulpa, diferenciación de la dentina circumpulpar, el techo de la cámara pulpar tiene un tono de color gris más oscuro, y grietas transversales internas de la dentina que se continúan en la raíz hacia el cemento (Fotos 13 y 14). (Cuadros 1-6).

Grupo 2 (dientes obturados con amalgama de plata y base en ionómero de vidrio)

Análisis macroscópico. A los 200°C y a los 400°C la amalgama sufre desadaptación marginal, pérdida de brillo y formación de nódulos o balas en la superficie (Foto 3). A los 600°C se observa fragmentación del esmalte y brillo metálico en la superficie de la raíz (Foto 9); la amalgama adquiere un color negro opaco y pierde las características morfológicas conferidas durante el bruñido. A los 800°C la corona es de color gris con manchas negras y en la superficie oclusal alrededor de la obturación, de textura rugosa, el esmalte adquiere un pigmento de color marrón brillante o dorado (Foto 10). A los 1000°C surgen grietas en la amalgama que le confieren un aspecto cuarteado de su superficie oclusal. La obturación se desaloja de la cavidad por fragmentación del esmalte, lo cual permite observar el ionómero de vidrio expuesto de color blanco-tiza. A los 1200°C se aprecia fragmentación de la corona en más de la mitad de la muestra lo cual ocasiona desalojo de la obturación y exposición del ionómero de vidrio, donde este último presenta un color marrón claro, grietas y fracturas. De igual forma se observa la superficie oclusal de color

marrón brillante y se hacen notorias unas series de pigmentos rosados en el esmalte y cemento (Foto 13). La amalgama de color negro, presenta fracturas y un aspecto cuarteado (Cuadros 1-6).

Análisis microscópico. A los 200°C se evidencia la desadaptación marginal de la amalgama, opacidad, textura rugosa y nódulos o balas en la superficie. A los 400°C se perciben los mismos cambios en la amalgama que en el rango de temperatura anterior, la placa bacteriana está carbonizada, aparecen fisuras longitudinales en el esmalte y fractura del esmalte cervical (Foto 3). A 600°C el esmalte y el cemento presentan un aspecto craquelado, se observan grietas longitudinales en el cemento, y se aprecian pigmentos rosados en el esmalte de la corona y en la amalgama. La dentina presenta signos de carbonización, grietas y fracturas continuas, y pigmentos rosados en las zonas que limitan la cavidad y que entran en contacto con la obturación en amalgama. A los 800°C se observan los mismos cambios antes mencionados además de un halo dorado que surca los rebordes cuspídeos de la corona y grietas transversales en la raíz (Foto 10). En los dientes que presentaron exposición de la cámara pulpar por fractura, se observó el tejido pulpar incinerado y diferenciación de la dentina circumpulpar. A 1000°C se encuentran, además de los cambios descritos en el rango de temperatura anterior, ausencia de rastros de pulpa en los dientes con exposición pulpar, grietas en la superficie interna de la dentina, y reborde cuspídeo con pigmentos rosados y dorados. La amalgama muestra grietas, aspecto craquelado, fracturas, y desalojo de la cavidad, situación que permitió observar el ionómero de vidrio igualmente con aspecto cuarteado. A los 1200°C existe desalojo de la obturación en más de la mitad de la muestra, y grietas y aspecto craquelado en el ionómero de vidrio expuesto. En los dientes que presentan fragmentación y desprendimiento del esmalte a manera de casquete, la dentina oclusal se queda atrapada en la morfología del esmalte (Cuadros 1-6).

Grupo 3 (dientes obturados con resina compuesta y base en ionómero de vidrio)

Análisis macroscópico. A los 200°C la obturación en resina compuesta presenta retracción marginal y coloración marrón. A los 400°C hay aumento del brillo de la resina y desadaptación marginal (Foto 2). A los 600°C el color de la resina se torna negro grisáceo (Foto 5), aparecen grietas y ocurre desalojo de la obturación

en algunos dientes. A 800°C la resina se observa de color blanco-tiza (Foto 8), en la mayoría de la muestra hay desalojo de la obturación y exposición del ionómero de vidrio que se observa de color negro, con grietas y desadaptado. A los 1000°C la corona adquiere un color gris oscuro, la dentina expuesta se aprecia blanca con manchas grises azulosas, y en la mitad de la muestra ha ocurrido pulverización del esmalte y fractura radicular. El ionómero de vidrio presenta un color negro grisáceo (Foto 11). A los 1200°C la corona cambia a un color blanco-grisáceo, en la mayoría de la muestra ocurrió desalojo de la obturación y desaparición del ionómero de vidrio. Además, se aprecia fragmentación de la dentina. (Cuadros 1-6)

Análisis microscópico. A los 200°C se evidencia un espacio entre el borde cabo de la cavidad y el material de obturación causado por la retracción marginal de la resina. A 400°C se hallaron fisuras longitudinales en el esmalte y fractura en la zona cervical del mismo, carbonización de la placa bacteriana, desadaptación marginal y vetas blancas en la resina. A los 600°C se aprecia el esmalte y el cemento con un aspecto cuarteado; grietas longitudinales en el esmalte, en el cemento, en la resina; y carbonización y vetas grises en la zona marginal de la resina (Foto 5). A los 800°C ocurrió desalojo de la resina en la mayor parte de la muestra, la dentina se ve carbonizada con grietas y fisuras internas, el ionómero de vidrio expuesto también exhibe grietas, la resina está incinerada y se puede observar dentina oclusal atrapada dentro del casquete de esmalte. A los 1000°C hay exposición pulpar en la mayoría de la muestra, que permite evidenciar la calcinación del tejido pulpar, la diferenciación de la dentina circumpulpar (Fotos 8 y 11), fracturas coronales que se continúan del esmalte a la dentina, dentina interna de color gris-azuloso (la externa es de color blanco-tiza), y fractura del ionómero de vidrio. En la mitad de los dientes ocurrió pulverización del esmalte y de la resina. A los 1200°C la mayor parte de la corona está fragmentada y en el resto, el esmalte está pulverizado; la dentina se encuentra igual que en el rango anterior; la resina, agrietada e incinerada, se desaloja de la cavidad en la mayoría de la muestra; y en poco menos de la mitad de los dientes, hubo exposición de la cavidad pulpar donde no se hallaron rastros de tejido pulpar (Cuadros 1-6).

Grupo 4 (dientes obturados con cemento de óxido de zinc modificado)

Análisis macroscópico. A 200°C se encuentra desadaptación marginal, grietas en la superficie y expansión dimensional del cemento de óxido de zinc modificado. A los 400°C hubo estallido del esmalte cervical, fisuras longitudinales en el esmalte, y color pardo del material de obturación (Foto 4). A los 600°C el cemento de óxido de zinc se torna de un color gris oscuro, presenta grietas, contracción dimensional y desadaptación marginal (Foto 6). A los 800°C el material se aprecia blanco-tiza y en un tercio de la muestra ocurrió desalojo de la obturación. A los 1000°C se observa el esmalte alrededor de la obturación de color blanco, la corona gris oscuro, el cemento temporal color blanco-tiza y de aspecto cuarteado, y grietas y fracturas en un cuarto de la muestra. A los 1200°C se presentó fragmentación del esmalte y de la dentina, y grietas transversales en la raíz (Foto 14) (Cuadros 1-6).

Análisis microscópico. A los 200°C en el cemento de óxido de zinc modificado se pueden observar grietas en la superficie, expansión, textura rugosa y porosidad. A los 400°C el material se torna opaco, y se aprecian fisuras longitudinales y fractura del esmalte cervical (Foto 4). A los 600°C el esmalte y el cemento muestran un aspecto cuarteado. De igual forma se aprecian grietas longitudinales y contracción del cemento temporal, dentina carbonizada en la mitad de la muestra y exposición pulpar, lo que permitió evidenciar incineración del tejido pulpar (Foto 6). A los 800°C continúa el proceso de contracción del cemento, y la dentina carbonizada presenta fisuras y grietas internas. A los 1000°C la obturación se desalojó de la cavidad en la mitad de la muestra, mientras que a los 1200°C el desalojo se apreció en casi toda la muestra, además de fragmentación del esmalte, dentina de color blanco, signo de incineración, y exposición de la cavidad pulpar de algunos dientes sin rastros de tejido pulpar (Cuadros 1-6).

DISCUSIÓN

Esta investigación *in vitro* evidencia cómo los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico empleados presentaron comportamientos diferentes en cada rango de temperatura, sin embargo *in vivo* estos cambios pueden variar según factores extrínsecos como tiempo de exposición al ataque térmico, naturaleza de la causa del fuego, participación de sustancias combustibles,

curva de elevación de la temperatura y sustancias empleadas para extinguir el fuego, y factores intrínsecos como el coeficiente térmico de expansión y de los tejidos y los materiales, además del punto de fusión de estos últimos. De igual forma, *in situ*, los dientes no se exponen de manera directa al fuego (sobre todo los dientes posteriores), por lo menos al principio, pues se encuentran protegidos por los tejidos periorales, la musculatura facial y para el caso de la raíces la mucosa y el tejido óseo de los maxilares. Además, a medida que aumenta la temperatura del cuerpo, desde el sistema digestivo se expelen gases que al llegar a la cavidad oral proyectan la lengua en dirección postero-anterior y hacen que los dientes queden inmersos en la misma^{7,8,10,14,19,33,34}.

Desadaptación marginal de las obturaciones. A los 200°C las amalgamas evidencian desadaptación marginal ocasionada por contracción de la obturación por disociación de los componentes de la aleación y evaporación del mercurio^{14,33}; y de la resina por pérdida de la matriz orgánica, como lo describieron Merlati *et al.*¹⁴

Esta separación entre la obturación y los tejidos dentales aumentó a medida que subió la temperatura hasta el desalojo de las cavidades; para el caso de la amalgama a partir de los 1000°C, la resina a partir de 600°C y el cemento de óxido de zinc modificado a partir de 800°C. Con respecto al ionómero de vidrio al ser empleado como base de la cavidad se encontró protegido por la amalgama y la resina, pero al ocurrir el desalojo de éstas se evidenciaron fracturas y pérdida del material entre los 1000°C y 1200°C. En el caso del cemento de óxido de zinc modificado, se observó una expansión dimensional a manera de un hinchamiento de la superficie que se mantiene hasta los 600°C, lo cual se atribuye a la pérdida de agua sin llegar a la deshidratación completa. Cabe anotar que los materiales de uso odontológico presentan un coeficiente térmico de expansión muy similar al de los tejidos dentales por debajo de los 100°C^{35,36}, por tanto, los materiales inician una expansión y al aumentar la temperatura ocurre una contracción dimensional por pérdida de las propiedades. En el caso del cemento de óxido de zinc modificado esta contracción se evidencia a partir de 800°C.

Fractura de la unión amelocementaria y separación de la corona. El esmalte presenta un alto contenido inorgánico (de 96% a 99%) en virtud de su estruc-

tura mineral conformada por gran cantidad fosfato de calcio en forma de cristales de apatita^{37,38}, por lo cual Yamamoto *et al.*, citados por Espina *et al.*³⁹, manifestaron en 1990 que este tejido es un mal conductor del calor. De allí, que al someterse a altas temperaturas pierda rápidamente su escaso contenido de agua y su matriz de colágeno, lo que ocasiona una fuerte contracción del tejido que induce cambios en la organización de dichos cristales y la posterior aparición de fisuras, grietas, aspecto craquelado y fracturas³⁹. Asimismo, la dentina, con un alto contenido orgánico y 12% de agua^{38,40}, se demora algún tiempo en deshidratarse⁴¹, y como la protegen el esmalte (dentina coronal) y los tejidos periodontales (dentina radicular), esto permite cierto margen de contracción térmica entre ambos tejidos, lo que ocasiona que en la unión amelocementaria el esmalte se fracture a los 200°C y que haya una separación del esmalte y de la dentina del margen cervical a partir de los 400°C. Nossintchoux³³ y Valdéz y Casas²⁷ habían referido hallazgos semejantes.

De igual forma, a medida que la exposición a las altas temperaturas continúa, los tejidos dentales pierden su integridad⁹, de tal manera que a los 800°C la carbonización de la dentina hace que ésta al reducirse produzca disminución del volumen radicular^{27,22}, y que en la corona el esmalte se separe a manera de un casquete, fenómeno que ocurrió en algunos especímenes a partir de los 800°C hasta los 1200°C. Günther y Schmidt en 1953, citados por Röttscher *et al.*¹⁵, informan que esta separación se dio a los 400°C, mientras que Merlati *et al.*¹⁴ la describen a partir de los 800°C.

Es de interés enfatizar que dentro del casquete de esmalte queda retenida cierta cantidad de dentina coronal debido a la invaginación oclusal (surcos y fisuras) en este tejido (Foto 7); por tanto, es evidente que las zonas de fractura de la dentina, debido a los coeficientes de expansión térmica y a la posterior pérdida de volumen, se dan a nivel coronal en la imbricación macroscópica y a nivel cervical en la línea amelocementaria.

Fisuras, grietas, aspecto cuarteado y fracturas de los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico. En todos los dientes se observan fisuras en el esmalte a partir de los 400°C, que se convierten en grietas a los 600°C como lo describieron Günther y Schmidt¹⁵, y Nossintchoux³³. Además, se puede observar un aspecto cuarteado de la corona y la raíz (Foto 5), que se produce en la superficie del esmalte y del

cemento debido a las diferencias entre los coeficientes de expansión térmica de los tejidos y los materiales dentales, y que se conserva hasta los 1200°C.

La fragmentación del esmalte se describe a partir de los 600°C y su pulverización en algunos dientes a los 1200°C. Microscópicamente, en el cemento se observan fisuras a los 400°C, aspecto cuarteado a partir de los 600°C, y desde este punto hasta los 1200°C, grietas longitudinales que se continúan con la dentina radicular y ocasionan en algunos especímenes fragmentación de las raíces, lo que coincide con lo descrito por Merlati *et al.*¹⁴ y que en muchos casos constituyen líneas de fractura de la raíz (55.6% de los dientes sanos, 44.4% de los dientes obturados con amalgama y resina, y 22.2% de los dientes obturados con óxido de zinc modificado). No obstante Nossintchoux³³ describe fisuras y roturas en las raíces a partir de los 175°C.

En los dientes obturados se observaron grietas en la dentina que como se continuaban desde el esmalte y el cemento, se hicieron visibles por la fractura de la corona y/o de la raíz a partir de los 600°C.

Para el caso de la amalgama, microscópicamente se observó el aspecto craquelado desde 600°C, y a partir de 800°C las grietas se hacen visibles macroscópicamente hasta 1200°C. Algunos especímenes presentaron fractura de la obturación a partir de 600°C y desalojo de la misma desde los 1000°C; esto es semejante a los informes de Merlati *et al.*⁴²

En cuanto a la resina, se observaron grietas a partir de los 600°C hasta los 1200°C. Algunos especímenes presentaron desalojo de la obturación desde los 600°C y fracturas a los 1000°C; en el ionómero de vidrio se aprecian grietas, fracturas y desalojo a partir de los 800°C, cambios que se pueden relacionar con la exposición del material en los especímenes donde ocurrieron fractura coronal y radicular, y desalojo de las obturaciones; el cemento de óxido de zinc modificado presentó grietas a partir de los 200°C, desalojo desde los 800°C y fractura en los 1000°C.

Cambios en la textura. En este punto los hallazgos más importantes para resaltar son el aspecto cuarteado de los tejidos dentales, que ya se discutió y el aspecto rugoso de los materiales dentales. Entre los 200°C y 400°C la amalgama presenta la superficie oclusal rugosa o ampollada en la totalidad de los dientes obturados con este material (Fotos 3 y 10), lo que se debe a la aparición de pequeños nódulos, pues al disolverse la aleación el

mercurio se evapora mediante burbujas gaseosas, y cuando la temperatura desciende se forman estas ampollas o nódulos. Esta condición también la informaron Merlati *et al.*¹⁴ desde los 200°C.

Se debe destacar que los nódulos varían de tamaño conforme la temperatura aumenta hasta que el mercurio se evapora totalmente de la aleación en un punto de ebullición que va desde los 39°C hasta los 360°C³³, de allí en adelante el mercurio al evaporarse arrastra partículas de plata, que a temperaturas mayores a los 800°C conforma lo que Günther y Schmidt¹⁵ denominan «balas de plata» (Foto 12) y proporcionan al material restaurador una textura rugosa durante todos los rangos de temperatura y rebabas en los bordes marginales.

En lo que concierne a la resina, su textura se torna rugosa conforme la temperatura aumenta hasta incinerarse a los 1000°C. El ionómero de vidrio, una vez expuesto en los dientes fracturados y en las cavidades que sufrieron desalojo de la obturación, tomó un aspecto rugoso. El óxido de zinc modificado tras la pérdida de agua se vuelve igualmente rugoso.

Cambio de color. Dentro del comportamiento de los tejidos y de los materiales dentales, según se observa en este estudio, el cambio de color fue lo más característico en cada rango de temperatura, y se encontró en relación directa con el nivel de carbonización e incineración de los dientes y sus obturaciones. La corona a los 200°C se tornó de un color pardo claro, los rebordes cuspídeos blancos y la placa acumulada en los surcos y fisuras se carbonizó con un color pardo oscuro. Como el esmalte es translúcido sufre un proceso de carbonización gradual en cada cambio de temperatura, que Günther y Schmidt¹⁵ denominaron «carbonización invisible», que afecta principalmente su grado de opacidad o pérdida de brillo, por tanto los cambios de color en la corona se reflejarán en los cambios de la dentina, que variarán a pardo oscuro en los 400°C, café con pigmentos negros en los 600°C, gris con pigmentos negros en los 800°C, gris en los 1000°C y gris con vetas blanco tiza en los 1200°C (esta vetas se generan por incineración incompleta del esmalte, que pierde su aspecto translúcido). De la misma manera, las raíces cambian su color en virtud de los cambios del cemento, pues son de color café oscuro entre los 400°C y 600°C, blanco azulado en los 800°C y blanco tiza entre los 1000°C y los 1200°C. Todos estos cambios de color fueron descritos por Merlati *et al.*^{14,42}.

En los dientes cuya corona y raíz presentaron fracturas que exponen la dentina, se pudo observar que ésta se torna de un color negro a partir de los 600°C, blanco tiza en los 800°C y blanca con manchas gris-azulado entre los 1000°C y los 1200°C. En los especímenes en los que hubo exposición de la cámara pulpar y los conductos radiculares, es posible diferenciar la dentina circumpulpar o dentina secundaria fisiológica, que rodea la pulpa^{40,43}, entre los 600°C y los 1200°C, asociada con un color siempre más claro que el resto de la dentina primaria, quizás por contar con células activas (odontoblastos) que se carbonizan e incineran mucho más rápido que la dentina primaria; de esta forma la dentina secundaria se torna gris cuando la dentina primaria se encuentra carbonizada de color negro entre los 600°C y los 800°C, y blanco tiza cuando es de color blanco-azulado y blanco entre los 1000°C y los 1200°C, respectivamente (Fotos 8, 9 y 11).

También vale la pena destacar cómo la dentina primaria coronal que entre los 1000°C y los 1200°C es de color blanco-azulado o blanco-tiza, conserva un área pigmentada de color negro que implica que aún no se ha incinerado completamente (Foto 11), situación que no ocurre en la raíz, esto se relaciona con la protección del esmalte como aislante térmico al igual que los materiales de uso odontológico para el caso de los dientes obturados; y que entre los 400°C y los 800°C es posible, en algunos especímenes, observar trazas del tejido pulpar incinerado, hallazgo descrito por Günther y Schmidt¹⁵.

En relación con los materiales dentales, la amalgama en los 200°C y 400°C pierde el brillo debido a la evaporación del mercurio¹⁴ y experimenta un cambio de color negro mate desde los 600°C (Foto 10). Una característica interesante respecto a este material de restauración son los pigmentos que puede ocasionar en los tejidos dentales por la disociación de los metales que lo conforman. A los 600°C las raíces presentan un brillo metálico plateado atribuido a trazas de mercurio liberadas durante su evaporación (Foto 9), según lo definieron Günther y Schmidt¹⁵.

Merlati *et al.*^{14,42} refieren la aparición de pigmentos rosados en la raíz y en la corona de los dientes obturados con amalgama y sometidos a 1000°C y 1100°C como en este estudio (Fotos 10 y 13); sin embargo, en la observación microscópica, se advirtieron estos pigmentos en el esmalte alrededor de la amalgama entre los 600°C y

1200°C, en la dentina que conformó los límites de la cavidad y que entró en contacto con el material de obturación a los 600°C, en el cemento a los 800°C, y en la misma amalgama a los 600°C, que se asocian con la oxidación por altas temperaturas que sufre el cobre cuyos óxidos volátiles liberados a partir de los 450°C generan un pigmento rojizo-pardo^{15,44,45}.

Otra característica importante del color, es la formación de un halo dorado que circunscribe la tabla oclusal a través de los rebordes cuspidos de los dientes obturados con amalgama entre los 800°C y los 1200°C (Foto 10), asociado con vapores de óxido de mercurio en tonos rojizos y amarillentos⁴⁶, al mismo cobre^{44,45}, y a un sedimento pardo que dejan los óxidos de plata liberados a partir de los 962°C⁴⁷.

En lo referente a la resina, tomó un color marrón claro con vetas blancas a los 400°C (Foto 2), descrito por Merlati *et al.*⁴², como café amarillento, y aumenta su brillo. Ya en los 600°C la resina cambia a un color negro-grisáceo (dado por vetas grises) (Foto 5), debido según Merlati *et al.*¹⁴, a la combustión de la matriz acrílica, y, a partir de los 800°C hasta los 1200°C un color blanco-tiza (Fotos 8 y 11).

El ionómero de vidrio de los dientes fracturados y en los que se obturaron con amalgama, pasa de un color blanco a los 1000°C y a marrón claro a los 1200°C, mientras que en los dientes obturados con resina cambió a un color gris oscuro en los 800°C y 1000°C (Foto 11).

Quizás el material de uso odontológico más constante fue el cemento de óxido de zinc, que únicamente cambió de color a gris oscuro a los 600°C (Foto 6), para adquirir un tono blanco más deslumbrante desde los 1000°C (Foto 14), como lo refieren Günther y Schmidt¹⁵.

Niveles de carbonización e incineración. Un diente expuesto a altas temperaturas sufre una serie de cambios físicos macroscópicos que van desde quedar intacto, quemado (pigmentos superficiales y cambio de color), carbonizado (reducido a carbón por combustión incompleta) o incinerado (reducido a cenizas)¹⁰.

A los 200°C se puede decir que los tejidos y los materiales dentales se queman sin grandes cambios físicos estructurales, lo que se evidencia en la aparición de manchas pardas, pérdida de brillo (rebordes cuspidos blancos), aumento de brillo (para el caso de la resina). A los 400°C la corona adquiere un color pardo oscuro, donde el esmalte se empieza a tornar opaco y la dentina inicia su proceso de carbonización, lo mismo que el

cemento. De igual forma el color guía el estado de los tejidos y los materiales durante este rango. A los 600°C la dentina se encuentra totalmente carbonizada y se transluce a través de un esmalte muy opaco que da a la corona un aspecto grisáceo. La resina inicia su proceso de combustión al cambiar igualmente de color y la amalgama sufre cambios en la textura, producto de la evaporación del mercurio^{14,33,42}.

A los 800°C, la dentina que comienza su fase de incineración adquiere un aspecto blanco-azuloso con áreas de color negro (principalmente en la parte coronal), lo que evidencia que aún existe un proceso de carbonización. El esmalte se aprecia incinerado al igual que el cemento. En el caso de los materiales dentales se hace evidente la incineración de la resina y del cemento de óxido zinc, que se comporta como un yeso piedra¹⁵.

A los 1000°C y a los 1200°C la incineración de todos los tejidos y de los materiales se hace cada vez más notoria con base en el color, la textura y el estado fragmentado y pulverizado de algunos especímenes, situación que también describieron Merlati *et al.*^{14,42}, a tal punto que el diente no se puede manipular ni mucho menos tocar, de no ser por las bandejas individuales de material de revestimiento¹⁴ y por la fijación de los ejemplares con laca para cabello¹⁰.

CONCLUSIONES

Los tejidos dentales, esmalte, dentina y cemento, presentan gran resistencia a la acción de las altas temperaturas, lo que le confiere a los dientes un apreciable estado de conservación sin serios cambios macroestructurales que afecten su morfología.

Los materiales de uso odontológico, amalgama, resina compuesta, ionómero de vidrio y cemento de óxido de zinc modificado, presentan gran resistencia a la acción de las altas temperaturas, y aunque en algunos casos se ven seriamente comprometidos en su macroestructura, se conservan dentro de las cavidades aun cuando el esmalte y la dentina presentan fracturas y fragmentación.

Los dientes a los que se les hicieron cavidades y se obturaron con materiales dentales, presentaron mayor tendencia a la fractura de la corona (por debilitamiento y pérdida de sustancia) que los dientes sin ningún tipo de tratamiento odontológico.

Los tejidos y los materiales dentales presentan una

serie de cambios físicos macro y microestructurales específicos de cada rango de temperatura (color, textura, fisuras, grietas, fracturas, fragmentación), por lo cual su comportamiento puede evidenciar los grados de temperatura que se pudieron alcanzar para el caso de cadáveres quemados, carbonizados o incinerados.

En los dientes obturados con amalgama y resina compuesta (estos dos sistemas con ionómero de vidrio como protector pulpar y base de la cavidad), y con cemento de óxido de zinc modificado, se presentan una serie de fenómenos en los tejidos dentales (color, textura, fisuras, grietas, fracturas, fragmentación) específicos de cada rango de temperatura, que en caso de desalojo y pérdida del material de obturación, se puede llegar a inferir el tipo de material que ocupaba la cavidad, lo que es de gran utilidad en el momento de hacer el cotejo de los hallazgos postmortem con la historia clínica pre-mortem.

Conocer el comportamiento de los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico a altas temperaturas resulta de gran importancia para la odontología forense en el proceso de identificar un individuo cuyo cadáver o restos hayan sido quemados, carbonizados o incinerados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se pudo desarrollar gracias a la colaboración de los técnicos de laboratorio dental Juan Manuel Martínez y Mónica García; al asesoramiento del odontólogo Carlos Alfonso Mejía, y de los profesores de la Unidad de Materiales Dentales del Departamento de Odontoestomatología «Silvio Palazzi» de la Universidad de Pavía (Italia), Giuseppe Merlati, especialista en biomateriales dentales y Caterina Savio, especialista en odontología forense y a la contribución de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle.

REFERENCIAS

- Rodríguez JV (ed.). Historia del proceso de identificación. En: *La antropología forense en la identificación humana*. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2004. p. 11-38.
- Ramírez LA, Castaño A, González JO, Hernández HW. *Homicidios Colombia 2005*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, editor. *Forensis 2005, datos para la vida*. Santa Fe de Bogotá: Imprelibros; 2006. p. 27-75.
- González JO, Hernández HW. *Muertes accidentales Colombia 2005*. En: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, editor. *Forensis 2005, datos para la vida*. Santa Fe de Bogotá: Imprelibros; 2006. p. 254-315.
- Ley 38/1993 de enero 15. *Por la cual se unifica el sistema de dactiloscopia y se adopta la carta dental para fines de identificación*. Diario Oficial, Nº 40724. (19-01-1993).
- Moya V, Roldán B, Sánchez JA, editores. La prueba pericial en odontología: identificación. En: *Odontología legal y forense*. Barcelona: Editorial Masson SA; 1994. p. 239-54.
- Guerra A. *Odontoestomatología forense*. Santa Fe de Bogotá: Ecoe Editores; 2002. p. 1-8.
- Ferreira JL, Espina AL, Barrios FA, Mavaréz MG. Conservación de las estructuras orales y faciales del cadáver quemado. *Cien Odontol*. 2005; 2: 58-65.
- Andersen L, Juhl M, Solheim T, Borrmann H. Odontological identification of fire victims-potentialities and limitations. *Int J Leg Med*. 1995; 107: 229-34.
- Myers SL, Williams JM, Hodges JS. Effects of extreme heat on teeth with implications for histologic processing. *J Forensic Sci*. 1999; 44: 805-9.
- Delattre VF. Burned beyond recognition: Systematic approach to the dental identification of charred human remains. *J Forensic Sci*. 2000; 45: 589-96.
- Sweet D. ¿Por qué es necesario un odontólogo para la identificación? En: Fixot RH Editor invitado. *Clínicas odontológicas de Norteamérica: odontología forense*. Volumen 2. México: McGraw-Hill Interamericana; 2001. p 245-257.
- Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica, reporte de casos. *Rev Estomatol*. 2003; 11: 41-9.
- Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica de individuos quemados, reporte de dos casos. *Rev Estomatol*. 2004; 12: 57-70.
- Merlati G, Savio C, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Further Study of restored and unrestored teeth subjected to high temperatures. *J Forensic Odontostomatol*. 2004; 22: 17-24.
- Röttscher K, Grundmann C, Benthaus S. The effects of high temperatures on human teeth and dentures. *Int Poster J Dent Oral Med*. 2004; 6: Poster 213.
- Mazza A, Merlati G, Savio C, Fassina G, Menghini P, Danesino P. Observations on dental structures when placed in contact with acids: Experimental studies to aid identification processes. *J Forensic Sci*. 2005; 50: 406-10.
- Taylor P, Wilson M, Lyons T. Forensic odontology lessons: multishooting incident at Port Arthur, Tasmania. *Forensic Sci Int*. 2002; 130: 174-82.
- Ferreira JL, Espina AL, Barrios FA. La odontología forense en la identificación de las víctimas de la masacre de la cárcel de Sabaneta (Venezuela). *Rev Esp Med Leg*. 1998; 22: 50-6.
- Norrlander AL. Burned and incinerated remains. In: Bowers CM, Bell GL, Editores. *Manual of forensic odontology*. 3th ed. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology; 1997. p 16-8.
- American Board of Forensic Odontology (ABFO). Body identification guidelines. *J Am Dent Assoc*. 1994; 125: 1244-54.
- Pretty IA, Sweet D. A look at forensic dentistry. Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *Br Dental*

- J.* 2001; 190: 359-66.
22. Edgar HJ. Prediction of race using characteristics of dental morphology. *J Forensic Sci.* 2005; 50: 1-5.
 23. Sweet D, Hildebrand DP, Phillips D. Identification of a skeleton using DNA from teeth and PAP smear. *J Forensic Sci.* 1999; 44: 630-3.
 24. Williams D, Lewis M, Franzen T, Lissett V, Adams C, Whittaker D, et al. Determination by PCR analysis of DNA extracted from incinerated, deciduous teeth. *Sci Justice.* 2004; 44: 89-94.
 25. Urbani C, Lastrucci RD, Kramer B. The effect of temperature on sex determination using DNA-PCR analysis of dental pulp. *J Forensic Odontostomatol.* 1999; 17: 35-9.
 26. Luntz LL. *Historia de la odontología forense.* En: Miles-Standish M, Stimson PG, Editores. *Clínicas Odontológicas de Norteamérica: odontología forense.* México: Interamericana; 1977. p. 7-17.
 27. Valdéz Y. Odontología legal y forense. En: Herazo B (ed.) *Odontología forense.* Santa Fe de Bogotá: Ecoe Editores; 1995. p. 85-111.
 28. Rodríguez JV Editor. Operación sirirí y palacio de justicia. En: *La antropología forense en la identificación humana.* Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2004.
 29. Ministerio de la Protección Social. *Resolución N° 008430/1993 de octubre 4.* Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. (fecha de acceso octubre 23 de 2006). URL disponible en <http://www.minproteccion-social.gov.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo267711.pdf>
 30. Asociación Médica Mundial. *Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.* Declaración de Helsinki. Finlandia, junio 1964 (fecha acceso enero 6 de 2005). URL disponible en <http://www.wma.net/s/policy/b3.htm>
 31. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. *Materiales odontológicos: Ensayo de la adhesión a la estructura dental.* Bogotá: ICONTEC 4882; 2000.
 32. International Organization of Standardization. *Dental materials: Testing of adhesion to tooth structure.* ISO/TS 11405: 2003.
 33. Moya V, Roldán B, Sánchez JA, Editores. Materiales dentales en la identificación. En: *Odontología legal y forense.* Barcelona: Editorial Masson SA; 1994. p. 269-76.
 34. Bohnert M, Rost T, Pollak S. The degree of destruction of human bodies relation to the duration of the fire. *Forensic Sci Int.* 1998; 95: 11-21.
 35. Brown WS, Dewey WA, Jacobs HR. Thermal properties of teeth. *J Dent Res.* 1970; 49: 752-55.
 36. Powers JM, Hostetler RW, Dennison JB. Thermal expansion of composite resins and sealants. *J Dent Res.* 1979; 58: 584-7.
 37. Eisenmann DR. Estructura del esmalte. En: Ten Cate AR, Editor *Histología oral: desarrollo, estructura y función.* 2ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana SA; 1986. p. 252-73.
 38. Leeson TS, Leeson CR, Paparo AA. *Texto-atlas de histología.* México: McGraw-Hill Interamericana; 1990. p. 402-7.
 39. Espina A, Barrios F, Ortega A, Mavárez M, Espina O, Ferreira J. Cambios estructurales en los tejidos dentales duros por acción del fuego directo, según edad cronológica. *Cien Odontol.* 2004; 1: 38-51.
 40. Torneck CD. El complejo pulpodentinario. En: Ten Cate AR, Editor. *Histología oral: desarrollo, estructura y función.* 2ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana SA; 1986. p. 190-235.
 41. Taylor P, Wilson M, Lyons T. Forensic odontology lessons: multishooting incident at Port Arthur, Tasmania. *Forensic Sci Int.* 2002; 130: 174-82.
 42. Merlati G, Danesino P, Savio C, Fassina G, Osculati A, Menghini P. Observations of dental prostheses and restorations subjected to high temperatures: experimental studies to aid identification processes. *J Forensic Odontostomatol.* 2002; 20: 17-24.
 43. Mjör IM, Sveen OB, Heyeraas. La biología de la pulpa-dentina (I): estructura y fisiología normal. *Quintessenc.* (ed. esp.) 2002; 15: 460-82.
 44. Kerl B, Prost E. Cobre. En: Stohmann F, Editor. *Gran enciclopedia de química industrial.* Tomo X. Barcelona: F. Soix; 1956. p. 67-352.
 45. Mrowec S, Stokosa A. Oxidation of copper at high temperatures. *Oxidation of Metals.* 1971; 3: 291-311.
 46. Kerl B, Forbeck F. Mercurio. En: Stohmann F, Editor. *Gran enciclopedia de química industrial.* Tomo X. Barcelona: F. Soix; 1956. p. 68-155.
 47. Kerl B, Forbeck F. Mercurio. En: Stohmann F, Editor. *Gran enciclopedia de química industrial.* Tomo X. Barcelona: F. Soix; 1956. p. 339-453.