

Evaluación radiográfica de dientes con restauraciones clase I en resina compuesta sometidos a altas temperaturas

Juan Fernando Arango¹
Jaime Gómez¹
Indira Muñoz¹
Edwin Rojas¹
Gustavo Sinisterra²
Sandra Moreno³
Freddy Moreno⁴

Resumen

Objetivo: Describir el comportamiento radiográfico de los tejidos dentales y de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® en dientes con restauraciones clase I sometidos *in vitro* a altas temperaturas. **Resultados:** Estudio observacional descriptivo de naturaleza pseudo-experimental que describió los cambios radiográficos de 75 dientes con restauraciones clase I en resina compuesta (Z100 3M-ESPE®) confeccionados en cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2), al ser sometidos *in vitro* a altas temperaturas con el propósito de establecer parámetros cualitativos repetitivos a partir de los cambios en los tejidos dentales y en los materiales de uso odontológico. **Resultados:** Los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® al ser sometidos a la acción de altas temperaturas tuvieron un comportamiento muy similar a partir de cambios radiográficos compatibles con los cambios macroestructurales. Además, en la medida que aumenta la temperatura, los tejidos dentales se hacen menos radiopacos, razón por la cual la restauración en resina compuesta contrasta de mejor forma. **Conclusión:** Al cotejar las radiografías de dientes con restauraciones clase I en resina compuesta Z100 3M-ESPE® antes y después de ser sometidos a altas temperaturas, es posible identificar características radiolúcidas compatibles con el patrón de fisuras, grietas y fracturas, separación de la unión amelo-dentinaria, estallido coronal y radicular, y desalojo de la restauración de la cavidad. Sin embargo, no existen diferencias significativas en el compartimiento de los cinco colores de resina compuesta Z100 3M-ESPE® al ser analizadas radiográficamente).

Palabras clave: Ciencias forenses, odontología forense, identificación odontológica, radiografía dental, tejidos dentales, materiales de uso odontológico, altas temperaturas.

Radiographic evaluation of teeth with class I restorations in composite subjected to high temperatures

Abstract

Objective: Describe the radiological behavior of dental tissues and Z100 3M-ESPE® composite in teeth with class I restorations subjected *in vitro* at high temperature. **Methods:** Descriptive observational study of pseudo-experimental nature to described radiographic changes of 75 teeth with class I restorations in Z100 3M-ESPE® composite made in five colors (A1, A2, A3, A3.5 and B2), being *in vitro* subjected to high temperatures for the purpose of establish repetitive qualitative parameters from the changes in dental tissues and dental materials. **Results:** The five colors of Z100 3M-ESPE® composite when they went to the action of high temperatures were very similar radiographic changes consistent with the macro-structural changes. Furthermore, as the temperature increases, the dental tissues become less radiopaque why composite resin restoration to better contrast. **Conclusion:** By matching radiographs of teeth with restorations class I in Z100 3M-ESPE® composite before and after being subjected to high temperatures, it is possible to identify radiolucent characteristics consistent with the pattern of fissures, cracks and fractures, separation of dentine-enamel junction, coronal and root pop, and evacuation of the restoration of the cavity. However, no significant differences in the behaviour of the five colors of Z100 3M-ESPE® when analyzed radiographically.

Keywords: Forensic science, forensic dentistry, dental identification, dental radiography, dental tissues, dental materials, high temperature.

Recibido: Septiembre 2019, Aceptado: Marzo 2020, Publicado: Junio 2020

Citación:

Arango JF, Gómez J, Muñoz I, Rojas E, Sinisterra G, Moreno S, et al. Evaluación radiográfica de dientes con restauraciones clase I en resina compuesta sometidos a altas temperaturas. Journal Odont Col. 2020;13(25):8-25

1. Odontólogos, Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia).
2. Odontólogo, Profesor Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia).
3. Odontóloga Magister en Ciencias Biomédicas, Profesora Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia), Profesora de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).
4. Odontólogo Magister en Ciencias Biomédicas, Profesor Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia), Profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia)

Autor responsable de correspondencia: Freddy Moreno

Correo electrónico: fmorenog@javerianacali.edu.co

Introducción

Dentro del contexto de la odontología forense, los cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados presentan diferentes niveles de destrucción de la epidermis y los tejidos subyacentes, lo cual puede imposibilitar el proceso de identificación mediante los métodos convencionales de reconocimiento visual o huellas dactilares (1,2).

Debido a que los tejidos y los biomateriales dentales tienen gran resistencia a las altas temperaturas, los cotejos antemortem-postmortem más frecuentes se hacen a partir de los dientes y de tratamientos odontológicos como restauraciones y obturaciones dentales (3), lo cual puede ser evidenciado en las descripciones sobre el comportamiento de la amalgama dental, de las resinas compuestas y de otros materiales de uso odontológico (4-6). Por lo tanto, si existen registros odontológicos de un individuo fallecido por la acción de altas temperaturas, la información que se obtenga de sus restos quemados, carbonizados o incinerados podrá ser empleada en el proceso de identificación odontológica (7).

Es en este proceso donde las radiografías y el análisis radiográfico se constituyen en una importante fuente de información antemortem y postmortem a partir de la observación y descripción de los diferentes tejidos blandos y mineralizados que constituyen el sistema estomatognático, y los tratamientos odontológicos, incluidas las restauraciones en resina compuesta (8-10).

Las resinas compuestas son biomateriales de uso odontológico empleados en los procedimientos de rehabilitación dental, las cuales se encuentran constituidas por resinas polimerizables (componente orgánico) mezcladas con partículas de relleno (componente inorgánico) y los elementos para unirlos (11). De esta forma, sus componentes generales incluyen: 1. Una matriz de resina de dimetacrilatos hidrofóbicos como Bis-GMA (bisfenol-a-glicidil metacrilato), TEGDMA (triethylenglicol dimetacrilato) y UDMA (dimetacrilato de uretano), y monometacrilatos como IBOMA (isobornil metacrilato) y THFMA (tetrahydrofurfuril metacrilato); 2. Inhibidores de la polimerización como MEHQ (4-metoxifenol); 3. Estabilizadores del color como benzofenonas, benzotriazoles y fenilsalicilato que absorben la luz ultravioleta; 4. Partículas de relleno que proporcionan estabilidad dimensional a la matriz de resina como cuarzo cristalino, sílice pirolítica, silicato de litio y aluminio, silicato de aluminio de bario, silicato de estroncio y aluminio; 5. Opacificadores como bario, estroncio, zinc, circonio e iterbio; 6. Agentes bifuncionales de acoplamiento o de adhesión que unen la matriz de resina a las partículas de relleno como agentes epoxi, vinilo y silanos; 7. Iniciadores de la polimerización como el peróxido de benzoilo activado por calor, las aminas terciarias y las canforoquinonas; y 8. Pigmentos que permiten obtener el color semejante de los dientes como diferentes concentraciones de óxidos orgánicos como fluoruro de bario (12,13)

En el caso específico de este estudio, Z100 3M-ESPE® corresponde a una resina compuesta multipropósito micro híbrida, cuya matriz orgánica se encuentra compuesta de Bis-GMA y TEGDMA, y su componente inorgánico corresponde a partículas de relleno de zirconio tratadas con silano (agente de acoplamiento) de 0,6 micras de tamaño promedio (0,01 a 3,5 micras) (12,13). Este sistema comercial es uno de los de mayor uso y estudio en el contexto clínico mundial debido a sus propiedades biológicas, físicas y estéticas, a su relativo bajo costo, a su fácil manipulación (14,15)

Siendo que el uso de la resina compuesta como material restaurador de cavidades dentales ha aumentado en las últimas décadas respecto a la amalgama dental (16), el estudio de su comportamiento a las altas temperaturas resulta fundamental en los procesos de identificación forense (17). Diferentes estudios han demostrado que conforme aumenta la temperatura las resinas compuestas cambian sus características químicas y físicas (18-21), situación que puede ser útil para los peritos forenses ya que les proporciona información que puede contribuir a la identificación de una obturación quemada, carbonizada o incinerada, y asociarla a determinado rango de temperatura, lo que eventualmente podría contribuir con el proceso de identificación odontológica forense y la documentación de la necropsia médico-legal para el caso de cadáveres y restos humanos que hayan estado expuestos a la acción de las altas temperaturas. De esta forma y en contraste al examen visual de las estructuras *in situ* o a través de fotografías, las radiografías dentales amplían el análisis en dos niveles de complejidad anatómica, el primero implica la posibilidad de observar la configuración de la cámara y los conductos pulpares y el segundo la posibilidad de ampliar el número de características positivas a partir de la configuración (forma y ubicación) de las cavidades y de las restauraciones dentales de resina compuesta (22-24).

Es por ello que el objetivo de este estudio fue describir el comportamiento radiográfico de los tejidos dentales y de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® en dientes con restauraciones clase I sometidos *in vitro* a altas temperaturas.

Metodología

Tipo de estudio

Estudio descriptivo pseudo-experimental de corte transversal sobre el comportamiento radiográfico de 75 molares con restauraciones oclusales clase I en resina compuesta Z100 3M-ESPE® confeccionados en cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2), al ser sometidos *in vitro* a la acción de altas temperaturas (200°C, 400°C, 600°C, 800°C y 1000°C).

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 la Resolución 8430 del Ministerio de Protección Social (25) y a la Declaración de Helsinki (26); con 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 cirugía oral de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle que cumplieran con los criterios de inclusión (dientes molares sanos extraídos por motivos periodontales u ortodónticos).

Conservación de la muestra

Una vez extraídos los dientes se procedió a lavarlos profusamente con agua corriente de la llave para eliminar los restos de sangre y tejidos, y posteriormente se introdujeron en un recipiente oscuro de tapa hermética (que impida la exposición a la luz) que contiene la solución fijadora Cloramina T al 5% (Tosilcloramida sódica, 100 gr mezclados en 2 lts de agua destilada según las indicaciones del fabricante). Desde el momento de la extracción hasta la inclusión en la Cloramina T, no transcurrió un tiempo mayor a 10 minutos. Los dientes permanecieron en la Cloramina T por una semana de acuerdo a lo estipulado en la Norma ISO/DIS 11405:200327 y posteriormente se colocaron en recipientes plásticos opacos con solución salina a temperatura ambiente y humedad relativa.

Obturación de los dientes

A los 75 dientes que conforman la muestra se les realizó una cavidad y una restauración clase I con resina compuesta Z100 3M-ESPE® con base en ionomero de vidrio (Vitrebond 3M-ESPE®) a una profundidad de 3 mm, diámetro mesio-distal de 3 mm y diámetro vestíbulo-lingual de 2 mm de acuerdo con la Norma ICONTEC 4882/2002.28

Una vez confeccionada la 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. Posteriormente a las cavidades 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, los cuales 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. Los dientes restaurados se mantuvieron en solución salina.

Manejo y clasificación de la muestra

Antes de la aplicación de las altas temperaturas, a cada uno de los dientes restaurados se les tomó una fotografía con una cámara digital Nikon D3100® a 2X con una distancia focal de 6 centímetros y posteriormente se les tomó una radiografía periapical en la Unidad de Radiología Oral y Maxilofacial de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle con un equipo odontológico de rayos X Gx770 Gendex® a 0,8. Se tuvo en cuenta el posicionamiento vertical de la película radiográfica respecto al eje longitudinal de los dientes, la orientación espacial de la superficie vestibular de los dientes hacia el cono del equipo, la colocación de los dientes sobre el lado blanco de la película radiográfica con el punto de identificación orientado hacia oclusal, y la ubicación estándar del cono del equipo a 10 cm. Se empleó el sistema de películas radiográficas periapicales fosforadas marca DENTUS E Speed AGFA®, las cuales fueron reveladas en el procesador automático de radiografías Gendex GXP®. Los dientes restaurados fueron clasificados por conveniencia de acuerdo al tipo de color de la resina compuesta (A1, A2, A3, A3.5 y B2) y al rango de temperatura al que fueron sometidos (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de los dientes obturados con resina compuesta Z100 3M-ESPE®

Temperatura	Color				
	A1	A2	A3	A3.5	B2
200°C	3	3	3	3	3
400°C	3	3	3	3	3
600°C	3	3	3	3	3
800°C	3	3	3	3	3
1000°C	3	3	3	3	3

Aplicación de temperatura

Este procedimiento se realizó con base al protocolo técnico y científico establecido en el Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavia (Italia) y con base en los estudios realizados en la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia) (18,20).

El modelo *in vitro* planteado en este estudio se realiza en un horno y no en flama directa, teniendo en cuenta que en los diferentes reportes de la literatura la temperatura máxima alcanzada es de 1000°C, pico que se alcanza entre los 25 y 30 minutos, para luego mantenerse aproximadamente entre los 500°C hasta que se consume todo el oxígeno o todo el material orgánico es reducido a carbón (carbonización) o a compuestos de calcio, fosfatos, sílice u otros oligoelementos (incineración). Además, este “efecto de mufla”, *in situ*, es lo que comparativamente harían los tejidos periorales, la musculatura facial, el tejido óseo y los tejidos dentales y periodontales (2).

Los dientes restaurados, correspondientes a cada rango de temperatura, se colocaron en bandejas individuales de revestimiento refractario (Cera-Fina® Whipmix®) para facilitar

su manipulación y se sometieron al calor directo dentro de un horno tipo mufla (Thomas Benchtop Thermolyne®) previamente calibrado a cinco diferentes rangos de temperatura (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C) con una tasa de ascenso de 10°C por minuto desde una temperatura inicial de 28°C hasta alcanzar cada una de las temperaturas propuestas. Por ejemplo, se introdujeron los tres dientes en el rango de temperatura de 28°C (temperatura ambiente) a 200°C, se dejó enfriar el horno de nuevo a temperatura ambiente y se procedió a sacar las bandejas con los dientes. Luego se introdujeron los tres dientes en el rango de temperatura de 28°C a 400°C, se dejó enfriar el horno de nuevo a temperatura ambiente y se procedió a sacar las bandejas con los dientes. Este proceso se repitió sucesivamente para los rangos de temperatura de 600°C, 800°C y 1000°C respectivamente. Finalizada esta fase, a los dientes se les tomó una radiografía periapical con el protocolo descrito antes de ser sometidos a altas temperaturas.

Análisis estadístico

Los datos de la descripción radiográfica se incluyeron en una plantilla en Excel® y se procesaron en el Software IBM SPSS Statistics 21® a través de análisis de frecuencias. Los criterios tenidos en cuenta para el análisis radiográfico fueron aparición de fisuras, grietas, fracturas en los tejidos dentales y en el material restaurador, además de la separación de la unión amelo-dentinaria (UAD), el estallido coronal y el desalojo de la restauración. De igual forma se hizo análisis multivariado de las restauraciones respecto al color y a la temperatura.

Resultados

Los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® (A1, A2, A3, A3.5 y B2), al ser sometidos a la acción de altas temperaturas (200°C, 400°C, 600°C, 800°C y 1000°C) tuvieron un comportamiento muy similar, de tal forma que se pudieron observar cambios radiográficos compatibles con fisuras, grietas y fracturas conforme aumentaba la temperatura en los tejidos dentales y en la resina compuesta. (Figuras 1-5)

Se analizó la distribución (%) de estas características en el esmalte, la dentina y el cemento, encontrando que a los 200°C se aprecian pequeñas zonas radiolúcidas compatibles con fisuras superficiales en el esmalte y la dentina de la región cervical de los dientes; que a los 400°C aparecen líneas radiolúcidas que recorren el espesor del esmalte desde la superficie compatibles con fisuras y grietas, mucho más evidentes en la región cervical de los dientes; que a los 600°C observan líneas y bandas radiolúcidas compatibles con fisuras y grietas que corren desde la superficie del esmalte y el cemento hacia la dentina y desde la cámara pulpar hacia la dentina, que a su vez le dan un aspecto fragmentado a los dientes y que separan el esmalte de la dentina y la restauración de su cavidad; que a los 800°C se observan bandas radiolúcidas gruesas compatibles con fracturas coronales y radiculares que a su vez permiten evidenciar la separación del esmalte y la dentina y la restauración de su cavidad; y final-

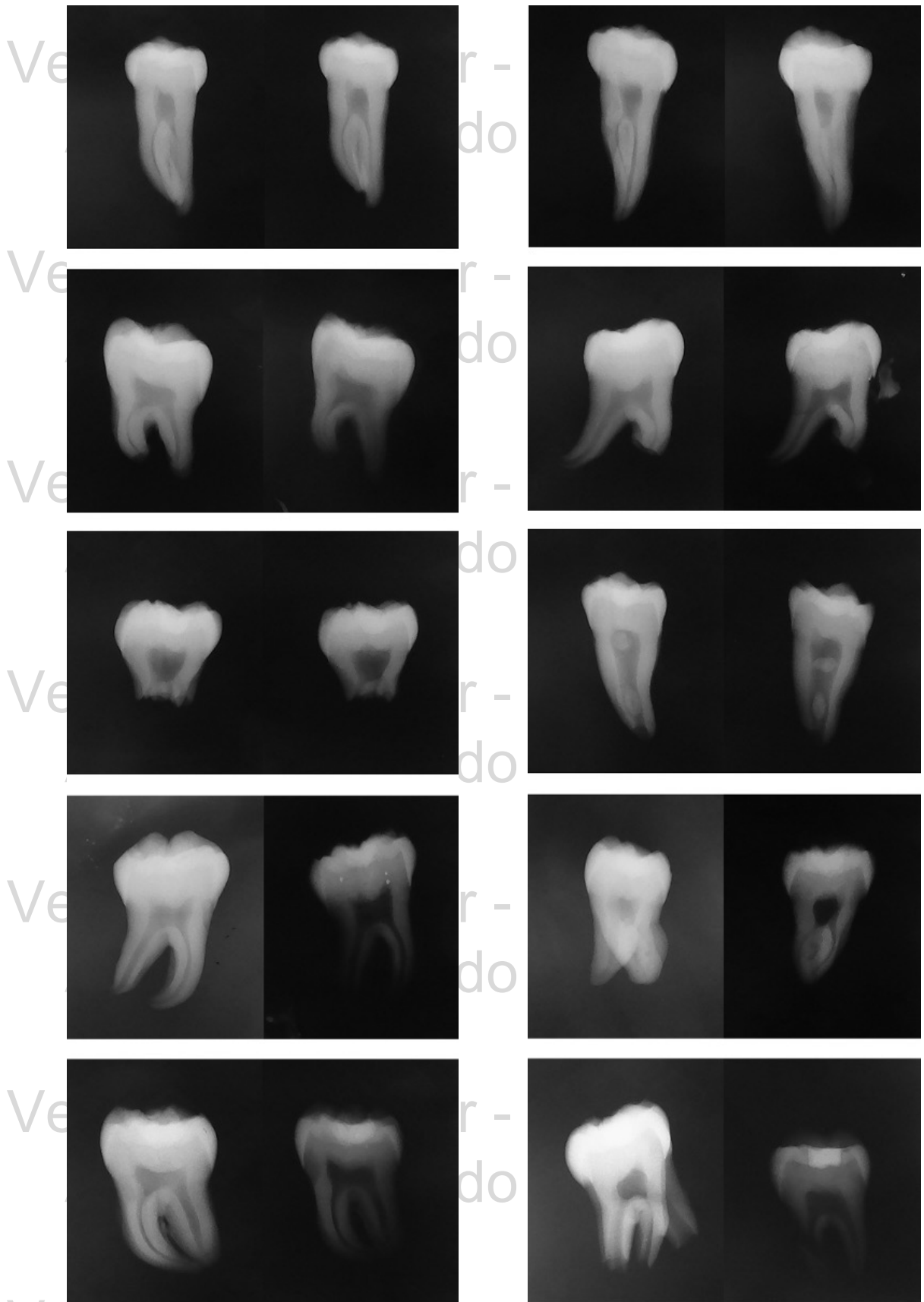


Figura 1. Radiografías antes y después de ser sometidos a 200°C.

Figura 2. Radiografías antes y después de ser sometidos a 400°C.

Versión preliminar - Artículo in press

Artículo aceptado - en revisión

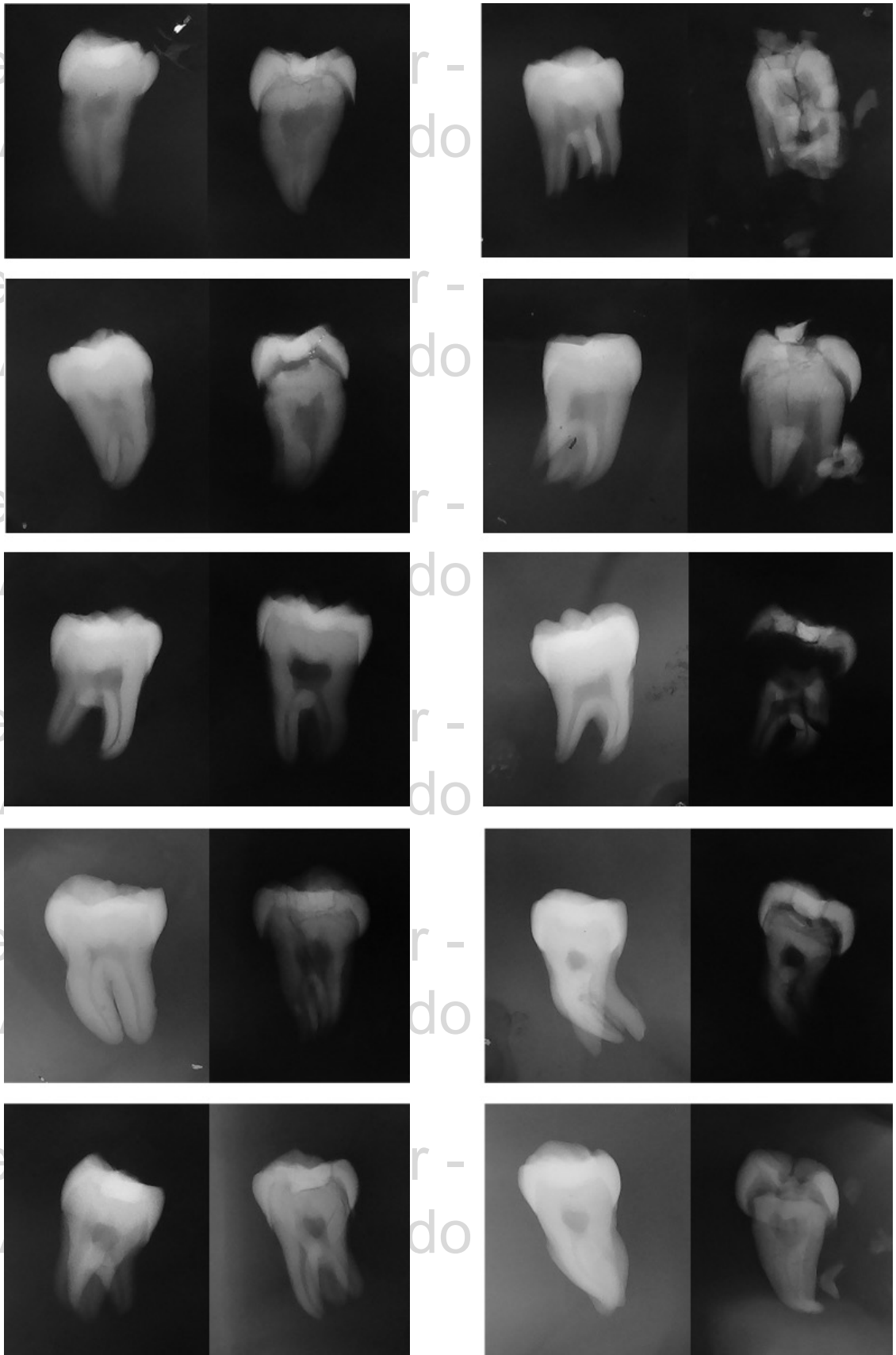


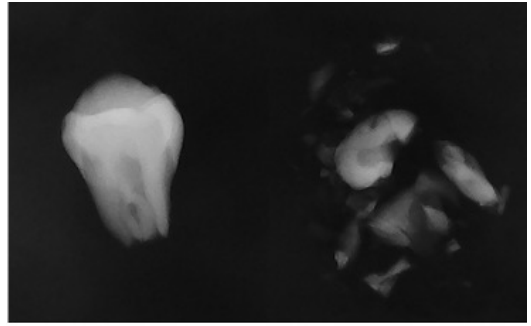
Figura 3. Radiografías antes y después de ser sometidos a 600°C.

Figura 4. Radiografías antes y después de ser sometidos a 800°C.

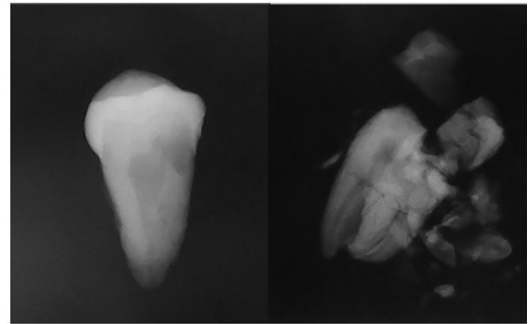
Versión preliminar - Artículo in press

Artículo aceptado - en revisión

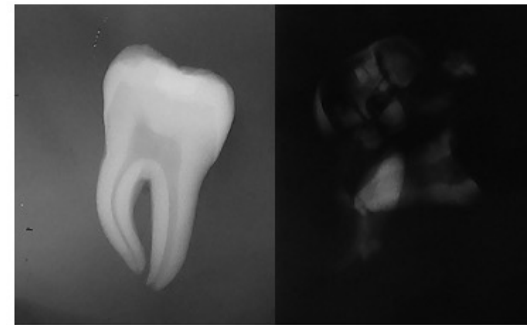
Versión preliminar -
Artículo aceptado



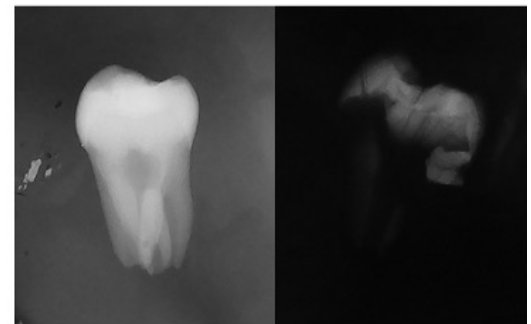
Versión preliminar -
Artículo aceptado



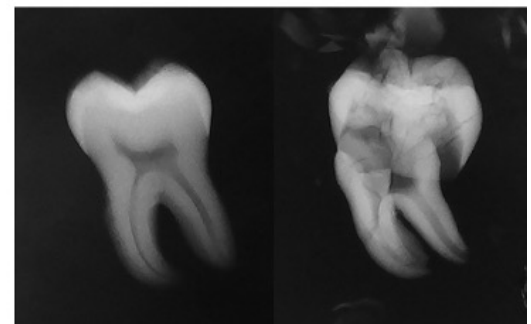
Versión preliminar -
Artículo aceptado



Versión preliminar -
Artículo aceptado



Versión preliminar -
Artículo aceptado



Versión preliminar - Artículo in press
Artículo aceptado - en revisión

Figura 5. Radiografías antes y después de ser sometidos a 1000°C.

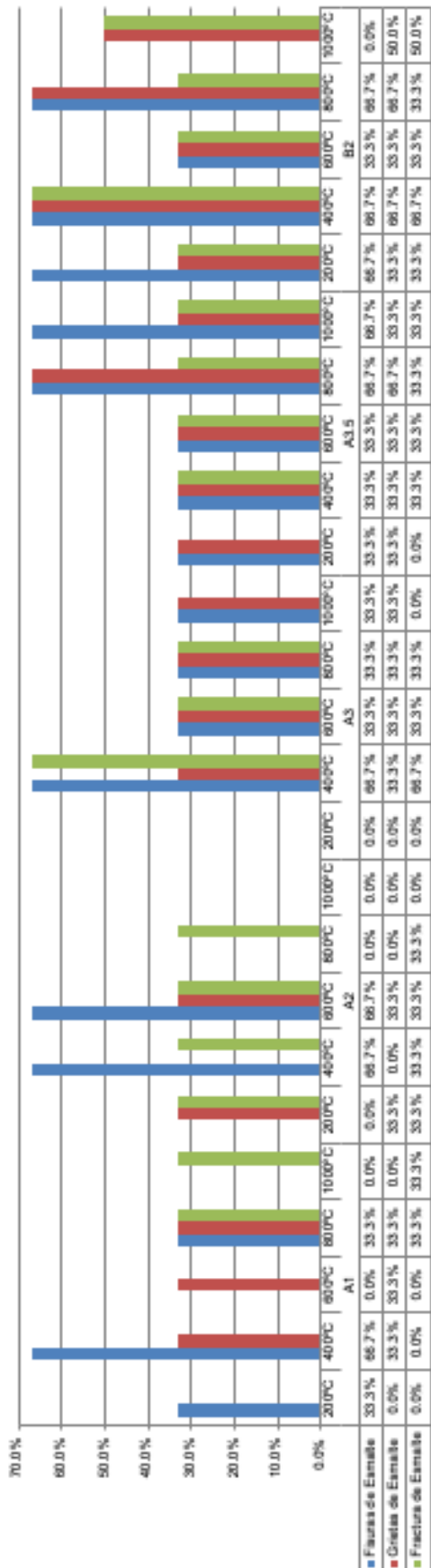


Figura 6. Distribución (%) de los cambios radiográficos compatibles con fisuras, grietas y fracturas del esmalte.

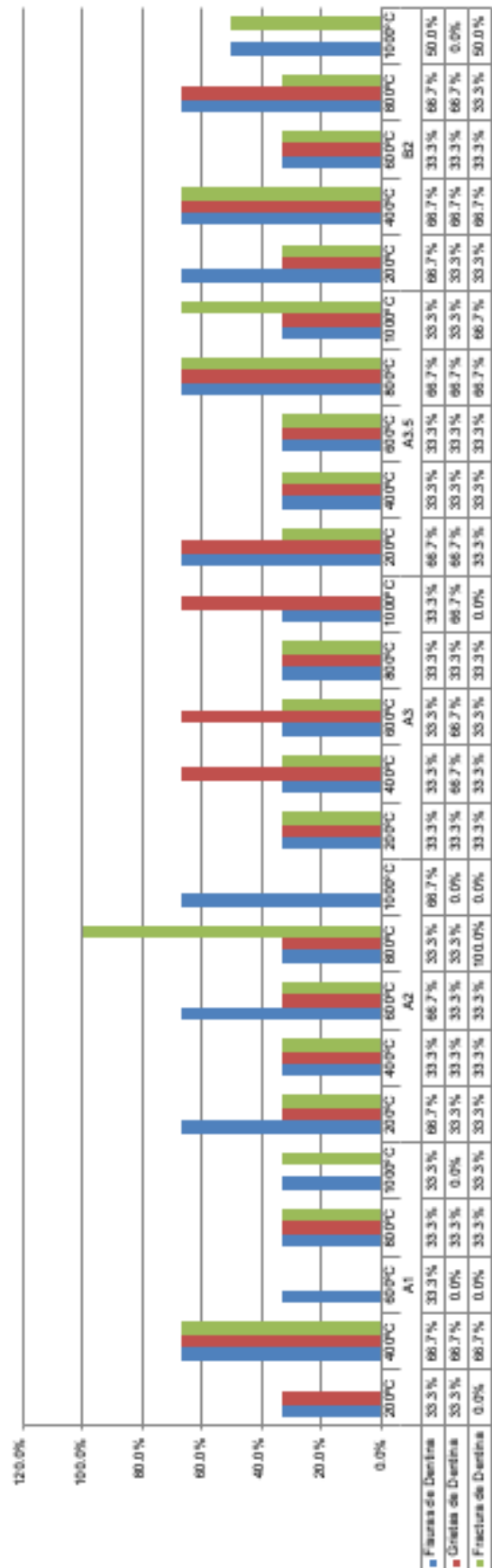


Figura 7. Distribución (%) de los cambios radiográficos compatibles con fisuras, grietas y fracturas de la dentina.

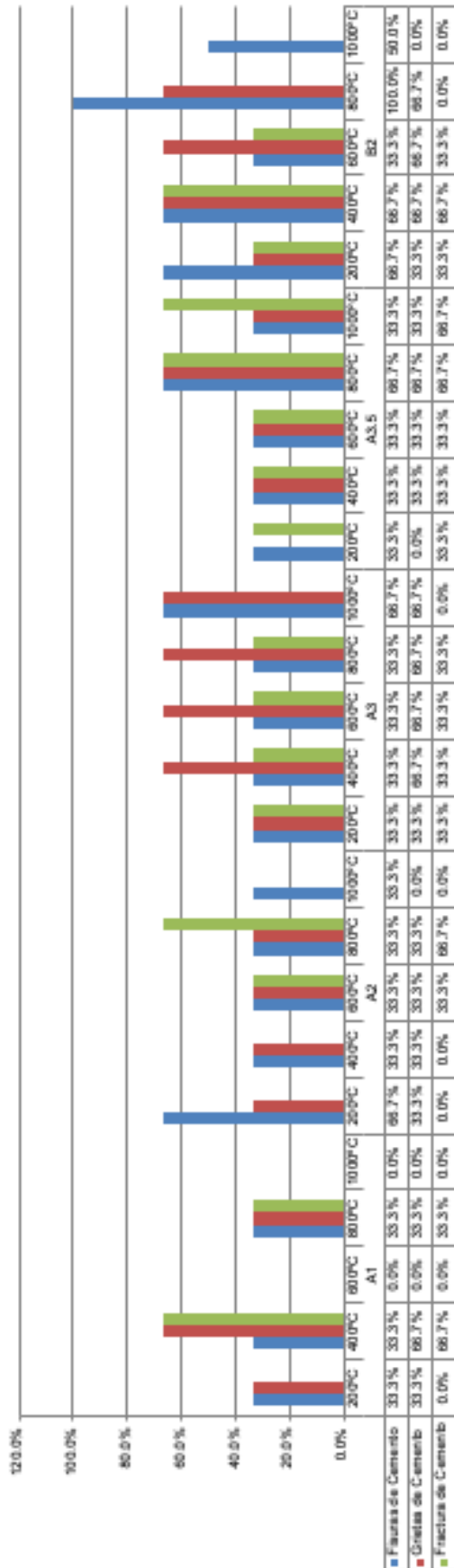


Figura 8. Distribución (%) de los cambios radiográficos compatibles con fisuras, grietas y fracturas del cemento

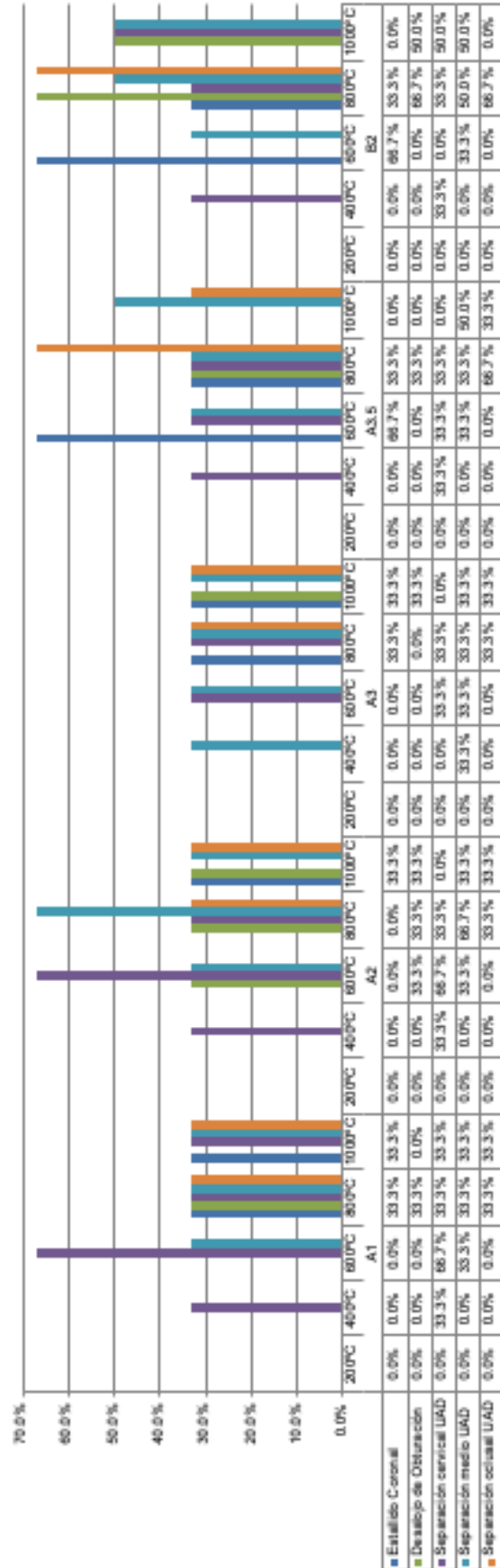


Figura 9. Distribución (%) de los cambios radiográficos compatibles con separación de la UAD, estallido coronal y desalajo de la restauración de la cavidad.

mente que a los 1000°C se observan bandas radiolúcidas en todos los tejidos dentales y en la restauración compatibles con fisuras, grietas y fragmentación, lo que permite evidenciar una pérdida de continuidad por estallido coronal y radicular y desalojo de la restauración de la cavidad. (Figuras 6-8)

Al comparar todos estos cambios a través de la prueba estadística de chi-cuadrado de Pearson no se encontraron diferencias estadísticas entre los cinco colores de la resina compuesta en las diferentes temperaturas. Una $p < 0.05$ fue considerada estadísticamente significativa. (Tabla 2)

Tabla 2. Comparación del comportamiento radiográfico de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® a las altas temperaturas por color*

Característica	Color				
	A1	A2	A3	A3.5	B2
Fisuras de Resina	0,421	0,085	0,484	0,021	0,413
Grietas de Resina	0,369	0,484	0,645	0,645	0,539
Fractura de Resina	0,369	0,369	0,369	0,369	0,539
Desalojo de Obturación	0,484	1	0,645	0,311	0,856

* Pruebas de chi-cuadrado de Pearson. $p < 0,05$

Asimismo, se analizó la distribución (%) de la separación de la UAD, siendo evidente a los 200°C en la línea cervical de la corona anatómica, a los 400°C en el tercio cervical, a los 600°C en los tercios cervical y medio, a los 800°C en los tercios cervical, medio y oclusal y a los 1000°C separación absoluta del esmalte de la dentina por fragmentación. Respecto al estallido coronal y desalojo de la restauración de la cavidad, estos fueron más evidentes a los 1000°C. (Figura 9)

Otro hallazgo importante fue que en la medida que aumenta la temperatura, los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento) se hacen menos radiopacos (más radiolúcidos), razón por la cual la restauración en resina compuesta contrasta de mejor forma

Discusión

En la literatura especializada se ha discutido la importancia que tienen las radiografías intra y extraorales dentro del proceso de identificación odontológica forense –incluidos los casos de cadáveres y restos humanos quemados, carbonizados e incinerados– a partir de las propiedades de radiolucidez y radiopacidad de los tejidos dentales y de los materiales de uso odontológico (8,10). Son estas mismas propiedades las que han permitido describir los cambios macro estructurales que ocurren en los dientes restaurados sometidos a altas temperaturas, lo cual se constituyen en una herramienta fundamental durante el cotejo antemortem-postmortem soportado en el análisis radiográfico (3). Dentro de las principales características radiográficas que se pueden describir se encuentran el patrón de fisuras y grietas, las fracturas, la relación de las restauraciones y la cavidad conformada por los tejidos dentales y la separación de la UAD (7).

Fisuras, grietas y fracturas

Desde los 200°C en el esmalte y el cemento se conforma un patrón de fisuras y grietas que les confiere un aspecto cuarteado o craquelado que da origen a fracturas que se continúan con la dentina y desaparecen con la fragmentación de la corona y de la raíz a los 1000°C.^{19,20}

Conforme aumenta la temperatura, la composición química de los tejidos dentales y de la resina compuesta comienza a alterarse y deshidratarse, lo que altera la estabilidad estructural de las matrices orgánicas e inorgánicas ocasionando contracción y finalmente fisuras, grietas y fracturas. Este comportamiento se ha estudiado en una serie de estudios *in vitro* que han demostrado que el esmalte, la dentina, el cemento y la resina compuesta tienen gran resistencia a la acción de las altas temperaturas –debido a factores intrínsecos como el coeficiente térmico de expansión y el punto de fusión– y presentan cambios específicos en cada rango de temperatura a los que fueron sometidos. Sin embargo, *in vivo*, esta resistencia puede variar debido a factores extrínsecos como el tiempo de exposición, el ataque térmico, la naturaleza de la causa del fuego, la participación de sustancias combustibles, la curva de elevación de la temperatura y las sustancias empleadas para extinguir el fuego (1).

Savio et al²⁴ sometieron a altas temperaturas dientes humanos –sin y con restauraciones– para describir los cambios de forma en radiografías periapicales convencionales a partir de las relaciones entre radiopacidad y radiolucidez. Encontraron que los tejidos dentales a los 200°C no presentaron cambios radiográficos significativos; mientras que a los 400°C observaron una serie de líneas radiolúcidas en la dentina coronal compatibles con fisuras y fracturas, a los 600°C observaron una red de líneas radiolúcidas compatibles con un patrón reticular de fisuras y la separación del esmalte fragmentado de la dentina a través de una amplia banda radiolúcida entre ambos tejidos, compatible con la UAD, a los 800°C observaron la corona de los dientes fragmentada y a los 1000°C observaron los dientes totalmente fragmentados. Estas descripciones les permitieron a los autores concluir que el patrón de fisuras y fracturas progresa en la medida que aumenta la temperatura, lo cual coincide con los resultados de este estudio; no obstante, se pudo evidenciar que la separación de la UAD ocurre desde los 200°C en el tercio cervical con la contracción del esmalte. Este hallazgo fue corroborado con el análisis secuencial de cortes tomográficos en un modelo animal de cerdo doméstico.³⁰

Restauración en resina compuesta

Para el caso de dientes cavitados y restaurados con resina compuesta –como es el caso de este estudio– macroscópicamente se ha descrito que conforme aumenta la temperatura las restauraciones se desadaptan gradualmente hasta desalojarse de la cavidad.^{7,19,20} Radiográficamente, Savio et al²⁴ describieron que las restauraciones en resina compuesta se observan más radiopacas en contraste con el esmalte y la dentina, lo que permite contrastar

de mejor forma las zonas radiolúcidas compatibles con la desadaptación de la restauración dentro de la cavidad. Esto se debe a la contracción de los tejidos dentales y de la misma restauración. En el caso de esta última, al aumentar la temperatura la matriz orgánica de la resina compuesta sufre combustión, lo que ocasiona que los monómeros de las resinas compuestas (Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA y UDMA) empiezan a volatilizarse hasta alcanzar su punto de fusión a los 200°C (31,32). lo que cambia la organización de las partículas de relleno de zirconio ocasionando la pérdida de adherencia a las paredes de la cavidad. Esta alteración de los componentes de la matriz orgánica y de la matriz inorgánica ha sido explicada en estudios *in vitro* en cuerpos de prueba de resinas compuestas (33,34). En este estudio, las restauraciones se observaron desadaptadas desde los 400°C, pero dentro de su cavidad hasta los 800°C, para finalmente ser desalojadas a los 1000°C debido a la fragmentación de la corona de los dientes.

Separación de la UAD, estallido coronal y desalojo de la obturación
 Uno de los cambios que mejor se ha descrito en los modelos *in vitro* de dientes humanos sometidos a altas temperaturas es la separación espontánea entre el esmalte y la dentina a nivel de la UAD (19,20). Radiográficamente, en este estudio se pudo describir que la separación del esmalte y la dentina inicia a los 200°C en el tercio cervical, lugar en donde el esmalte es más delgado y va progresando gradualmente al tercio medio y al tercio oclusal a los 600°C, lo que finalmente ocasiona que el esmalte se separe a manera de un casquete de la dentina coronal a los 800°C y se fragmente a los 1000°C. Todos estos cambios se describen a través de la aparición de una banda radiolúcida que aumenta su grosor conforme aumenta la temperatura, lo cual coincide con las descripciones de estudios radiográficos en modelos *in vitro* de dientes humanos^{7,36} y de cerdo,³⁷ y que ha sido explicado por la inestabilidad dimensional (38), por la deshidratación de los tejidos dentales (21), por la alteración de la morfología de la UAD (39), por los cambios en la composición histológica de la interfase esmalte-dentina (40), por la alteración del patrón reticular del colágeno (41), y por la pérdida de cohesión de los cristales de hidroxiapatita (contracción térmica)(42). Todos estos cambios han podido predecir el comportamiento de la UAD en los dientes humanos y estimar el grado de temperatura al que estuvieron sometidos, lo que podría ser de gran utilidad en los procesos de identificación odontológica y documentación de la necropsia médico-legal en el caso de cadáveres quemados, carbonizados o incinerados (29).

Radiopacidad

De acuerdo con la Asociación Dental Americana la radiopacidad es uno de los cinco requisitos básicos que cualquier biomaterial restaurador debe cumplir (43). Para el caso de las resinas compuestas, la radiopacidad es una de las propiedades que permite estudiar el comportamiento clínico de las restauraciones alojadas en la cavidad como el ajuste de los contornos y la adaptación marginal a través del contraste entre una menor radiopacidad del esmalte y la dentina y una mayor radiopacidad de las resinas compuestas, la cual se debe a la

combinación de monómeros de la matriz orgánica con partículas de vidrio y cerámica de la matriz inorgánica que contienen óxidos de metales pesados, principalmente de aluminio, bario, estroncio, iterbio y circonio (44,45). Esta característica ha sido de gran utilidad en el contexto clínico, ya que son una ayuda en el diagnóstico, tratamiento y pronóstico durante los tratamientos odontológicos, por lo que las radiografías dentales hacen parte de la historia clínica odontológica de la mayoría de las personas. Ya en el contexto forense se han convertido en una fuente de información antemortem durante los procesos de identificación odontológica de seres humanos basado en la hipótesis que cualquier característica morfológica de los dientes cuenta con un alto potencial discriminatorio de acuerdo con su frecuencia de aparición (46). De esta forma un diente restaurado por si mismo puede brindar cierto número de características discriminatorias durante el cotejo antemortem-post-mortem; si ese diente cuenta con una restauración en resina compuesta clase I aumentaría considerablemente el número de características; y si se cuenta con una radiografía se podrá obtener un número mucho mayor de características, lo que aumentaría la posibilidad de lograr una mayor coincidencia y por ende una identificación positiva (47-49)

Si bien diferentes estudios han demostrado el gran potencial discriminatorio del uso de las radiografías en los procesos de identificación forense (8,10,17), en el caso de cadáveres y restos humanos quemados, carbonizados e incinerados solo se han realizado reportes de casos (3,50) y una serie de estudios *in vitro* (7,24,36,37) –incluida esta investigación– que han descrito que con la pérdida de radiopacidad del esmalte y la dentina, las restauraciones en resina compuesta pueden identificarse de mejor forma, al aumentar su radiopacidad, en radiografías posteriores a la exposición de las altas temperaturas.

CONCLUSIONES

Los dientes con restauraciones clase I en resina compuesta Z100 3M-ESPE® al ser sometidos *in vitro* a altas temperaturas presentan cambios graduales en la medida que la temperatura aumenta de 200°C a 1000°C.

Al cotejar las radiografías de dientes con restauraciones clase I en resina compuesta Z100 3M-ESPE® antes y después de ser sometidos a altas temperaturas, es posible identificar características radiolúcidas compatibles con el patrón de fisuras, grietas y fracturas, separación de la UAD, estallido coronal y radicular, y desalojo de la restauración de la cavidad.

Conforme aumenta la temperatura, los tejidos dentales pierden radiopacidad, lo que permite contrastar la resina compuesta Z100 3M-ESPE® cuando la restauración queda alojada en su cavidad.

No existen diferencias significativas en el compartimiento de los cinco colores de resina compuesta Z100 3M-ESPE® al ser analizadas radiográficamente, de tal forma que las con-

centraciones de óxidos orgánicos como fluoruro de bario empleados como pigmentos de las resinas no afectan su comportamiento a las altas temperaturas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio Docente de Obtención y Análisis de Imágenes de la Universidad del Valle por la asesoría prestada durante el análisis de la muestra.

Referencias

1. Norrlander AL. Burned and incinerated remains. En: Bowers CM, Bell GL Editors. Manual of forensic Odontology. Third ed. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology; 1997.
2. Delattre VF. Burned beyond recognition: Systematic approach to the dental identification of charred human remains. J. Forensic Sci. 2000; 45(3):589-96.
3. Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica de individuos quemados, reporte de dos casos. Rev Estomat 2004; 12: 57-70.
4. 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.
5. Merlati G, Savio C, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Further study of restored and un-restored teeth subjected to high temperatures. J Forensic Odontostomatol 2004; 22:34-39.
6. Moreno S, León M, Marín L, Moreno F. Comportamiento *in vitro* de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses. Colomb Med 2008; 39: 28-46.
7. Aramburo J, Garzón H, Rivera JC, Moreno F. Descripción radiográfica de postes de titanio y de fibra de vidrio, cementados en premolares humanos sometidos *in vitro* a altas temperaturas con fines forenses. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 26(2): 314-35.
8. McKenna CJ. Radiography in forensic dental identification-a review. J Forensic Odontostomatol. 1999; 17 (2): 47-53.
9. Gruber J, Kameyama MM. O papel da Radiologia em Odontologia Legal. Pesqui Odontol Bras 2001; 15(3):263-8.
10. Thimmarasa VB, Parvathi D, Jayadev S, Vishal M, Manas G. Role of dentomaxillofacial radiography in forensic odontology: a review. Journal of Oral Sign. 2012; 2 (1): 24-8.
11. Rodríguez G, Douglas R, Pereira S, Natalie A. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Acta Odontol Venez. 2008; 46(3):381-92.
12. Craig RG. Materiales de odontología Restauradora. Tenth edition. Ed. Harcourt Brace: Madrid; 1998.
13. Anusavice K. Phillips Ciencia de los Materiales Dentales. Undécima edición. Elsevier: Madrid; 2004.
14. Byeong-Hoon C, Yong-Keun L. A shade guide model based on the color distribution of natural teeth. Col Res Appl. 2007; 32(4):278-283.
15. Dental Advisor Biomaterials Research Center. Current Trends in Resin Composites. The Dental Advisor. 2011; 28(7):1-18.
16. Shenoy A. Is it the end of the road for dental amalgam? A critical review. J Conserv Dent. 2008; 11(3):99-107.
17. Hemasathya BA, Balagopal S. A study of composite restorations as a tool in forensic identification. J Forensic Dent Sci. 2013; 5(1):35-41.
18. 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(2):17-24.
19. Merlati G, Savio C, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Further Study of restored and unrestored teeth subjected to high temperatures. J Forensic Odontostomatology. 2004; 22(2):17-24.
20. Moreno S, León M, Marín L, Moreno F. Comportamiento *in vitro* de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses. Colomb Med. 2008; 39 Supl 1:28-46.
21. Moreno S, Merlati G, Marín L, Savio C, Moreno F. Effects of high temperatures on different dental restorative systems: Experimental study to aid identification processes. J Forensic Dent Sci. 2009; 1(1):17-23.
22. Fischman SL. The use of medical and dental radiographs in identification. Int Dent J. 1985; 35:301-6.
23. Jablonsk NG, Shum BSF. Identification of unknown human remains by comparison of antemortem and postmortem radiographs. Forensic Sci Int. 1989; 221-30.
24. Savio C, Merlati G, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Radiographic evaluation of teeth subjected to high temperatures: experimental study to aid identification processes. Forensic Sci Int 2006; 158: 108-16.

25. Ministerio de Salud. Resolución por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Resolución 008430/1993 de 4 de octubre (accedida en mayo de 2015). Disponible en: http://www.urosario.edu.co/urosario_files/a2/a24fb07a-f561-4fcc-b611-af4374bb7.pdf
26. Asociación Médica Mundial. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos, Declaración de Helsinki. Finlandia, junio 1964 (accedida en mayo de 2015). Disponible en: http://www.urosario.edu.co/EMCS/Documentos/investigacion/declaracion_helsinki/
27. International Organization of Standardization. Dental materials: Testing of adhesion to tooth structure. ISO/TS 11405: 2003.
28. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Materiales odontológicos: Ensayo de la adhesión a la estructura dental. Bogotá: ICONTEC 4882; 2000.
29. Mejía C, Herrera A, Sánchez AI, Moreno S, Moreno F. Behavior *in vitro* of the dentin-enamel junction in human premolars submitted to high temperatures: Prediction of the maximum temperature based on logistic regression analysis. J Forensic Odontostomatol. 2016; 34(1):10-8.
30. Medina S, Correa N, Cuellar E, Henao S, Gutiérrez JE, López C et al. Análisis mediante tomografía cone beam de los tejidos dentales y periodontales de cerdo (*sus domesticus*) sometidos a altas temperaturas. RCIO 2013; 4(11):83-93.
31. Bagis YH, Rueggeberg FA. Mass loss in urethane/TEGDMA- and Bis-GMA/TEGDMA-based resin composites during post-cure heating. Dent Mater. 1997; 13(6):377-80.
32. Brandao R, Martin CCS, Catirse ABCEB, Silva M de C, Evison MP, Guimaraes MA. Heat induced changes to dental resin composites: a reference in forensic investigations? J Forensic Sci. 2007; 52(4):913-9.
33. Abadía S, Arango JF, Castro MA, Jiménez M, Sinisterra G, Sepúlveda W, Moreno F. Comportamiento del color de discos y restauraciones en resina compuesta sometidos a altas temperatura con fines forenses. Cuad Med Forense 2015; 21(3-4):117-26.
34. Arcos C, Díaz J-D, Canencio K, Rodríguez D, Viveros C, Vega J et al. Descripción de los cambios macroscópicos de discos de resina compuesta sometidos a altas temperaturas con fines forenses. Rev Fac Odontol Univ Antioq. 2016 (en publicación).
35. Röttscher K, Grundmann C, Benthous S. The effects of high temperatures on human teeth and dentures. Int Poster J Dent Oral Med 2004; 6: Poster 213.
36. Vasquez L, Rodríguez P, Moreno F. *In vitro* behavior of dental tissues and some dental materials of endodontics use, submitted to high temperatures with forensic applications. Revista Odontológica Mexicana. 2012; 16(3):171-81.
37. Parra V, Correa N, Medina S, Cuellar E, Herrera A, Moreno F. Análisis mediante radiografía convencional de los tejidos dentales y periodontales de cerdo (*Sus domesticus*) sometidos a altas temperaturas. Revista Odontológica Mexicana 2015; 19(2):89-95.
38. 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.
39. Radlanski RJ, Renz H. Insular dentin formation pattern in human odontogenesis in relation to the scalloped dentin-enamel junction. Ann Anat. 2007; 189:243-50.
40. Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW, Balooch M. The functional width of the dentino-enamel junction determined by afm-based nanoscratching. J Struct Biol. 2001; 135:294-301.
41. Medina S, Mejía C, Moreno F. Comportamiento *in vitro* del colágeno de la unión amelo-dentinaria en premolares humanos sometidos a altas temperaturas. Saltem Scientia Spiritus. 2015; 1(2):9-18.
42. Medina S, Salazar L, Mejía C, Moreno F. *In vitro* behavior of the dentin and enamel calcium hydroxyapatite in human premolars subjected to high temperatures. DYNA. 2016; 83(195):34-41.
43. American Dental Association. Obstacles to the development of a standard for posterior composite resins. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. J Am Dent Assoc. 1989; 118:649-51.
44. Taira M, Toyooka H, Miyawaki H, Yamaki M. Studies on radiopaque composites containing ZrO₂-SiO₂ fillers prepared by the sol-gel process. Dent Mater. 1993; 9(3):167-71.
45. Oikarinen KS, Nieminen TM, Makarainen H, Pyhtinen J. Visibility of foreign bodies in soft tissue in plain radiographs, computed tomography magnetic resonance imaging, and ultrasound. Int J Oral Maxillofac Surg. 1993; 22(2):119-24.
46. Keiser-Nielsen S. Dental identification: Certainty V probability. Forensic Sci. 1977; 9:87-97.
47. Borrmann H, Gröndahl HG. Accuracy in establishing identity by means of intraoral radiographs. J Forensic Odontostomatol. 1990; 8:31-6.
48. de Villiers CJ, Phillips VM. Person identification by means of a single unique dental feature. J Forensic Odontostomatol. 1998; 16:17-9.
49. Zondag H, Phillips VM. The discrimination potential of radio-opaque composite restorations for identification: Part 3. J Forensic Odontostomatol. 2009; 27:27-32.
50. López J, Arimany J, Prieto L, Fontaret J, Martínez M. Importancia de la endodoncia en la identificación de cadáveres

carbonizados. A propósito de un caso. En: Departamento de Justicia de Cataluña (editores). Tercera Jornada Catalana de Actualización en Medicina Forense. Barcelona: Departamento de Justicia de Cataluña; 1995. p. 215-24.

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión

Versión preliminar - Article in press
Artículo aceptado - en revisión