

Comportamiento del color de discos y restauraciones en resina compuesta sometidos a altas temperatura con fines forenses

Performance of color of discs and restorations in composite resin subject to high temperatures to forensic purposes

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento del color de discos y restauraciones en resina compuesta sometidos a altas temperaturas con fines forenses. Para ello se realizó un estudio descriptivo de naturaleza pseudoexperimental in vitro que describió los cambios colorimétricos que ocurrieron en 75 discos y 75 dientes restaurados en resina compuesta (Z100 3M-ESPE®), confeccionados en cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2), al ser sometidos a la acción de altas temperaturas, con el propósito de establecer parámetros cualitativos a partir del cambio de color de utilidad forense. Los resultados obtenidos permitieron explicar los cambios de color por espectrometría, de tal forma que una resina compuesta, a 200 °C, pierde brillo y matiz; a 400 °C, pierde brillo, matiz y saturación; y a 600 °C, 800 °C y 1.000 °C gana brillo y pierde matiz y saturación. Así, no existieron diferencias significativas en las coordenadas de color L* a* b* al comparar los discos con los dientes restaurados. En conclusión, la interpretación visual del cambio de color y las coordenadas de color L* a* b* a través del uso de un espectrofotómetro puede constituirse en un método comparativo de bajo costo y de aplicación forense al momento de identificar el tipo y el color de un material restaurador en un cadáver o en restos humanos quemados, carbonizados o incinerados, para obtener marcadores positivos durante el cotejo ante mórtem-post mórtem, y estimar la temperatura máxima alcanzada durante la exposición.

Palabras clave: Ciencias forenses. Odontología forense. Identificación odontológica. Resina compuesta Z100. Altas temperaturas. Espectrofotometría. Color.

Abstract

The objective for this study was to determine the color behavior of discs and composite resin restorations subjected to high temperature for forensic purposes. For this, a descriptive study of pseudo-experimental nature was made, to describing in vitro colorimetric changes that occur on the surface of 75 disks and 75 class I composite resin restorations (Z100 3M-ESPE®) made in five colors (A1, A2, A3, A3.5 and B2), when subjected to the action of high temperatures (200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C y 1,000 °C); in order to set parameters from the color change that can be applied to the forensic dental identification methods in the case of bodies or human remains burnt, charred or incinerated. The color changes can be explained by spectrometry. A composite resin subjected to 200 °C loses brightness and hue; to 400 °C wins brightness, hue and saturation; to 600 °C, 800 °C and 1,000 °C lost brightness, hue and saturation. No significant differences in the color coordinates L* a* b* to compare discs with the restored teeth, so the test bodies were suitable to test with the commercial composite resin system ESPE® 3M-Z100. In conclusion, the visual interpretation of color change and the L* a* b* color coordinates through the use of a spectrometer becomes a comparative forensic method application inexpensive when identifying the type and color a restorative material in a human remains burnt, charred or incinerated, to obtain positive markers for the antemortem-postmortem comparison and estimate the maximum temperature reached.

Key words: Forensic sciences. Forensic dentistry. Dental identification. Z100 composite resin. Hot temperature. Spectrophotometry. Color.

S. Abadía¹
JF. Arango¹
MA. Castro¹
M. Jiménez¹
G. Sinisterra²
W. Sepúlveda³
F. Moreno⁴

¹Odontólogo de la Universidad del Valle. Cali, Colombia.

²Odontólogo. Profesor de la Escuela de Odontología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

³Odontólogo. Magíster en biomateriales dentales. Profesor de la Escuela de Odontología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

⁴Odontólogo. Magíster en Ciencias Biomédicas. Profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia.

Correspondencia:
Freddy Moreno
fmorenog@javerianacali.edu.co

Fecha de recepción:
26.OCT.2015

Fecha de aceptación:
12.NOV.2015

Introducción

En la investigación científico-criminalística de la muerte, el trabajo durante la documentación de la necropsia médico-legal debe integrar la recolección, el análisis, la clasificación y la interpretación de información por parte de investigadores judiciales, fiscales y peritos forenses, entre los cuales se encuentra el odontólogo, ya que el examen minucioso de los tejidos blandos y mineralizados –incluidos los dientes– que conforman el sistema estomatognático brinda evidencia física que contribuye a establecer la identidad de una persona¹⁻⁴. Sin embargo, este proceso puede verse obstaculizado debido al estado de conservación del cadáver o de los restos humanos por los diferentes fenómenos cadavéricos o por los eventos ante, peri y post *mórtem* asociados a la causa de muerte. Uno de estos eventos que desafían la pericia técnica, académica y científica de las ciencias forenses son los casos de individuos quemados, carbonizados o incinerados, ya que el reconocimiento visual se dificulta por las alteraciones faciales, por la imposibilidad de recuperar las huellas digitales por el estado de los pulpejos de los dedos y por la dificultad de obtener secuencias suficientemente largas de ácido desoxirribonucleico (ADN)^{5,6}.

Debido a que la identificación positiva de una persona requiere la coincidencia fehaciente de las características físicas post *mórtem* con los registros de esas mismas características ante *mórtem*, los dientes y los materiales empleados en los tratamientos odontológicos se constituyen en una fuente fundamental para obtener información, debido a la gran capacidad *per se* de soportar las altas temperaturas⁷⁻¹⁰ y a la protección relativa que les confieren los tejidos periorales, la musculatura facial, los huesos maxilares y la mandíbula, los tejidos periodontales y la lengua¹¹. Por lo general, la comparación o el cotejo ante *mórtem* post *mórtem* se realiza a partir de tratamientos odontológicos tales como restauraciones elaboradas en resina compuesta, dada la gran resistencia que tienen a las altas temperaturas^{5,12-14}.

Las resinas compuestas son biomateriales de uso odontológico que se emplean en los procedimientos de rehabilitación dental. Consisten en una mezcla de resinas polimerizables (componente orgánico) mezcladas con partículas de rellenos inorgánicos (componente inorgánico) y los elementos para unirlos¹⁵. Z100 3M-ESPE® es una resina compuesta multipropósito microhíbrida, cuya matriz orgánica está formada por 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)^{16,17}. Este sistema comercial es uno de los de mayor uso en el contexto clínico mundial –además de ser el más investigado– debido a sus propiedades biológicas, físicas y estéticas, a su relativo bajo costo y a su fácil manipulación^{18,19}.

Siendo que el uso de la resina compuesta como material restaurador de cavidades dentales –respecto a la amalgama dental– ha ido en aumento en las últimas décadas²⁰, desempeña un papel fundamental en los procesos de identificación forense¹⁴. Diferentes estudios han demostrado que conforme aumenta la temperatura las resinas compuestas cambian de color⁷⁻¹⁰, situación que puede ser útil para proporcionar al perito forense información que le permita identificar una obturación en resina quemada, carbonizada o incinerada, y asociarla a determinado rango de temperatura, con lo cual se podrá elaborar un marcador fehaciente que eventualmente podría contribuir al 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 altas temperaturas. Es por ello que el propósito de este estudio es establecer parámetros *in vitro* sobre el comportamiento del color de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® al ser sometida a altas temperaturas con fines forenses, para contribuir en los procesos de identificación y documentar la necropsia médico-legal.

Materiales y métodos

Este es un estudio descriptivo pseudoexperimental *in vitro* de corte transversal sobre el comportamiento del color de 75 discos y 75 restauraciones oclusales de clase I en resina compuesta (Z100 3M-ESPE®) confeccionados en cinco colores (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 1.000 °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 Social²¹ y la Declaración de Helsinki²², 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 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 ortodóncicos).

Conservación de la muestra

Una vez extraídos los dientes, se procedió a lavarlos profusamente con agua corriente para eliminar los restos de sangre y tejidos, y posteriormente se introdujeron en un recipiente oscuro de tapa hermética (que impide la exposición a la luz) con la solución fijadora cloramina T al 5% (tosilcloramida sódica, 100 g, mezclados en 2 litros de agua destilada según las indicaciones del fabricante). Desde el momento de la extracción hasta la inclusión en la cloramina no transcurrió un tiempo mayor de 10 minutos. Los dientes permanecieron en cloramina T durante una semana de acuerdo a lo estipulado en la Norma ISO/DIS 11405:2003, y posteriormente se colocaron en solución salina a temperatura ambiente, la cual fue recambiada cada 2 semanas²³.

Clasificación de la muestra

Los dientes fueron clasificados de forma aleatoria de acuerdo con el tipo de color de la resina compuesta (A1, A2, A3, A3.5 y B2) y el rango de temperatura al que fueron sometidos. El grupo de intervención se conformó para determinar los cambios de color de los tejidos dentales y las obturaciones en resina compuesta al ser sometidos a diferentes temperaturas, y el grupo control se conformó para determinar los criterios de normalidad, por lo que no fue sometido a ninguna temperatura.

Obtención de los dientes

A los 75 dientes que conforman la muestra se les realizaron una cavidad y una restauración de clase I con resina compuesta (Z100 3M-ESPE®) con base en ionómero de vidrio (Vitrebond 3M ESPE®) a una profundidad de 3 mm, un diámetro mesio-distal de 3 mm y un diámetro vestíbulo-lingual de 2 mm, de acuerdo con la Norma ICONTEC 4882/2002²⁴.

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 microcepillo en dos capas, dejando impregnar la primera 20 segundos mediante chorro de aire indirecto por 5 segundos para que el adhesivo penetrara

en 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 fotopolimerización (Spectrum 800 Dentsply®); por último, se empacó la resina compuesta (Z100 3MESPE®) mediante técnica por incrementos oblicuos, que se polimerizaron, cada uno de ellos, por 40 segundos con una lámpara de fotopolimerización (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. En todo momento se siguieron las indicaciones de los fabricantes durante la manipulación y el almacenamiento de los biomateriales de uso odontológico.

Elaboración de los discos en resina compuesta

Se empleó una matriz de aluminio, láminas de acetato y losetas de vidrio, para elaborar cinco discos simultáneamente, cada uno de 10 milímetros de diámetro por 4 milímetros de espesor. Para elaborar cada disco se empacó la resina compuesta (sistema comercial y color específicos) mediante técnica por incrementos oblicuos de 2,5 milímetros que fueron polimerizados –cada incremento– durante 40 segundos con una lámpara de fotopolimerización (Spectrum 800 Dentsply®) hasta obturar por completo las cavidades de la matriz con resina compuesta Z100 3MESPE®. Una vez finalizada la fase de polimerización, los discos fueron retirados de la matriz y se pulieron y brillaron para eliminar la capa inhibida superficial. En todo momento se siguieron las indicaciones de los fabricantes durante la manipulación y el almacenamiento de los biomateriales de uso odontológico.

Conservación y manejo de la muestra

Los discos y los dientes restaurados fueron depositados de forma individual en un recipiente plástico opaco, mantenido las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente. Antes de la aplicación de las altas temperaturas, a cada uno de los discos y 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 fueron llevados a un espectrofotómetro Pocket Spec Color QA Pro System III® para toma de color y brillo de la resina compuesta. Todos los discos y dientes restaurados fueron escaneados a 400-700 nanómetros con un ángulo de iluminación de 45° perpendicular a la superficie de la muestra. Los discos y los dientes restaurados fueron distribuidos de forma aleatoria

Tabla 1.
Distribución de la muestra.

Temperatura	Colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE®*				
	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
1.000 °C	3	3	3	3	3

Temperatura	Colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE®*				
	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
1.000 °C	3	3	3	3	3

*Z100 3M-ESPE® (Colombia). A1: Lote N611208, fecha de expiración 2017-06; A2: Lote N610157, fecha de expiración 2017-06; A3: Lote N604553, fecha de expiración 2017-06; A3.5: Lote N618668, fecha de expiración 2017-06; B2: Lote N605652, fecha de expiración 2017-06.

en cada uno de los cinco grupos determinados por la temperatura a la iban a ser expuestos (Tabla 1).

Aplicación de temperatura

Este procedimiento se realizó según el protocolo técnico y científico establecido en el Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavia (Italia)⁷ y los estudios realizados en la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia)⁹.

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 1.000 °C, pico que se alcanza a los 25-30 minutos, para luego mantenerse aproximadamente a 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 periodontales¹².

Los discos y 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 temperaturas (200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C y 1.000 °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 discos del sistema Z100 3M-ESPE® color A1, cada uno en su respectiva bandeja, en un 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 discos. Luego se introdujeron los tres discos del sistema Z100 3M-ESPE® color A2, cada uno en su respectiva bandeja, en un rango de temperatura de 28 °C a 400 °C, se dejó enfriar de nuevo el horno a temperatura ambiente y se procedió a sacar las bandejas con los discos. Este proceso se repitió sucesivamente para el resto de los discos de cada color a los rangos de temperatura de 600 °C, 800 °C y 1.000 °C. El mismo procedimiento se llevó a cabo para los dientes restaurados con el sistema de resina compuesta Z100 3M-ESPE®. Al ser sometidos a altas temperaturas, los materiales de uso odontológico (incluidas las resinas compuestas) pueden sufrir

cambios de color y textura, fisuras y grietas, fracturas, cambios de estabilidad dimensional y estallido¹⁰.

Observación de los dientes

Una vez fijados estructuralmente, los discos y los dientes restaurados fueron de nuevo fotografiados con una cámara digital Nikon D3100® a 2X con una distancia focal de 6 centímetros, y luego fueron llevados a un espectrofotómetro Pocket Spec Color QA Pro System III® para toma de color de la resina compuesta bajo las mismas condiciones que la toma inicial del color.

Espacio de color CIELAB

CIELAB (estrictamente CIE 1976 L*a*b*), modelo cromático de espacio de color usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano, fue desarrollado de manera específica con este propósito por la Comisión Internacional de la Iluminación tras definir el color como la característica de la percepción visual que puede ser descrita por los atributos de valor o luminosidad e intensidad, tinte o tono, y saturación o cromatismo²⁵. De esta forma, con los tres parámetros en el modelo CIELAB, el espacio de color propuesto se basa en tres medidas que corresponden a las tres dimensiones del espacio en los tres ejes de coordenadas ordinales representadas: X para L*, Y para a* y Z para b*. Así, L* representa el brillo o luminosidad de color (L* = 0 rendimientos negro y L* = 100 rendimientos blanco), a* es el matiz o posición entre el rojo y el verde (valores negativos indican verde y valores positivos indican rojo), y b* es la saturación o posición entre el amarillo y el azul (valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo)²⁶.

Estas representaciones del color fueron obtenidas con el espectrofotómetro Pocket Spec Color QA Pro System III®, el cual consiste en un dispositivo de medición que emite una luz definida para medir la calidad y la cantidad de luz reflejada por la resina compuesta de los discos y de los dientes restaurados, para clasificarla en un grupo de colores. Finalmente, en un computador, el *software* Color QA Pro System III® clasifica el espectro visible y proporciona las coordenadas de color L* a* b*.

Análisis estadístico

Las coordenadas de color L* a* b* de los discos y dientes restaurados fueron introducidas en una hoja

electrónica en Excel Microsoft®, la cual fue procesada en el *software* IBM SPSS Statistics® Ver. 22.0. Una vez comprobado que no había normalidad, se procedió a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias en las coordenadas de color de los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® entre los discos y dientes restaurados sometidos a diferentes temperaturas. La hipótesis nula de este estudio fue que no había diferencias significativas. Una $p < 0,05$ fue considerada estadísticamente significativa.

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 1.000 °C), tuvieron un comportamiento muy similar, de tal forma que pudieron observarse cambios macroscópicos superficiales en el color y la textura, fisuras y grietas, fracturas, cambios de estabilidad dimensional y estallido de los discos y de los dientes restaurados conforme aumentaba la temperatura (Figuras 1 y 2).

Respecto a las coordenadas de color L* a* b*, a temperatura ambiente (28 °C) puede observarse que la paleta de colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® de los discos y de los dientes restaurados cuenta con una gran luminosidad, muy cercana al blanco (L*), mayor para B2 y menor para A3.5; una tendencia hacia el rojo (a*), mayor para A3 y menor para A1; y una tendencia al amarillo (b*), mayor para A3.5 y menor para A1 (Tabla 2 y Figuras 1 y 2).

Conforme va aumentando la temperatura, tanto los discos como los dientes restaurados empiezan a evidenciar cambios en las coordenadas de color, de tal forma que a 200 °C la luminosidad (L*) empieza a bajar hacia el negro, al igual que hay una tendencia hacia el verde (a*) –representada por el signo negativo– y una elevada tendencia al amarillo (b*). A 400 °C, la luminosidad continúa disminuyendo casi a la mitad de los valores originales a temperatura ambiente, al igual que la tendencia al rojo y la tendencia al azul. A 600 °C, la luminosidad se mantiene en valores intermedios, hay una tendencia absoluta hacia el verde –representada por el signo negativo– y un aumento en la tendencia hacia el amarillo, más marcada en B2. Finalmente, a 800 °C y a 1.000 °C todos los discos y los dientes restaurados tienen los mismos valores, los cuales representan un incremento en la luminosidad con una tendencia absoluta hacia el blanco, un valor

Figura 1.
Fotografías de los cinco colores de discos confeccionados en resina compuesta Z100 3M-ESPE®, en los que se observan los cambios en el color conforme aumenta la temperatura. De igual forma se observan las coordenadas L* a* b* que arrojó el espectrofotómetro.

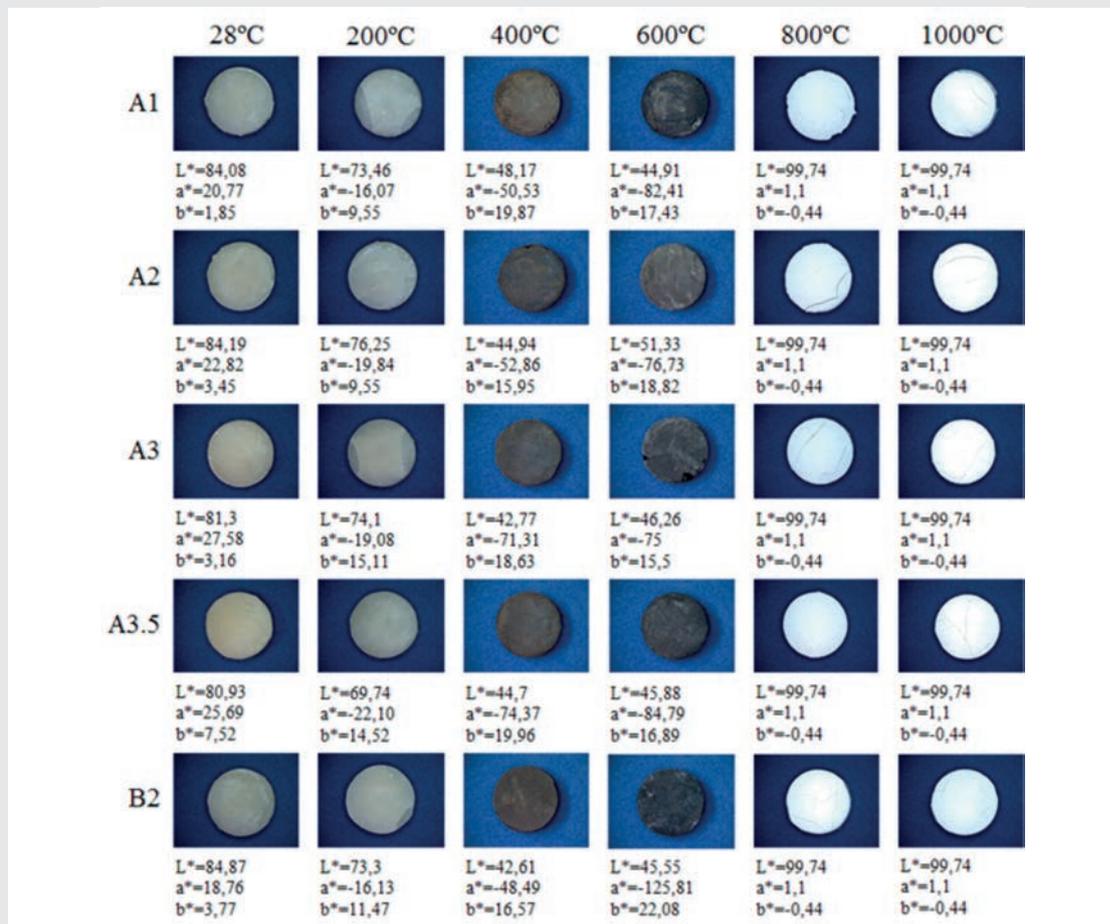


Tabla 2.
Comparación del cambio de color entre discos y dientes restaurados al ser sometidos a altas temperaturas ($p < 0,05$).

Color	Coordenadas de color	28 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1.000 °C
A1	L*	0,076	0,053	1,000	1,000	1,000	1,000
	a*	1,000	0,076	1,000	0,097	1,000	1,000
	b*	0,076	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A2	L*	0,046	0,053	1,000	0,083	1,000	1,000
	a*	0,414	0,053	0,053	0,083	1,000	1,000
	b*	0,068	0,083	1,000	0,076	1,000	1,000
A3	L*	0,068	0,053	1,000	0,761	1,000	1,000
	a*	0,414	1,000	0,076	0,221	1,000	1,000
	b*	0,046	0,053	0,076	0,519	1,000	1,000
A3.5	L*	0,076	0,076	0,053	0,076	1,000	1,000
	a*	1,000	1,000	1,000	0,221	1,000	1,000
	b*	0,068	1,000	0,053	0,197	1,000	1,000
B2	L*	0,076	0,076	0,076	1,000	1,000	1,000
	a*	1,000	0,053	0,076	1,000	1,000	1,000
	b*	0,414	0,053	0,053	1,000	1,000	1,000

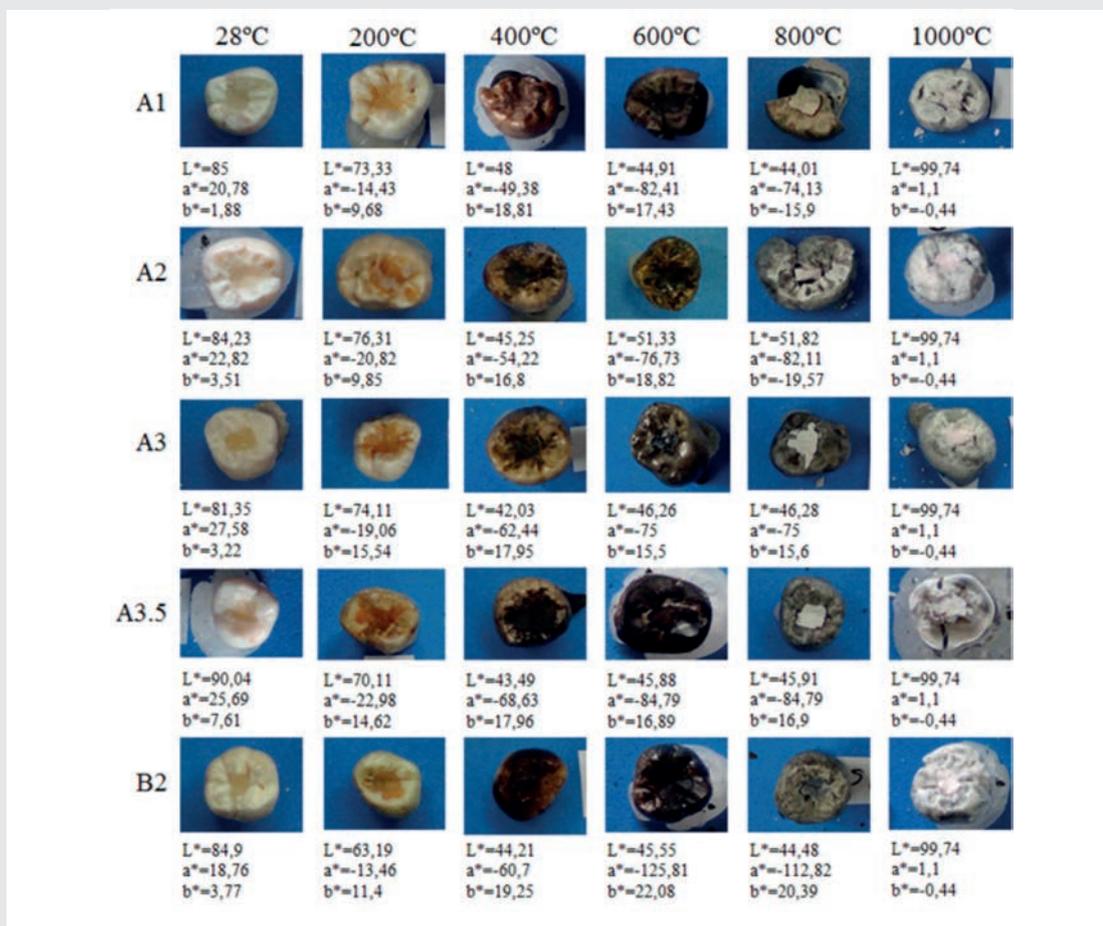


Figura 2. Fotografías de los cinco colores de dientes restaurados en resina compuesta Z100 3M-ESPE®, en los que se observan los cambios en el color conforme aumenta la temperatura. De igual forma se observan las coordenadas L^* a^* b^* que arrojó el espectrofotómetro.

intermedio entre el azul y el amarillo, y una marcada saturación hacia el azul (Tabla 2, Figuras 3 a 5).

Al comparar las coordenadas de color L^* a^* b^* de los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® entre los discos y dientes restaurados sometidos a diferentes temperaturas, se encontró que no hubo diferencias significativas, excepto en el color A3, lo cual puede asociarse a fallas en la manipulación de la resina compuesta durante el pulido y brillo de la restauración. Con estos resultados se retiene la hipótesis nula.

Discusión

En la literatura, diferentes estudios han descrito los cambios de color de discos^{27,28} y de dientes restau-

rados con resina compuesta⁷⁻¹⁰, concluyendo que a 200 °C los discos y los dientes restaurados se tornan más opacos; a 400 °C y 600 °C, los discos se tornan inicialmente pardos y luego negros, con vetas pardas y blancas; y finalmente, a 800 °C y 1.000 °C los discos se observan grises y blancos sin ningún tipo de brillo. Los estudios concluyen que estos cambios pueden asociarse con los diferentes niveles de combustión de la matriz orgánica en la medida que aumenta la temperatura, dado que los monómeros de las resinas compuestas (Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA y UDMA) empiezan a volatilizarse desde los 125 °C, hasta alcanzar su punto de fusión a 200 °C^{17,29,30}, y porque la temperatura hace que en la superficie de la resina compuesta la matriz inorgánica (partículas de relleno de zirconio) pierda adherencia.

Sin embargo, si bien estas observaciones cualitativas evidencian diferencias a simple vista entre los discos y

Figura 3.

Coordenadas L* de los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® a altas temperaturas en los discos (A) y en los dientes restaurados (B).

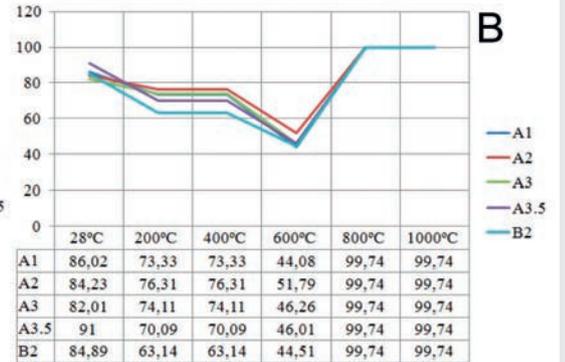
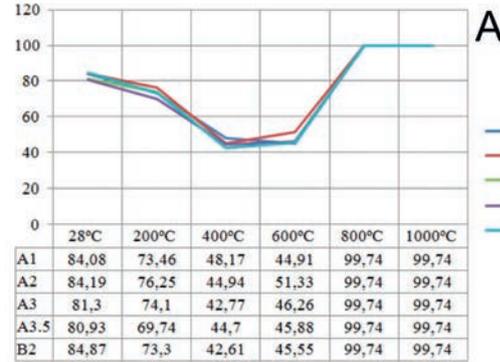


Figura 4.

Coordenadas a* de los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® a altas temperaturas en los discos (A) y en los dientes restaurados (B).

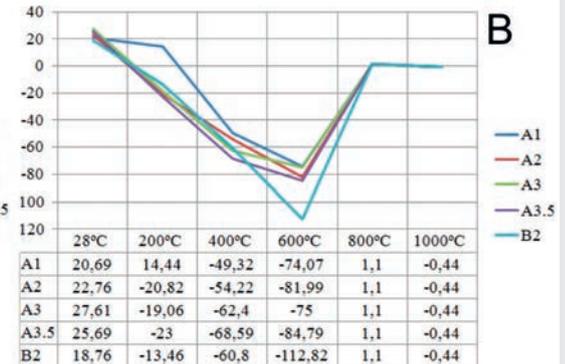
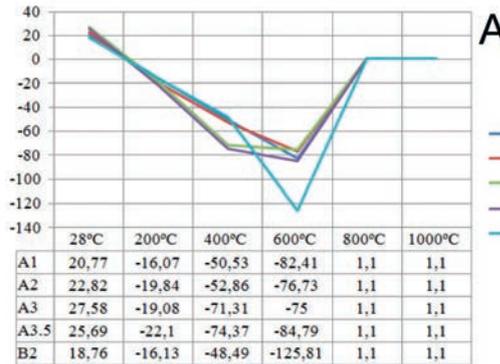
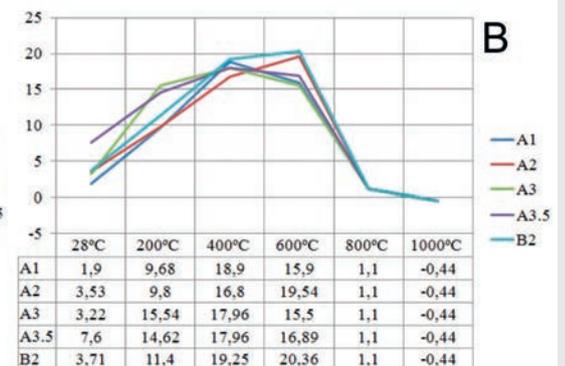
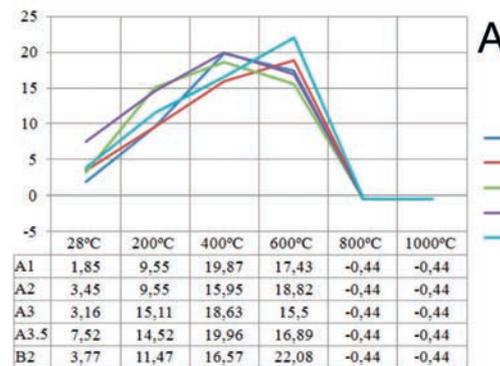


Figura 5.

Coordenadas b* de los cinco colores de la resina compuesta Z100 3M-ESPE® a altas temperaturas en los discos (A) y en los dientes restaurados (B).



dientes restaurados para el grupo de 200 °C, el grupo de 400 °C y 600 °C, y el grupo de 800 °C y 1.000 °C, se hizo necesario medir con un espectrofotómetro el color y el brillo a través del espacio de color CIELAB para determinar diferencias entre los discos y dientes restaurados de los grupos de 400 °C y 600 °C, de 800 °C y 1.000 °C. En un estudio similar en el que se midieron los cambios colorimétricos en discos en resina compuesta (Z100 3M-ESPE® y Charisma Heraeus Kulzer®) sometidos a altas temperaturas en diferentes intervalos de tiempo²⁷, se encontraron diferencias en las coordenadas de color L* a* b*, al igual que en este estudio, de tal forma que a 200 °C la resina compuesta pierde brillo y matiz, y gana saturación, lo cual puede estar asociado a cambios superficiales en la composición química. A 400 °C se sigue perdiendo brillo, matiz y saturación, lo cual puede asociarse a la oxidación de los compuestos de la matriz orgánica. A 600 °C se pierde brillo, matiz y saturación, asociado a la desintegración de los componentes de la resina compuesta y a la destrucción de los pigmentos. A 800 °C y 1.000 °C, todos los discos y los dientes restaurados ganan brillo, asociado a la tendencia absoluta al blanco, y pierden matiz y saturación, asociado a la incineración de los componentes orgánicos y la fusión de la matriz inorgánica.

Finalmente se compararon los cambios en las coordenadas de color L* a* b* entre los discos y los dientes restaurados, encontrando que no existen diferencias significativas entre unos y otros.

Conclusiones

A simple vista, los discos y los dientes restaurados sometidos a altas temperaturas presentaron un cambio de color en tres fases (la fase uno o grupo de 200 °C, la fase dos o grupo de 400 °C y 600 °C, y la fase tres o grupo de 800 °C y 1.000 °C), asociado a los cambios térmicos que pueden presentarse en los componentes de la resina compuesta. Los cambios de color en estas tres fases pueden ser explicados –mediante espectrometría– por los cambios en las propiedades (brillo, matiz y saturación) conforme aumenta la temperatura, de tal forma que a 200 °C una resina compuesta pierde brillo y matiz, a 400 °C pierde brillo, matiz y saturación, a 600 °C pierde

brillo, matiz y saturación, y a 800 °C y 1.000 °C gana brillo y pierde matiz y saturación.

No existen diferencias significativas en las coordenadas de color L* a* b* al comparar los discos con los dientes restaurados, por lo que los experimentos en cuerpos de prueba –en este caso discos confeccionados en resina– resultaron validados para el sistema comercial de resina compuesta Z100 3M-ESPE®.

La interpretación visual de las tres fases de cambio de color y las coordenadas de color L* a* b* mediante el uso de un espectrofotómetro se constituye en un método comparativo de aplicación forense práctico y de bajo costo en el momento de identificar el tipo y el color de un material restaurador en un cadáver o en restos humanos quemados, carbonizados o incinerados, no solo para obtener marcadores positivos durante el cotejo sino también para estimar la temperatura máxima alcanzada durante la exposición.

Las resinas compuestas son los materiales más comunes usados para restauraciones estéticas y terapéuticas de dientes anteriores y posteriores. Por lo tanto, la probabilidad de que un individuo cuya muerte implique quemadura, carbonización o incineración tenga este tipo de restauraciones es bastante alta; de ahí que el estudio del comportamiento de los materiales de uso odontológico –incluida la resina compuesta– a altas temperaturas permita generar nuevos marcadores a tener en cuenta en el momento de realizar un cotejo ante mórtem-post mórtem durante el proceso de identificación y documentación de la necropsia médico-legal.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio Docente de Obtención y Análisis de Imágenes de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle por todo el soporte técnico en el manejo de los equipos, los cuales se encuentran parametrizados (mantenimiento, verificación y calibración) de acuerdo con el Plan de Aseguramiento Metrológico del Sistema de Gestión Integral de Calidad (GICUV) de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Rothwell BR. Principles of dental identification. *Dent Clin North Am.* 2001;45(2):253-70.
2. Orjuela CE. Odontología forense. En: Téllez NR, editor. *Medicina forense: manual integrado.* Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2002. p 361-6.
3. Avon SL. Forensic odontology: the roles and responsibilities of the dentist. *J Can Dent Assoc.* 2004;70:453-8.
4. Fonseca GM, Salgadi G, Cantín M. Lenguaje odontológico forense e identificación: obstáculos por falta de estándares. *Rev Esp Med Legal.* 2011;37(4):162-8.
5. Sweet D. Why a dentist for identification? *Dent Clin North Am.* 2001;45(2):237-51.
6. Williams D, Lewis M, Franzen T, Lissett V, Adams C, Whittaker D, et al. Sex determination by PCR analysis of DNA extracted from incinerated, deciduous teeth. *Sci Justice.* 2004;44(2):89-94.
7. 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.
8. 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(2):17-24.
9. 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.
10. 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.
11. Norrlander AL. Burned and incinerated remains. En: Bowers CM, Bell GL, editores. *Manual of forensic odontology.* 3rd ed. Colorado Springs, CO: American Society of Forensic Odontology; 1997.
12. Delattre VF, Stimson PG. Self-assessment of the forensic value of dental records. *J Forensic Sci.* 1999; 44(5):906-9.
13. 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.
14. Hemasathya BA, Balagopal S. A study of composite restorations as a tool in forensic identification. *J Forensic Dent Sci.* 2013;5(1):35-41.
15. Rodríguez G, Douglas R, Pereira S, Natalie A. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontol Venez.* 2008;46(3):381-92.
16. Craig RG. *Materiales de odontología restauradora.* 10th ed. Madrid: Harcourt Brace; 1998.
17. Phillips AK. *Ciencia de los materiales dentales.* 11th ed. Madrid: Elsevier; 2004.
18. Byeong-Hoon C, Yong-Keun L. A shade guide model based on the color distribution of natural teeth. *Col Res Appl.* 2007;32(4):278-83.
19. Dental Advisor Biomaterials Research Center. Current trends in resin composites. *The Dental Advisor.* 2011;28(7):1-18.
20. Shenoy A. Is it the end of the road for dental amalgam? A critical review. *J Conserv Dent.* 2008;11(3):99-107.
21. 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. (Consultado en mayo de 2015.) Disponible en: http://www.urosario.edu.co/urosario_files/a2/a24fb07a-f561-4fcc-b611-af4374bb7.pdf
22. Asociación Médica Mundial. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Declaración de Helsinki. Finlandia, junio 1964. (Consultado en mayo de 2015.) Disponible en: http://www.urosario.edu.co/EMCS/Documentos/investigacion/declaracion_helsinki/
23. International Organization of Standardization. Dental materials: testing of adhesion to tooth structure. ISO/TS 11405: 2003.
24. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Materiales odontológicos: ensayo de la adhesión a la estructura dental. ICONTEC 4882:2000.
25. Wyszecki G, Siles WS. Color science: concepts and methods, quantitative data and formula. New York; John Wiley & Sons; 1982. p. 166-9.
26. C.I.E. Commission Internationale de L'Eclairage. Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, and metric color terms. Suppl No. 2 Pub No. 15. Paris: Bureau Central de la CIE; 1978.
27. Brandao R, Martin CCS, Catirse ABCEB, Silva M de C, Evisao MP, Guimaraes MA. Heat induced changes to dental resin composites: a reference in forensic investigations? *J Forensic Sci.* 2007;52(4):913-9.
28. 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 prensa.
29. 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.
30. Cook WD, Chong MP. Color stability and visual perception of dimethacrylate based dental composite resins. *Biomaterials.* 1985;6:257-63.