

## Estudio radiomorfométrico del efecto del calor en el diente y su aplicabilidad en la estimación de la edad con fines forenses

José L. Ferreira<sup>1\*</sup>, Angela I. Espina de Ferreira<sup>1</sup>, Ana I. Ortega<sup>1</sup> y Fernando A. Barrios<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Odontología. Laboratorio de Odontología Forense. Área de Odontología Forense. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Odontología, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

<sup>2</sup> Médico Cirujano. Laboratorio de Odontología Forense. Área de Odontología Forense. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Odontología, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

E-mail: [jbacteria@hotmail.com](mailto:jbacteria@hotmail.com), [aespinafereira@gmail.com](mailto:aespinafereira@gmail.com), [anitaortega@hotmail.com](mailto:anitaortega@hotmail.com), [barriosf76@hotmail.com](mailto:barriosf76@hotmail.com)

### Resumen

**Introducción:** pocos estudios han investigado las modificaciones que experimentan los dientes debido al trauma térmico y su aplicabilidad como indicadores de edad. **Objetivo:** describir radiomorfométricamente los cambios que experimentan los dientes jóvenes y envejecidos sometidos a temperaturas controladas. **Materiales y Métodos:** ochenta y cuatro dientes permanentes mono y multiradicales intactos, fueron distribuidos en siete grupos etarios, de los cuales se obtuvieron radiografías periapicales. Luego, fueron sometidos a la acción de 250, 500, 750 y 1150°C., incluidos en polimetilmetacrilato y vueltos a radiografiar. Todas las radiografías fueron digitalizadas con un scanner. Se analizó el patrón de líneas de fractura, la densidad radiográfica y la aposición de dentina secundaria. **Resultados:** todos los dientes mostraron fisuras y fracturas; se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,03$ ) entre las diferencias de media de la densidad de los dientes, antes y después de ser sometidos a 750°C, y se obtuvo una correlación negativa estadísticamente significativa ( $p < 0,001$ ) entre la edad y el índice de aposición de dentina secundaria. **Conclusión:** se construyó un modelo de regresión para el cálculo de la edad a partir del índice de aposición de dentina secundaria, el cual es útil para el establecimiento de la identidad.

**Palabras clave:** Ciencia Forense, Odontología Forense, estimación de la edad, altas temperaturas, densidad radiográfica, aposición de dentina secundaria.

\* Autor para correspondencia: Teléfono: 0261 3280322. Fax: 0261 7597347.

## *Radiomorphometric Study of the Effect of Heat on the Tooth and its Applicability in Estimating age for Forensic Purposes*

### Abstract

**Introduction:** the modifications experienced by teeth due to thermal stress and their applicability as age indicators have not been widely studied. **Objective:** to describe radiomorphometric changes undergone by young and aged teeth submitted to controlled temperatures. **Materials and methods:** eighty-four intact mono and multiradicular permanent teeth were distributed into seven age groups, and periapical X rays were taken. Then, the teeth were exposed to 250, 500, 750 and 1150°C temperatures, embedded in polymethylmetacrilate and X-rayed again. All X-rays were digitalized with a scanner. The pattern of line fractures, radiographic density and secondary dentine apposition were analyzed. **Results:** all teeth showed fissures and fractures; significant differences ( $p < 0.03$ ) were found between mean differences of tooth density before and after exposure to 750°C. A significant negative correlation ( $p < 0.01$ ) between age and the secondary dentine apposition index was found. **Conclusion:** a regression model was constructed to calculate age based on the secondary dentine apposition index, which contributes to establishing identity.

**Key words:** Forensic science, forensic dentistry, age estimation, effect of heat, radiographic density, secondary dentine apposition.

### Introducción

La Odontología Forense ha utilizado los registros radiográficos como auxiliares en el establecimiento de la identidad y ello se sustenta en la existencia de características distintivas de la dentición humana en términos de anatomía, patología o tratamientos, que pueden ser observadas en radiografías <sup>1,2</sup>. La identificación dental asistida radiográficamente, puede ser comparativa o reconstructiva. La primera compara los registros radiográficos ante mortem con los obtenidos después de la muerte, mientras que cuando no están disponibles los registros ante mortem, las radiografías son de utilidad en la elaboración de un perfil biológico reconstructivo <sup>2,3</sup>.

A pesar que el avance de la informática y la microelectrónica ha permitido el desarrollo

de la radiología digital y de nuevas herramientas para el tratamiento y comparación de las imágenes obtenidas a través de este medio, todas ellas tienen actualmente una utilidad limitada como herramienta testimonial ante las cortes <sup>2,4</sup>. Las radiografías digitales pueden ser obtenidas a través de la digitalización de radiografías convencionales empleando un escáner <sup>5,6</sup>, una cámara digital o de video <sup>7</sup>, o por medio de un sistema digital directo el cual utiliza placas activas de fósforo o un dispositivo acoplado de carga (CCD) como sistema de registro, para posteriormente transmitir la información a un computador <sup>8,9</sup>.

Una de las principales tareas del forense consiste en la determinación de la edad de la víctima. Para ello se han ideado métodos para la estimación de la misma en radiografías, a través de la observación del desarrollo de los

dientes deciduos o permanentes hasta el segundo molar, durante la infancia y adolescencia<sup>10-11</sup> y así como los terceros molares cuando se trata de adultos jóvenes, con edades alrededor de los 21 años<sup>12-13</sup>. En adultos, el estatus general de la dentición observado en radiografías, puede ofrecer indicios en cuanto a la edad del individuo debido a que la presencia de restauraciones, gran cantidad de dientes perdidos, resorción ósea avanzada, caries radiculares y la atrición, por lo general están asociados a individuos más viejos<sup>14</sup>.

Cuando un individuo envejece, el diente cambia de color, disminuye el tamaño de la corona debido al proceso fisiológico de atrición, y se reduce el tamaño de la cavidad pulpar por aposición de dentina secundaria. También es notoria la aparición e incremento de la transparencia de la dentina radicular relacionada con la esclerosis de este tejido, además del engrosamiento de la capa de cemento. Estos indicadores vienen siendo utilizados para la estimación de la edad con fines forenses, bien sea por separado o combinados dentro de ecuaciones de regresión<sup>15-17</sup>.

Otros investigadores como Morse y col.<sup>14</sup>, Kvaal y col.<sup>18</sup> y Drusini y col.<sup>19</sup> han estudiado la relación entre el tamaño de la cavidad pulpar (coronaria o radicular) con el resto del diente, para establecer índices confiables para la estimación de la edad. Kvaal y col.<sup>18</sup> propusieron un método basado en la obtención de tres proporciones (longitud pulpa/raíz, longitud pulpa/diente, anchura pulpa/diente) y mediciones de la anchura del diente en tres niveles, en radiografías periapicales de seis dientes seleccionados, con las cuales se construyeron modelos de regresión para el cálculo de la edad con un error estándar que varió entre 8,6 y 11,5 años. Por su parte, Drusini y col.<sup>19</sup> emplearon radiografías panorámicas, donde midieron la altura coronaria y la altura de la cavidad pul-

par de molares y premolares, para el cálculo del índice diente/corona propuesto por Ikeda y col. en 1985, y basados en ellas, se presentaron modelos de regresión con un error estándar de 5 años.

Investigaciones ulteriores han expresado la aposición de dentina secundaria como la diferencia entre el área ocupada por los tejidos duros del diente y la cavidad pulpar. En 2004, Cameriere y col.<sup>20</sup> presentaron un método para la estimación de la edad, basado en la determinación del área de los tejidos duros del diente y la cavidad pulpar de caninos superiores en radiografías panorámicas, obteniendo una proporción que expresa la aposición de dentina secundaria y construyeron modelos de regresión con un error estándar menor a 4 años, en individuos italianos caucásicos entre 18 y 72 años. En otro estudio realizados por estos investigadores, el método fue probado en molares observados en radiografías panorámicas, para determinar la precisión y confiabilidad del mismo, obteniéndose una sensibilidad de 91% y una especificidad de 94,5% en el cálculo de la edad, en individuos ubicados entre los 14 y 24 años de edad<sup>21</sup>. Más recientemente, aplicaron el método en caninos de restos esqueléticos y construyeron modelos de regresión que permitieron el cálculo de la edad con un error estándar entre 3,62 y 5,4 años<sup>22</sup>.

A pesar de ser altamente resistentes a la acción de agentes agresores externos, se ha reportado que los dientes muestran cambios en su estructura y coloración inducidos por el calor, los cuales han sido asociados con la temperatura alcanzada, el tipo de fuente de calor y el tiempo de combustión<sup>23-25</sup>. Estos cambios pueden afectar el proceso de identificación de las víctimas, y es posible que solo queden fragmentos de los dientes, disponibles para realizar la comparación con los registros ante mor-

tem, lo que incrementa el valor de la obtención de radiografías post mortem, para lograr la mayor cantidad de información posible.

El objetivo del presente trabajo fue describir, como se observan radiográficamente, el patrón de líneas de fracturas, la densidad radiográfica y la aposición de dentina secundaria, en dientes pertenecientes a individuos jóvenes y ancianos, sometidos a temperaturas controladas, lo cual pudiera aportar datos relevantes durante el proceso de identificación médico-forense.

## **Materiales y Métodos**

### **Muestras de dientes humanos**

La muestra consistió en dientes permanentes (n= 84) mono y multirradiculares, intactos, libres de caries o restauraciones, que fueron extraídos por razones ortodóncicas, protésicas y/o periodontales, de pacientes que asisten a consulta en las Clínicas Integrales de la Facultad de Odontología de la Universidad del Zulia, República Bolivariana de Venezuela. Los dientes fueron distribuidos en siete grupos etarios: menores de 20 años, de 20 a 29, de 30 a 39, de 40 a 49, de 50 a 59, de 60 a 69 e iguales o mayores a 70 años. En cada grupo etario se ubicaron doce dientes, los cuales fueron distribuidos en cuatro subgrupos, para su tratamiento térmico.

Después de la extracción, los dientes fueron lavados con agua corriente y los restos de tejidos blandos y los depósitos de sarro fueron eliminados. Luego, los dientes fueron desinfectados con solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 1:200 y almacenados en buffer sodio-fosfato a 4°C.

### **Obtención de radiografías previas al tratamiento térmico**

Se obtuvieron radiografías de toda la muestra utilizando películas Kodak, (Insight,

IP-21, Eastman Kodak Company, Rochester, NY, USA) en un aparato TIME X 66 (GNATUS, Equipamentos Médico-Odontológicos LTDA, SP, Brasil) a 66 kVp y 6,5 mA, con una filtración total de 2,6 mm de Al y 0,6 segundos de tiempo de exposición. La ejecución de la técnica fue auxiliada con el uso de un posicionador diseñado para esta investigación, el cual permitió estandarizar la posición del diente y la distancia punto focal-película a 32 cm, y garantizar además, que el haz central de rayos X incidiera perpendicularmente tanto al diente como a la película, en dirección vestíbulo-lingual. El procesamiento de la película fue realizado por el método temperatura-tiempo, siguiendo las especificaciones del fabricante. Con el fin de estandarizar el procesamiento digital de las imágenes, se colocó un testigo radiopaco, al momento de la obtención de cada radiografía.

### **Tratamiento térmico de los dientes**

Los dientes correspondientes a cada subgrupo etario, fueron sometidos a la acción de una temperatura predeterminada: 250°C, 500°C, 750°C ó 1150°C, durante una hora. Para ello, los dientes fueron colocados en crisoles y llevados simultáneamente a un horno mufla NEY (M-525 SII Barkmeyer Division, Yucaipa, CA, USA). El calentamiento se inició a los 18 °C con una tasa de incremento de 18,8 °C por minuto, con el fin de evitar el estallido de las coronas, debido a un cambio brusco de temperatura. Al final del proceso, los crisoles fueron retirados del horno y dejados enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Luego, los dientes fueron almacenados en viales, para posteriormente ser sometidos al proceso de inclusión en polimetilmetacrilato.

### **Proceso de Inclusión**

Todos los dientes fueron incluidos en polimetilmetacrilato, siguiendo el protocolo des-

crito en un trabajo previo<sup>25</sup>. Todos los bloques fueron radiografiados siguiendo el procedimiento previamente descrito.

### Digitalización de las radiografías

Las radiografías fueron digitalizadas utilizando un scanner basado en CCD (Scanjet 3670, Hewlet Packard, Palo Alto, CA, USA) con una resolución de 300 dpi, con 8 bits y en tonos de grises, empleando el software Adobe Photoshop 7,0 (Adobe Systems Inc., San José, CA, USA) y almacenadas en formato .TIFF. La escala de grises digital fue establecida de manera que el cero representara el negro absoluto y el doscientos cincuenta y cinco, el blanco puro, con el fin de valorar la densidad radiográfica y compararlas antes y después del tratamiento térmico.

Para la calibración de las imágenes radiográficas se utilizó la imagen del testigo radiopaco en la zona del aire para poder contrastar su radiolucidez. Se trazó un vector entre las zonas de máxima radiolucencia (aire) y radiopacidad (testigo) para obtener un histograma de los tonos de grises del área a través de las herramientas "calibración e histograma" del programa Image J (National Institute of Health, USA). Posteriormente, la imagen total era ajustada (brillo y contraste) hasta obtener un valor de cero para el aire y de doscientos cincuenta y cinco, para el testigo. Luego, se empleó la herramienta de "corrección tonal" con el fin de que todos los tonos de grises de la imagen del diente, estuvieran dentro de la escala de cero a doscientos cincuenta y cinco.

### Análisis radiográfico de las imágenes

Para la observación del patrón de fracturas, la imagen fue visualizada a través del software Adobe Photoshop 7,0 (Adobe Systems Inc., San José, CA, USA). Las líneas se agruparon en tres categorías considerando su orientación con respecto al eje mayor del diente:

longitudinales, transversas y oblicuas, además de la formación de un patrón reticular.

La densidad radiográfica para cada diente fue obtenida en la zona de la raíz mediante el programa Image J (National Institute of Health, USA), a través de la herramienta "selección" y el uso de una tabla digitalizadora (Genius Kye Systems Corp. Taipei, Taiwan), obviando la porción correspondiente a la cavidad pulpar. La corona no fue analizada debido a que experimenta un rápido proceso de destrucción, a partir de ser expuesta a los 250°C. Un mismo observador realizó tres veces cada medición y se obtuvo un valor medio de las lecturas, las cuales fueron tabuladas para su posterior análisis estadístico.

La aposición de la dentina secundaria fue determinada a través de la medición del área correspondiente a la cavidad pulpar y el área de los tejidos duros que persistieran después del tratamiento térmico, empleando para ello las herramientas de "selección" y "cálculo de área" del software Image J (National Institute of Health, USA). Para obtener la relación entre los parámetros antes descritos, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de aposición de dentina secundaria} = \frac{\text{Área de la pulpa radicular (mm}^2\text{)}}{\text{Área de los tejidos duros (mm}^2\text{)}} \times 100$$

### Métodos estadísticos

Se realizó el análisis estadístico empleando el software SPSS versión 11,0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Las diferencias de medias de los tonos de grises correspondientes a la densidad radiográfica de la raíz de los dientes, antes y después de ser sometidos al incremento gradual de la temperatura, fueron medidas mediante una prueba *t*. A la diferencia entre la media de la densidad radiográfica de la raíz antes y después de ser sometida al tratamiento térmico, y su relación con la edad se le aplicó

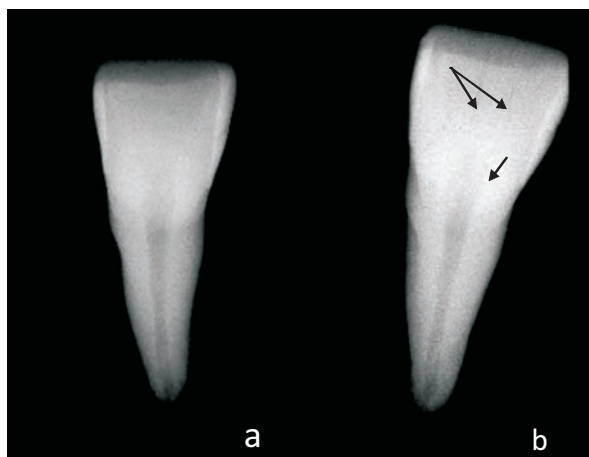
un análisis de factores (ANOVA) y un análisis univariante. Se obtuvo la correlación de Pearson entre el índice de aposición de dentina secundaria, el grupo etario y la temperatura. Se realizó un análisis de regresión simple considerando la edad como variable dependiente. Todas las pruebas fueron realizadas con un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ .

## Resultados

### Patrón de líneas de fracturas

A los 250°C, todos los dientes mostraron algún nivel de daño estructural, tales como fisuras y fracturas, tanto en la corona como en la raíz (Figura 1). A 500°C, las coronas dentales en todos los grupos etarios, mostraron la presencia de fisuras y/o fracturas, y hubo pérdida de la unión amelodentinaria debido a la separación del esmalte y la dentina. En todos los grupos se observó la formación de fragmentos a partir de la corona, siendo aparentemente independiente de la edad, pero siempre asociada a la temperatura. En cuanto a las raíces todas mostraron fisuras y fracturas, siendo estas últimas prevalentes sobre las primeras y de tipo transversas, es decir, perpendiculares al eje mayor del diente (Figura 2).

A 750°C, todas las coronas resultaron afectadas independientemente de la edad. Se observaron numerosas separaciones de la unión amelodentinaria, así como el desprendimiento completo de la corona. La reducción a fragmentos tampoco mostró estar relacionada con la edad. Todas las raíces resultaron afectadas, observándose un patrón predominante de fracturas transversales (Figura 3). A 1150°C, todas las coronas resultaron afectadas. Hubo separación de la corona y la raíz, a expensas de la ruptura de la dentina. Se observó la reducción del esmalte a fragmentos después del desprendimiento de la corona, todo lo cual fue independiente de la edad. Todas las raíces mostraron fisuras y frac-

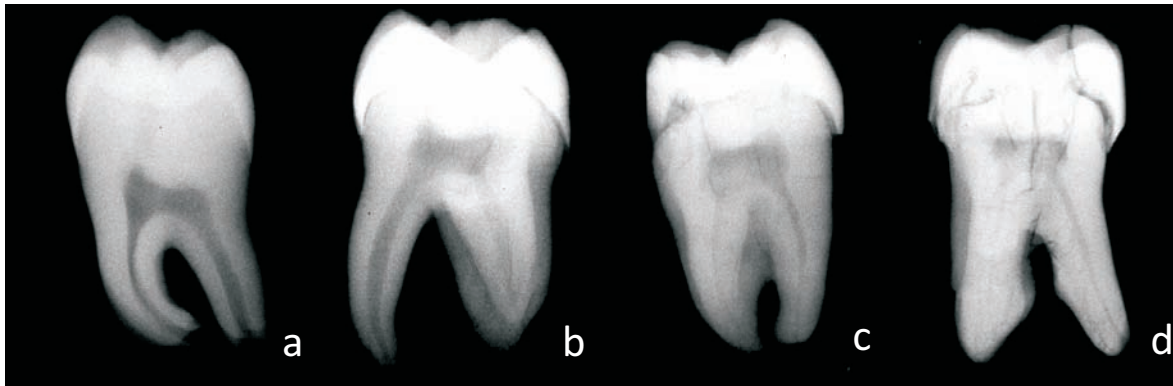


**Figura 1.** Un incisivo central superior antes (a) y después (b) de ser sometido a 250°C. Se observan a nivel de la corona, fracturas (flechas) que alcanzan el canal pulpar.



**Figura 2.** Un incisivo lateral superior antes (a) y después (b) de ser expuesto a 500°C. Se observa una gran fractura (flecha gruesa) que sigue el eje longitudinal del diente. A nivel del tercio cervical de la raíz, una fractura transversal (cabezas de flecha) divide el diente en dos fragmentos. Hay numerosas fracturas transversales y oblicuas (flechas).

turas, con un predominio de las fracturas transversales. Fue notable la presencia de un patrón de fractura reticular (Figura 3).



**Figura 3.** Efecto de las altas temperaturas sobre los tejidos dentales. Se observa la aparición del daño estructural en relación directa al incremento de la temperatura, que comprende el aumento en el número de fisuras y fracturas, el desprendimiento de la corona y el aumento de la densidad radiográfica.

**Tabla 1.** Prueba *t* para la diferencia de media de la densidad radiográfica de los dientes antes y después del tratamiento térmico.

Temperatura	Diferencia media	Significancia	Error Estándar	Límite de confianza mínimo 95%	Límite de confianza máximo 95%
250°C	0,38	0,95	6,38	-12,51	13,28
500°C	-12,96	0,50	6,41	-25,93	1,61E-02
750°C	-13,96	0,03*	6,36	-26,85	-1,07
1150°C	-50,08	0,00**	7,51	-65,38	-34,80

\*Estadísticamente significativo al nivel de 0,05; \*\*Estadísticamente significativo al nivel de 0,001.

#### Densidad radiográfica

Al comparar la diferencia de medias de la densidad radiográfica de los dientes antes y después del tratamiento térmico, se encontraron diferencias significativas a partir de los 750°C (Tabla 1). Sin embargo, estadísticamente no se observaron diferencias significativas entre las medias de las densidades radiográficas, que estuvieran relacionadas con la edad (Datos no mostrados).

#### Índice de aposición de dentina secundaria

Las diferencias de medias de los valores del índice de aposición de dentina secundaria, no fueron estadísticamente significativas entre los dientes radiografiados antes y después del

tratamiento térmico, para todas las temperaturas ensayadas (Datos no mostrados). La Tabla 2 muestra el análisis de correlación de Pearson entre la edad y el índice de aposición de dentina secundaria, obtenido de los dientes sometidos a las diferentes temperaturas estudiadas. Se observó una correlación negativa estadísticamente significativa entre estas variables. En la Tabla 3 se muestra el modelo de regresión para el cálculo de la edad, construido a partir del índice de aposición de dentina secundaria.

#### Discusión

Los dientes incinerados son frágiles por naturaleza, por lo que el Odontólogo Forense no debe escatimar esfuerzos en utilizar méto-

**Tabla 2.** Correlación del índice de aposición de dentina secundaria y la edad.

	Correlación	Significancia
250°C	-0,71	0,001
500°C	-0,78	0,001
750°C	-0,82	0,001
1150°C	-0,73	0,001

**Tabla 3.** Análisis de regresión simple con la edad como variable dependiente, calculada a partir del índice de aposición de dentina secundaria.

Predictores en el modelo	Beta	Significancia	Estadísticas del modelo
Constante	29,81	,000*	R=0,74
Edad	-0,29		R <sup>2</sup> =0,55
			Adj. R <sup>2</sup> =0,54
			SE=5,62

\* Correlación significativa al nivel de 0,001. R: Coeficiente de correlación; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; Adj. Ajustado: SE. Error estándar.

dos de examen que puedan mantener la integridad de la dentición, durante cada fase del examen dental forense<sup>25</sup>. En el presente trabajo, la preservación de los tejidos dentales duros que han experimentado la acción de temperaturas elevadas, fue lograda a través de la polimerización de un bloque de polimetilmetacrilato que contenía en su interior el diente en estudio, evitando así, la destrucción del mismo durante la manipulación.

Para la obtención y preservación de la información registrada durante la autopsia bucal, las radiografías de los dientes y maxilares juegan un papel importante. Éstas, además de proporcionar elementos individuales o generales de identificación, basados en las características anatómicas y patológicas de los dientes, también pueden ser un medio auxiliar para valorar el efecto de las altas temperaturas en las estructuras dentarias<sup>24</sup>.

La optimización de la calidad de la imagen obtenida a través de la digitalización de las radiografías para posterior análisis, requiere la

manipulación de las propiedades, tanto del escáner como del monitor. Para un escáner, una de las opciones más importantes es la resolución de entrada, la cual es determinada por el número de píxeles por pulgada de imagen escaneada<sup>6</sup>. En este estudio, las imágenes fueron escaneadas a una resolución de 300 dpi, con 8 bits y en tonos de grises, lo cual fue crucial para obtener una imagen radiográfica de buena calidad.

Estudios macro y microscópicos como los conducidos por Merlati y col.<sup>23</sup>, Savio y col.<sup>24</sup>, Yamamoto y col.<sup>26</sup> y Fairgrieve<sup>27</sup>, han comprobado la asociación positiva entre la temperatura a la cual fueron expuestos los dientes, y las alteraciones que se producen en las estructuras duras de los mismos. En nuestra investigación, el daño en las estructuras dentales se incrementó con el aumento de la temperatura, a la cual fueron expuestas. Las coronas mostraron fisuras y fracturas a todas las temperaturas estudiadas, manteniendo una relación directa con su incremento, y se manifestaron como la pérdida de la unión amelodentinaria, la separación completa



de la corona y la reducción de ésta a fragmentos, lo cual no guardó relación con la edad. Las raíces comenzaron a mostrar daños a partir de la exposición a 250°C, desde el cuarto grupo etario y permaneciendo afectadas en mayor o menor grado, a medida que eran sometidas a mayores temperaturas.

En condiciones *in vivo*, los dientes están protegidos ante la acción del fuego directo por los tejidos blandos de la cara. Asimismo, las raíces dentarias son resistentes a factores térmicos ya que están incluidas dentro del hueso. Ambas condiciones a menudo no son reproducibles en incineraciones en el laboratorio, en las cuales la mayoría de las veces se observa una violenta evaporación de los componentes orgánicos del diente con la subsecuente explosión de la corona <sup>23</sup>. En este estudio se comprobó que cuando el incremento de la temperatura no se hace gradualmente, ocurren tres procesos: se forman amplias grietas que fragmentan el diente, grandes cantidades de líquido salen por los ápices y la corona se separa de la raíz, quedando completa en algunos casos, y en otros, reducida a fragmentos.

Los cambios estructurales experimentados por los dientes al ser sometidos a la acción del fuego, proporcionan información valiosa para la Ciencia Forense. En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas entre las densidades radiográficas de los dientes antes y después del tratamiento térmico, a partir de los 750°C. Esto puede explicarse porque con el incremento de la temperatura los dientes se hacen inicialmente menos radiopacos, debido a la aparición de fisuras y fracturas (radiolúcidas) producidas por el calor. Sin embargo, una vez alcanzados los 500°C, la carbonización es seguida por un proceso de calcinación donde

ya ha terminado de consumirse el contenido orgánico, y comienza a condensarse el contenido inorgánico (las cenizas), lo cual los hace más radiopacos a los 750 y 1150 °C, incrementándose así su densidad radiográfica (Figura 3).

En 1950, Gustafson dio un gran aporte al combinar diferentes indicadores para estimar la edad dental expresando los cambios como un todo, en forma numérica <sup>15</sup>. Una de las variables consideradas en su fórmula fue la aposición de dentina secundaria, la cual se produce gradualmente por los odontoblastos después que el diente se forma totalmente, reduciendo el tamaño de la cavidad pulpar. Se ha demostrado que con el avance de la edad, existen reducciones estadísticamente significativas en el largo y ancho de los canales radiculares, que pueden ser observadas radiográficamente y atribuidas al incremento de la calcificación del canal radicular, la fibrosis pulpar y la esclerosis y formación de dentina secundaria. Estos hallazgos han sido considerados útiles como biomarcadores de edad, para la Antropología y las Ciencias Forenses <sup>28</sup>.

El método empleado en esta investigación, para determinar el índice de aposición de dentina secundaria, demostró ser aplicable antes y después del tratamiento térmico en todos los grupos etarios. Se encontró que existe una correlación negativa estadísticamente significativa entre la aposición de dentina secundaria y la edad, comprobando que el diámetro y la longitud de la cavidad pulpar se reduce con el avance de la edad. Partiendo de estos resultados, se obtuvo un modelo de regresión para el cálculo de la edad, el cual es útil en cadáveres aún después de haber experimentado la acción de temperaturas elevadas, para contribuir al proceso de establecimiento de la identidad.

## Referencias

1. Fishman SL. The use of medical and dental radiographs in identification. *Int Dent J* 1985 Dec; 35(4):301-306.
2. Wood RE. Forensic aspects of maxillofacial radiology. *Forensic Sci Int* 2006 May; 159 (Suppl 1):S47-S55.
3. Pretty I A, Sweet D. A look at forensic dentistry- Part I: The role of teeth in the determination of human identity. *Br Dent J* 2001 April; 190(7):359-366.
4. Pretty IA, Pretty RJ, Rothwell BR, Sweet D. The reliability of digitized radiographs for dental identification: a Web-based study. *J Forensic Sci* 2003 Nov; 48(6):1325-1330.
5. Shrouf MK, Potter BJ, Yurgalavage M, Hildebolt CF, Vannier MW. 35-mm film scanner as an intraoral dental radiograph digitizer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993 Oct; 76(4):510-518.
6. Attaelmanan A, Borg E, Grondahl HG. Digitisation and display of intra-oral films. *Dentomaxillofacial Radiol* 2000 Mar; 29(2):97-102.
7. Hildebolt CF, Vannier MW, Pilgram TK, Shrouf MK. Quantitative evaluation of digital radiograph imaging systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990 Nov; 70(5):661-668.
8. Yoshiura K, Kawazu T, Chikui T, Tatsumi M, Tokumori K, Tanaka T, Kanda S. Assessment of image quality in dental radiography, part 2. *Oral Surg Oral Med* 1999 Jan; 87(1):123-129
9. Grassl U, Kurt R, Schulze W. In vitro perception of low-contrast features in digital, film, and digitized dental radiographs: A receiver operating characteristic analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod* 2006 May; 103(5):694-701.
10. Moorees CFA, Fanning EA, Hunt EE. Age variation of formation for ten permanent teeth. *J Dent Res* 1963 Nov-Dec; 42(6):1490-1502.
11. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum, Biol* 1973 May; 45(2):211-227.
12. Kullman L, Johanson G, Akesson L. Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J* 1992; 16(4):161-167.
13. Martin-de las Heras, Garcia-Fortea P, Ortega A, Zodocovich S, Valenzuela A. Third molar development according to chronological age in populations from Spanish and Magrebian origin. *Forensic Sci Int* 2008 Jan; 174(1): 47-53.
14. Morse DR, Esposito JV, Schoor RS. A radiographic study of aging changes of the dental pulp and dentin in normal teeth. *Quintessence Int* 1993 May; 24(5):329-333.
15. Gustafson G. Age determinations on teeth. *JADA* 1950 Jul; 41: 45-54.
16. Valenzuela A, Martin-de las Heras S, Mandojana JM, De Dios Luna J, Valenzuela M, Villanueva E. Multiple regression models for age estimation by assessment of morphological dental changes according to teeth source. *Am J Forensic Med Pathol* 2002 Dec; 23(4):386-389
17. Morse DR, Esposito JV, Schoor RS, Gorin R. Comparison of clinical and statistical models in age estimation using dental periapical radiographic parameters. *Compendium* 1993 Jun; 14(6):832, 834, 836.
18. Kvaal SI, Kollveit KM, Thomtsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int* 1995 Jul; 74(3):175-185.
19. Drusini AG, Toso O, Ranzato C. The coronal pulp cavity index: a biomarker for age determination in human adults. *Am J Phys Anthropol* 1997 Jul; 103(3):353-363.

20. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary study. *J Forensic Sci* 2004 Mar; 49(2):317-319.
21. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Precision and reliability of pulp/tooth area ratio (RA) of second molar as indicator of adult age. *J Forensic Sci* 2004 Nov; 49(6):1319-1323.
22. Cameriere R, Ferrante L, Belcastro MG, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by peri-apical X rays. *J Forensic Sci* 2007 Jan; 52(1):166-170.
23. Merlati G, Danesino P, Savio C, Fassina G, Osculati A, Menghini P. Observations on dental prostheses and restorations subjected to high temperatures: experimental studies to aid identification processes. *J Forensic Odontostomatol* 2002 Dec; 20(2):17-24.
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* 2005 May; 158(2-3):108-116.
25. Ferreira JL, Espina de Ferreira A, Ortega AI. Methods for the analysis of hard dental tissues exposed to high temperatures. *Forensic Sci Int* 2008 Jul; 178(2-3): 119-124.
26. Yamamoto K, Ohtani S, Kato S, Sugimoto H, Miake K, Nakamura T. Morphological changes in human and animal enamel rods with heating – Especially limits in temperature allowing discrimination between human and animal teeth. *Bull Kanagawa Dent Col* 1990 Mar; 18(1):55-61.
27. Fairgrieve SI. SEM analysis of incinerated teeth as an aid to positive identification. *J Forensic Sci* 1994 Mar; 34(2):557-565.
28. Solheim T. Amount of secondary dentin as an indicator of age. *Scand J Dent Res* 1992 Aug; 100(4):193-199.