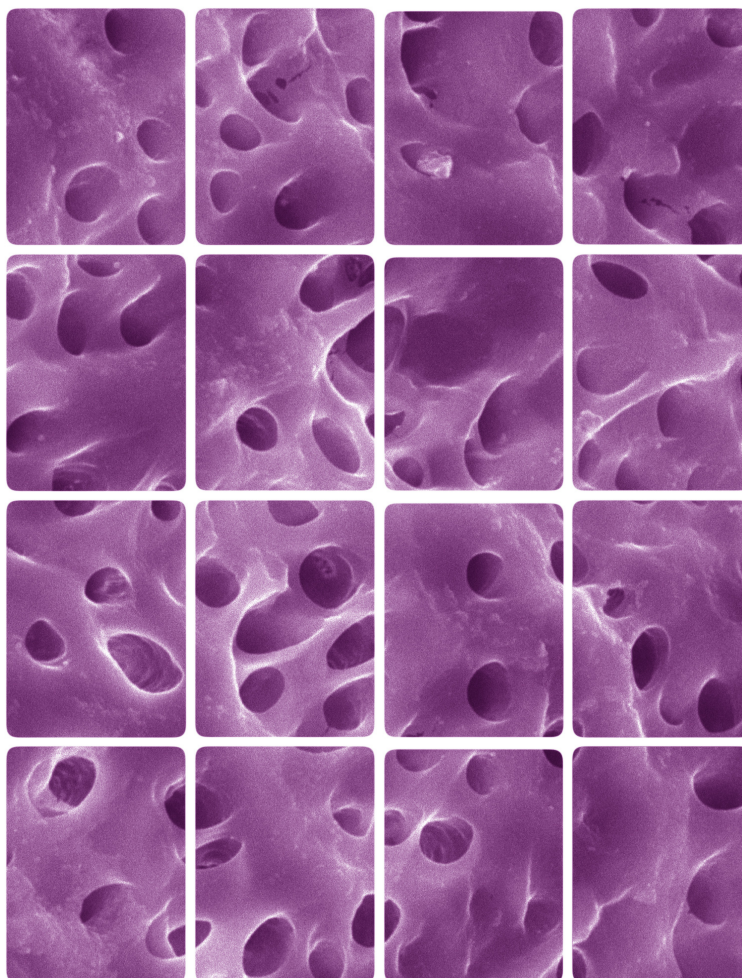




ugr | Universidad
de Granada



EFICACIA DE DIFERENTES SOLUCIONES IRRIGADORAS EN LA PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES

MERCEDES PÉREZ HEREDIA

Granada, 2008

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: María de las Mercedes Pérez Heredia
D.L.: GR.1727-2008
ISBN: 978-84-691-5239-3



UGR | **Universidad
de Granada**



De acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 56/2005, de 21 de enero, los abajo firmantes informamos:

Que los trabajos efectuados en la elaboración de la Tesis Doctoral titulada: **“EFICACIA DE DIFERENTES SOLUCIONES IRRIGADORAS EN LA PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES”**, presentada por D. ^a Mercedes Pérez Heredia, han sido realizados bajo nuestra supervisión y dirección, y reúnen las condiciones académicas necesarias para optar al Grado de Doctor, si así lo considera el Tribunal designado por la Universidad de Granada.

En Granada, a nueve de mayo de dos mil ocho.

Fdo.: Profa. Carmen María
Ferrer Luque
Profesora TITULAR

Fdo.: Profa. María Paloma
González Rodríguez
Prof^a. CONTRATADA DOCTOR

Fdo.: Prof. Santiago
González López
Profesor TITULAR

UNIDAD DOCENTE DE PATOLOGÍA Y TERAPÉUTICA DENTAL
DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE GRANADA



AGRADECIMIENTOS

A mis directores Carmen María Ferrer Luque, María Paloma González Rodríguez y Santiago González López, por su ayuda personal y profesional.

A mi pareja, por su incondicional apoyo, muchas de las horas invertidas son tuyas, y aún así, siempre he recibido el cariño y amor necesario que sólo una gran persona puede dar.

A mis padres y hermanas, por su generoso y constante ánimo.

A Yudi Gómez Villaescusa y a Francisco José Martín Peinado, que de una u otra forma han participado en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.





ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	1
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES	8
2.1.1. Técnicas de instrumentación	8
2.1.2. Instrumentos para la preparación	9
2.2. SOLUCIONES IRRIGADORAS	10
2.3. ELIMINACIÓN DE BARRILLO DENTINARIO Y DETRITUS	14
2.4. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR	17
3. MATERIAL Y MÉTODOS	19
3.1. ELIMINACIÓN DE DETRITUS Y BARRILLO DENTINARIO	19
3.1.1. Material	19
3.1.2. Método	21
3.1.2.1. Selección de la muestra	21



3.1.2.2. Preparación de los especímenes	22
3.1.2.3. Soluciones irrigadoras	23
3.1.2.4. Preparación de los conductos radiculares	23
3.1.2.5. Protocolo de irrigación	28
3.1.2.6. Procesamiento para microscopio electrónico de barrido	29
3.1.2.7. Evaluación con microscopio electrónico de barrido	31
3.1.2.8. Análisis estadístico de los datos	35
3.2. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR	35
3.2.1. Material	35
3.2.2. Método	37
3.2.2.1. Selección de la muestra	37
3.2.2.2. Preparación de los especímenes	38
3.2.2.3. Soluciones irrigadoras	38
3.2.2.4. Preparación de los conductos radiculares	38
3.2.2.5. Evaluación con espectrofotometría de absorción atómica	40
3.2.2.6. Análisis estadístico de los datos	42
4. RESULTADOS	43
4.1. ELIMINACIÓN DE DETRITUS	43
4.1.1. Análisis factorial completo	43
4.1.2. Resultados de la eliminación de detritus	44
4.1.2.1. Tercio apical	44
4.1.2.2. Tercio medio	45
4.1.2.3. Tercio coronal	46
4.1.3. Influencia de las soluciones irrigadoras	47
4.1.3.1. Instrumentación manual	47
4.1.3.2. Instrumentación rotatoria	48
4.1.4. Influencia del tercio radicular	49
4.1.4.1. Instrumentación manual	49
4.1.4.2. Instrumentación rotatoria	50
4.1.5. Influencia de la técnica de instrumentación	52
4.1.5.1. Tercio apical	52

4.1.5.2. Tercio medio	52
4.1.5.3. Tercio coronal	53
4.2. ELIMINACIÓN DE BARRILLO DENTINARIO	53
4.2.1. Análisis factorial completo	53
4.2.2. Resultados de la eliminación de barrillo dentinario	54
4.2.2.1. Tercio apical	54
4.2.2.2. Tercio medio	55
4.2.2.3. Tercio coronal	55
4.2.3. Influencia de las soluciones irrigadoras	56
4.2.3.1. Instrumentación manual	56
4.2.3.2. Instrumentación rotatoria	57
4.2.4. Influencia del tercio radicular	58
4.2.4.1. Instrumentación manual	58
4.2.4.2. Instrumentación rotatoria	59
4.2.5. Influencia de la técnica de instrumentación	61
4.2.5.1. Tercio apical	61
4.2.5.2. Tercio medio	61
4.2.5.3. Tercio coronal	62
4.3. EXTRACCIÓN DE CALCIO	62
4.3.1. Análisis factorial completo	62
4.3.2. Miligramos de calcio extraído	63
4.3.3. Influencia de la solución de inmersión	63
4.3.4. Influencia del tiempo de inmersión	64
4.4. VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN DE CALCIO	65
4.4.1. Análisis factorial completo	65
4.4.2. Porcentaje de calcio extraído	66
4.4.3. Influencia de la solución de inmersión	67
4.4.4. Influencia del tiempo de inmersión	67
5. DISCUSIÓN	69
5.1. ANÁLISIS DEL MÉTODO EMPLEADO	69
5.2. ELIMINACIÓN DE DETRITUS Y BARRILLO DENTINARIO	71



5.2.1. Influencia de la solución irrigadora	71
5.2.1.1. Eliminación de detritus	73
5.2.1.2. Eliminación de barrillo dentinario	73
5.2.2. Influencia del tercio radicular	71
5.2.2.1. Eliminación de detritus	75
5.2.2.2. Eliminación de barrillo dentinario	76
5.3.2. Influencia de la técnica de instrumentación	78
5.3.2.1. Eliminación de detritus	78
5.3.2.2. Eliminación de barrillo dentinario	80
5.3. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR	81
5.3.1. Miligramos de calcio extraído: influencia de la solución y tiempo de inmersión	82
5.3.2. Porcentaje de calcio extraído: influencia de la solución y tiempo de inmersión	83
6. CONCLUSIONES	85
7. BIBLIOGRAFÍA	87
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA	97



1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La limpieza y conformación de los conductos radiculares está considerada como la fase más importante para conseguir el éxito del tratamiento endodóntico.

La limpieza del conducto radicular depende tanto de la técnica de instrumentación como de la solución irrigadora utilizada. Algunas investigaciones han demostrado las limitaciones de las técnicas de instrumentación manual y mecánica^{1,2,3,4,5} en la calidad de la preparación radicular.

¹ Weine FS, Kelly RF, Bray KE. Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. J Endod. 1976;2:298-303.

² Bolanos OR, Sinai IH, Gonsky MR, Srinivasan R. A comparison of engine and air-driven instrumentation methods with hand instrumentation. J Endod. 1988;14:392-6.

³ Hulsmann M, Stryga F. Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. J Endod. 1993;19:141-5.

⁴ Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. J Endod. 1997;23:301-6.

⁵ Bertrand MF, Pizzardini P, Muller M, Medioni E, Rocca JP. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. Int Endod J. 1999;32:217-24.

Existen estudios en la literatura científica acerca de la eficacia de los sistemas manuales^{6,7,8,9,10} y rotatorios^{11,12,13,14,15,16,17,18} en la limpieza de conductos radiculares. La mayoría de estos trabajos demuestran que ninguno de estos sistemas consigue una limpieza completa del conducto, principalmente en la región apical de los conductos curvos.

La acción de corte de los instrumentos endodónticos crea una capa de barrillo dentinario. Para su remoción es necesario la eliminación del componente orgánico mediante el uso del hipoclorito de sodio y del componente inorgánico mediante el empleo de soluciones que-lantes.

El hipoclorito sódico, a concentraciones entre el 0,5% al 5,25%, es la solución irrigadora que más se utiliza en la preparación de los conductos radiculares debido, principalmente, a su poder bactericida y a su capacidad para disolver tejido necrótico y materia orgánica¹⁹. Algunos autores han demostrado que el uso de una solución de hipoclorito de sodio altera la ratio Ca/P de la dentina radicular^{20,21}.

⁶ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

⁷ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

⁸ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

⁹ Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.

¹⁰ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

¹¹ Hulsmann M, Schade M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2001;34:538-46.

¹² Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.

¹³ Hulsmann M, Herbst U, Schafers F. Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J.* 2003;36:748-56.

¹⁴ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

¹⁵ Versumer J, Hulsmann M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37-46.

¹⁶ Schafer E, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles - Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2003;36:208-17.

¹⁷ Prati C, Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S. Appearance of the root canal walls after preparation with NiTi rotary instruments: a comparative SEM investigation. *Clin Oral Investig.* 2004;8:102-10.

¹⁸ Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *Oral Sci.* 2007;49:47-52.

¹⁹ Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T. Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;94:756-62.

²⁰ Dogan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

²¹ Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.

Las soluciones irrigadoras desmineralizantes eliminan el componente inorgánico del barrillo dentinario, modificando el contenido mineral de la dentina radicular. Entre las más utilizadas se encuentran las sales de sodio del ácido etilen-diamino-tetracético (EDTA), a concentraciones del 15 y 17% y pH neutro²². EL EDTA se emplea en conductos estrechos y calcificados por su capacidad para extraer iones calcio, y para eliminar barrillo dentinario y mejorar el efecto antibacteriano del hipoclorito sódico²³. El ácido cítrico a concentraciones del 10, 25 y 50%²⁴ no sólo elimina el barrillo dentinario, además posee propiedades antimicrobianas sobre bacterias anaerobias facultativas y obligadas^{25,26}. Por último, el ácido ortofosfórico (PO₄H₃), el acondicionador universal en Operatoria dental, se ha utilizado en dentina radicular a concentraciones del 6%, 10%, 32% y 37%^{27,28,29}.

La eficacia de estas soluciones ha sido determinada con mediciones de microdureza, evaluaciones microrradiográficas, estudios de espectrofotometría^{30,31,32,33,34,35,36} y, la mayoría de las veces, con microscopia electrónica de barrido^{37,38,39,40,41,42,43,44,45}. Algunos estudios

²² Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²³ Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod.* 1995;21:592-3.

²⁴ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Mechanical instrumentation of the root canals. A study using SEM and computerized image analysis. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol.* 1996;39:111-7.

²⁵ Nikolaus BE, Wayman BE, Encinas E. The bactericidal effect of citric acid and sodium hypochlorite on anaerobic bacteria. *J Endod.* 1988;14:31-4.

²⁶ Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod.* 1996;22:27-9.

²⁷ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁸ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

²⁹ Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32:32-9.

³⁰ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

³¹ Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

³² Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

³³ Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.

³⁴ Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004;37:365-9.

³⁵ Verdels K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.

³⁶ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolanos-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

³⁷ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

³⁸ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

³⁹ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28:141-8.

⁴⁰ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

realizados con espectrofotometría de absorción atómica han demostrado la capacidad de extracción de iones calcio de la dentina radicular de soluciones de EDTA al 17% y ácido cítrico a diferentes concentraciones (1%, 10% y 20%), en distintos periodos de inmersión^{46,47,48,49}. No obstante no se han encontrado estudios sobre la capacidad de desmineralización de la dentina radicular con soluciones de ácido ortofosfórico.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, los objetivos del presente trabajo son:

1. Evaluar la capacidad de limpieza de detritus, en los tres tercios del conducto radicular, de una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, y de soluciones de ácido etilen-diamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con hipoclorito de sodio al 2,5%, con técnicas de instrumentación manual y rotatoria.
2. Valorar la capacidad de eliminación del barrillo dentinario, en los tres tercios del conducto radicular, de una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, y de soluciones de ácido etilen-diamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con hipoclorito de sodio al 2,5%, con técnicas de instrumentación manual y rotatoria.
3. Comparar la eficacia en la eliminación de detritus entre los tres tercios radiculares, de una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, y de soluciones de ácido etilen-diamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con hipoclorito de sodio al 2,5%, con técnicas de instrumentación manual y rotatoria.
4. Contrastar la eficacia en la remoción del barrillo dentinario entre los tercios radiculares, de una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, y de soluciones de ácido etilen-diamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con hipoclorito de sodio al 2,5%, con técnicas de instrumentación manual y rotatoria.

⁴¹ Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod.* 1987;13:147-57.

⁴² Calt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *J Endod.* 2000;26:459-61.

⁴³ O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26:739-43.

⁴⁴ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopia electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odontol-Estomatol.* 1993;6:313-20.

⁴⁵ Haznedaroglu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

⁴⁶ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

⁴⁷ Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004;37:365-9.

⁴⁸ Verdellis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.

⁴⁹ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolanos-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

5. Comparar la cantidad de detritus eliminada del conducto radicular, mediante técnicas de instrumentación manual y rotatoria, con las cuatro soluciones irrigadoras.
6. Comparar la cantidad de barrillo dentinario eliminada del conducto radicular, mediante técnicas de instrumentación manual y rotatoria, con las cuatro soluciones irrigadoras.
7. Determinar la capacidad de extracción de iones calcio de la dentina radicular tras 5, 10 y 15 minutos de inmersión de soluciones de hipoclorito de sodio al 2,5%, ácido etilendiamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%.
8. Evaluar la cinética de extracción de iones calcio de la dentina radicular tras 5, 10 y 15 minutos de inmersión de soluciones de hipoclorito de sodio al 2,5%, ácido etilendiamino-tetraacético al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%.



2. INTRODUCCIÓN

La finalidad terapéutica del tratamiento de conductos radiculares es devolver la integridad anatómica y funcional al diente tratado.

La preparación del conducto radicular está considerada como la fase más importante para conseguir el éxito del tratamiento endodóncico⁵⁰. Dicha fase está condicionada por factores^{51,52} como son la anatomía radicular, el estado patológico de la pulpa y los tejidos periradiculares, el tipo de instrumental y técnica empleada, la esterilización y asepsia del campo operatorio; y los medios químicos (sustancias irrigadoras) y físicos (jeringa, aguja, aspiración) utilizados.

⁵⁰ Fava LR. The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. J Endod. 1983;9:76-80.

⁵¹ Rodrigo SB, Ulfohn R, Gani O. Variación del ángulo de curvatura en conductos mesiales de molares inferiores analizando cuatro técnicas de instrumentación en dos grupos etarios. Endodoncia. 1996;14:165-74.

⁵² Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am. 1974;18:269-96.

2.1. PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES

El objetivo principal de la preparación endodóncica es conseguir la limpieza y desinfección del complejo sistema de conductos radiculares, manteniendo la morfología inicial de los mismos.

2.1.1. TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN

Para la preparación del conducto radicular existen dos grandes grupos de técnicas de instrumentación: técnicas apicocoronales y técnicas coronoapicales⁵³.

En las **técnicas apicocoronales**, la instrumentación se inicia en la zona apical y se continúa con la preparación de los tercios medio y coronal. El objetivo de estas técnicas es mantener un pequeño calibre apical e ir aumentando la conicidad de forma gradual hacia la zona coronal. De esta forma se solventan ciertos problemas de la técnica convencional como la formación de zips, escalones, perforaciones, etc. Otra ventaja a destacar es el aumento del calibre coronario del conducto, lo que facilita la introducción del espaciador y la colocación de las puntas de gutapercha. En la zona apical se emplean limas más flexibles y de menor tamaño para minimizar el riesgo de fractura de los instrumentos^{54,55}.

La instrumentación en las **técnicas coronoapicales** se inicia en las zonas coronal y media, como condición previa para instrumentar la zona apical. Con ello se intenta conseguir un vaciamiento gradual del contenido séptico de la cavidad pulpar, evitando la extrusión de restos al periápice y disminuyendo las posibles molestias postoperatorias. Entre sus ventajas se pueden destacar las siguientes^{56,57}:

- Facilita el acceso directo a la región apical.
- Reduce la formación de escalones, el empaquetamiento del contenido radicular y el transporte apical.
- Facilita la introducción de las soluciones irrigadoras y mejora la remoción del contenido del conducto radicular.

⁵³ Canalda Sahlí C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahlí C, Brau Aguade E. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-98.

⁵⁴ Leonardo MR, Leal JM. Preparación biomecánica de los conductos radiculares. En: Leonardo MR, Leal JM. Endodoncia. Tratamiento de los conductos radiculares. 2ªed. Madrid: Médica Panamericana; 1994. p. 296-320.

⁵⁵ Fernández Baca H. Preparación telescópica manual. Endodoncia. 1993;11:175-82.

⁵⁶ Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S. The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. J Endod. 1987;13:102-8.

⁵⁷ Buchanan LS. Cleaning and shaping the root canal system: negotiating canals to the termini. Dent Today. 1994;13:76, 78-81.

- Disminuye la contaminación del periápice, al ser eliminado el contenido del conducto previamente a la instrumentación apical.
- Mejora la adaptación del cono principal de gutapercha y facilita la introducción del espaciador; así como los procedimientos de obturación, independientemente de la técnica empleada.

2.1.2. INSTRUMENTOS PARA LA PREPARACIÓN

La preparación de conductos radiculares se realiza con instrumentos manuales, instrumentos activados de forma mecánica, o mediante la combinación de ambos tipos de instrumentos.

Las limas K, de conicidad 2%, son los instrumentos más utilizados para la preparación manual de conductos radiculares. Su segmento cortante es de 16mm y la longitud de éste más el vástago es de 21, 25, y 31mm. Tienen una conicidad creciente, desde la punta del instrumento (D_0) hasta la parte coronal (D_{16}) de dos centésimas de milímetro por cada milímetro de longitud. Los mangos se fabrican siguiendo un código de colores estandarizado en función del diámetro en D_0 . La fabricación de estos instrumentos se realiza principalmente con aleaciones de acero inoxidable, y aleaciones de níquel-titanio y titanio-aluminio. Las limas K de sección triangular y romboidal tienen mayor flexibilidad y menor rigidez que las de sección cuadrangular^{58,59}.

Para solventar los problemas de deformación de los conductos se han comercializado instrumentos de níquel-titanio (NiTi). El empleo de estas aleaciones y las modificaciones en la fabricación de los instrumentos endodónticos (diferentes conicidades, perfil de la sección, distintos ángulos de corte, profundidad de las espiras y diseño de la punta) han dado lugar a la aparición de numerosos sistemas de instrumentos para la preparación mediante rotación horaria continua⁶⁰. La utilización de estos sistemas pretende facilitar y acelerar la preparación del conducto radicular, reduciendo la fatiga del profesional y del paciente^{61,62}.

La mayoría de los sistemas para la preparación rotatoria horaria continua utilizan instrumentos de níquel titanio de distintas conicidades y diámetros, y se utilizan con técnica de preparación coronoapical. Entre los que se encuentran:

⁵⁸ Eldeeb ME, Boraas JC. The effect of different files on the preparation shape of severely curved canals. *Int Endod J.* 1985;18:1-7.

⁵⁹ Dolan DW, Craig RG. Bending and torsion of endodontic files with rhombus cross sections. *J Endod.* 1982;8:260-4.

⁶⁰ Canalda Sahlí C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahlí C, Brau Aguade E. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-98.

⁶¹ Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod.* 1984;10:491-8.

⁶² Fogarty TJ, Montgomery S. Effect of preflaring on canal transportation. Evaluation of ultrasonic, sonic, and conventional techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;72:345-50.

- 1) **Instrumentos de igual conicidad (ISO .02, .04, .06) y diámetro de la punta (D₀) diferente** como los sistemas ProFile[®] (Dentstply Maillefer), K3[®] Endo (Sybron Endo), Hero 642 (Micromega[™]). El inconveniente de poseer la misma conicidad es que, en rotación continua, el instrumento tiende a enroscarse en la parte apical, bloqueándose y rompiéndose. Por eso es conveniente utilizar los instrumentos de mayor conicidad al principio, para que los más finos tengan menos contacto con el conducto⁶³.
- 2) **Instrumentos de conicidad diferente (ISO .04, .06, .08, .1) e igual diámetro de la punta (D₀)** como el sistema GT[™] (Dentstply Maillefer). Se usan instrumentos de mayor a menor conicidad con lo que se consigue una reducción del área del mismo en contacto con las paredes del conducto y se facilita el movimiento hacia el ápice. Con estos instrumentos, la preparación del conducto es muy conservadora ya que la eliminación de dentina de las paredes es escasa. En dientes infectados se debe ampliar más el calibre apical para asegurar la eliminación de bacterias⁶⁴.
- 3) **Instrumentos de conicidad variable (del 2% al 19%) y diámetros de punta (D₀) diferentes** como el sistema ProTaper[®], que es el resultado de la combinación de los sistemas anteriores. El sistema ProTaper intenta proporcionar flexibilidad, eficacia y seguridad durante la preparación, con el menor número posible de limas. La secuencia de instrumentación es sencilla y la técnica fácil de aprender⁶⁵. Una de las grandes ventajas de este sistema deriva de la incorporación de conicidades progresivas y diferentes en cada uno de los instrumentos, lo que permite realizar una técnica de instrumentación coronapical con cada lima.

2.2. SOLUCIONES IRRIGADORAS

Las bacterias y sus productos metabólicos juegan un papel esencial en la patogenia de las enfermedades pulpo-periapicales. En la infección crónica de origen endodóntico las bacterias pueden propagarse por todo el sistema de conductos radiculares, incluyendo ramificaciones, deltas, istmos y tubulillos dentinarios. La desinfección del sistema de conductos, antes de la obturación, es uno de los objetivos principales de la preparación de conductos⁶⁶.

⁶³ Beeson TJ, Hartwell GR, Thornton JD, Gunsolley JC. Comparison of debris extruded apically in straight canals: conventional filing versus profile .04 Taper series 29. *J Endod.* 1998;24:18-22.

⁶⁴ Siqueira JF Jr, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod.* 1999;25:332-5.

⁶⁵ West JD. Introduction of a new rotary endodontic system: progressively tapering files *Dent Today.* 2001;20:50-2, 54-7.

⁶⁶ Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89:321-8.

La irrigación pretende facilitar el desbridamiento, la esterilización y la conformación de los conductos durante su preparación. Idealmente, una solución irrigadora debería de poseer las siguientes propiedades^{67,68}:

1. Disolución del tejido necrótico y restos pulpares vitales.
2. Efecto antibacteriano.
3. Eliminación de detritus y barrillo dentinario (remoción del componente orgánico e inorgánico).
4. Escasa o nula toxicidad si se extravasa al periápice.
5. Baja tensión superficial.
6. Lubrificante.

Diferentes soluciones irrigadoras se emplean en la preparación de conductos radiculares, entre ellas: hipoclorito de sodio (NaClO)^{69,70,71,72,73}, digluconato de clorhexidina^{74,75,76,77},

⁶⁷ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁶⁸ Canalda Sahlí C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahlí C, Brau Aguade E. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-98.

⁶⁹ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁷⁰ Jiménez-Rubio A, Segura JJ, Llamas R, Jiménez-Planas A, Guerrero JM, Calvo JR. In vitro study of the effect of sodium hypochlorite and glutaraldehyde on substrate adherence capacity of macrophages. J Endod. 1997;23:562-4.

⁷¹ Harrison JW, Wagner GW, Henry CA. Comparison of the antimicrobial effectiveness of regular and fresh scent Clorox. J Endod. 1990;16:328-30.

⁷² Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth Int Endod J. 2006;39:203-12.

⁷³ Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. J Oral Sci. 2007;49:47-52.

⁷⁴ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁷⁵ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. J Endod. 2006;32:781-4.

⁷⁶ Onçağ O, Hoşgör M, Hilmioglu S, Zekioglu O, Eronat C, Burhanoğlu D. Comparison of antibacterial and toxic effects of various root canal irrigants. Int Endod J. 2003;36:423-32.

⁷⁷ Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals J Endod. 2003;29:562-4.

ácido etilen-diamino tetracético (EDTA)^{78,79,80,81}, ácido cítrico^{82,83,84,85}, peróxido de hidrógeno⁸⁶, MTAD (doxicilina, ácido cítrico y Tween-80)⁸⁷, detergentes (laurildietilenglicol, cloruro de benzalconio)⁸⁸, etc. Sin embargo, ninguna cumple todas las características de la solución irrigadora ideal.

De los agentes anteriormente citados, el hipoclorito de sodio es la solución irrigadora más utilizada por su poder bactericida y su capacidad para disolver materia orgánica y tejido necrótico^{89,90,91,92}. Se usa a concentraciones desde el 0,5% hasta el 5,25%. A mayor concentración mejora sus propiedades antibacterianas pero también sus efectos tóxicos^{93,94}. No obstante, soluciones de hipoclorito de sodio a concentraciones del 2,65% y 5,25% han mostrado una eficacia antibacteriana similar⁹⁵. Sin embargo, las soluciones de hipoclorito sódico, por sí solas, no son capaces de eliminar todas las bacterias del interior de los conductos, por lo que deben utilizarse con soluciones capaces de eliminar el barrillo dentinario e incrementar, al mismo tiempo, su eficacia antibacteriana^{96,97,98,99}.

⁷⁸ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1994;78:359-67.

⁷⁹ Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. J Endod. 2005;31:817-20.

⁸⁰ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. Int Endod J. 2000;33:46-52.

⁸¹ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁸² Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1994;78:359-67.

⁸³ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. Endodoncia. 2000;18:207-14.

⁸⁴ Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. J Endod. 1996;22:27-9.

⁸⁵ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁸⁶ Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. J Endod. 1977;3:49-53.

⁸⁷ Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S. A new solution for the removal of the smear layer. J Endod. 2003;29:170-5.

⁸⁸ Canalda Sahlí C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahlí C, Brau Aguade E. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-98.

⁸⁹ Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. J Endod. 1985;11:525-8.

⁹⁰ Jiménez-Rubio A, Segura JJ, Llamas R, Jiménez-Planas A, Guerrero JM, Calvo JR. In vitro study of the effect of sodium hypochlorite and glutaraldehyde on substrate adherence capacity of macrophages. J Endod. 1997;23:562-4.

⁹¹ Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. J Endod. 1983;9:137-42.

⁹² Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁹³ Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. J Endod. 1985;11:525-8.

⁹⁴ Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

⁹⁵ Harrison JW, Wagner GW, Henry CA. Comparison of the antimicrobial effectiveness of regular and fresh scent Clorox. J Endod. 1990;16:328-30.

⁹⁶ Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res. 1981;89:321-8.

⁹⁷ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. J Prosthet Dent. 2001;85:67-72.

Las sales del ácido etilen-diamino-tetracético (EDTA) son agentes coloidales capaces de formar compuestos solubles no iónicos con un gran número de iones metálicos. Las concentraciones más usadas son el 15% y el 17%, con un pH neutro^{100,101}. Se utiliza principalmente para eliminar el barrillo dentinario y mejorar el efecto antibacteriano del hipoclorito sódico^{102,103}.

El ácido cítrico es un agente quelante, con capacidad antibacteriana, que se ha mostrado eficaz a concentraciones del 10%, 15%, 25% y 50% para eliminar la capa de barrillo dentinario^{104,105,106,107}, aunque se prefieren las concentraciones bajas¹⁰⁸. En relación a su capacidad antibacteriana, Yamaguchi y colaboradores¹⁰⁹ demostraron que soluciones de ácido cítrico al 9,6%, 19,2% y 38% tenían propiedades antimicrobianas sobre bacterias anaerobias facultativas y obligadas. Nikolaus y cols.¹¹⁰ encontraron que la combinación de NaClO y ácido cítrico tenía un efecto bactericida sobre bacterias anaerobias.

El ácido ortofosfórico es un ácido fuerte que se utiliza como acondicionador universal en Operatoria dental. Generalmente se emplea en forma de gel, a una concentración entre el 35 y el 37%. Su capacidad bactericida sobre cepas bacterianas comunes, presentes en la cavidad de caries, ha sido demostrada a concentraciones que oscilan entre el 27% y 37,5%¹¹¹.

⁹⁸ Haznedaroğlu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

⁹⁹ Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

¹⁰⁰ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

¹⁰¹ Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28:501-2.

¹⁰² Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod.* 1995;21:592-3.

¹⁰³ Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

¹⁰⁴ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopia electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odontol Estomatol.* 1993;6:313-20.

¹⁰⁵ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia.* 2000;18:207-14.

¹⁰⁶ Haznedaroğlu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

¹⁰⁷ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

¹⁰⁸ Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

¹⁰⁹ Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod.* 1996;22:27-9.

¹¹⁰ Nikolaus BE, Wayman BE, Encinas E. The bactericidal effect of citric acid and sodium hypochlorite on anaerobic bacteria. *J Endod.* 1988;14:31-4.

¹¹¹ Settembrini L, Boylan R, Strassler H, Scherer W. A comparison of antimicrobial activity of etchants used for a total etch technique *Oper Dent.* 1997;22:84-8.

2.3. ELIMINACIÓN DEL BARRILLO DENTINARIO Y DETRITUS

McComb y Smith¹¹² fueron los primeros investigadores en demostrar la presencia de barrillo dentinario en los conductos radiculares instrumentados. El barrillo dentinario o *smear layer*, también llamado barro dentinario, magma dentinario, raspa dentinaria, lámina untuosa, capa amorfa de restos, capa lodosa o dentina traslocada, se forma en las paredes de los conductos radiculares por la acción mecánica de los instrumentos¹¹³, no existiendo en las paredes del conducto radicular sin instrumentar o en zonas del conducto apenas instrumentadas^{114,115,116}.

Se puede definir el barrillo dentinario como una capa amorfa, irregular y granular de espesor variable, entre 1-5 micras, que puede condensarse en el interior de los túbulos a una profundidad de 40 micras, en forma de material granular o particulado, obliterándolos por completo. El barrillo dentinario está compuesto por componentes inorgánicos inespecíficos procedentes de la estructura dentaria (material calcificado) y materia orgánica como tejido pulpar vivo o necrótico, procesos odontoblásticos, células sanguíneas, saliva y microorganismos¹¹⁷. En función de su localización se pueden diferenciar dos partes: la capa de barrillo dentinario propiamente dicha, que se encuentra en la superficie de la pared instrumentada, y los tags, que no son más que el barrillo dentinario compactado en el interior de los túbulos durante la instrumentación^{118,119,120,121,122}.

La Asociación Americana de Endodoncistas define detritus como virutas de dentina, restos pulpaes y partículas sueltas, depositadas en las paredes del conducto radicular¹²³.

¹¹² McComb D, Smith DC A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. J Endod. 1975;1:238-42.

¹¹³ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. Int Endod J. 1995;28:141-8.

¹¹⁴ Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. J Endod. 1984;10:477-83.

¹¹⁵ Baker MC, Ashrafi SH, Van Cura JE, Remeikis NA. Ultrasonic compared with hand instrumentation: a scanning electron microscope study J Endod. 1988;14:435-40.

¹¹⁶ Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron microscopic study. Int Endod J. 1990;23:163-71.

¹¹⁷ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. Int Endod J. 1995;28:141-8.

¹¹⁸ Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. J Endod. 1984;10:477-83.

¹¹⁹ Baker MC, Ashrafi SH, Van Cura JE, Remeikis NA. Ultrasonic compared with hand instrumentation: a scanning electron microscope study J Endod. 1988;14:435-40.

¹²⁰ Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron microscopic study. Int Endod J. 1990;23:163-71.

¹²¹ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. Int Endod J. 1995;28:141-8.

¹²² Czonstkowsky M, Wilson EG, Holstein FA. The smear layer in endodontics. Dent Clin North Am. 1990;34:13-25.

¹²³ American Association of Endodontists. Glossary. Contemporary Terminology for Endodontics. 5ª ed. AAE: Chicago; 1994.



Actualmente existe un consenso en la comunidad científica respecto a la remoción del barrillo dentinario y los detritus. La mayoría de autores abogan por su eliminación por las siguientes razones¹²⁴:

- Esta capa contiene microorganismos o fracciones celulares¹²⁵.
- Funciona como una barrera para la difusión de soluciones antibacterianas, impidiendo su penetración en los túbulos dentinarios¹²⁶.
- Crea un medio adecuado para la proliferación de microorganismos, siendo un reservorio de irritantes potenciales¹²⁷.
- Constituye una barrera física para los materiales que tienen la capacidad de fluir al interior de los túbulos^{128,129,130}.
- Su remoción disminuye la microbiota y las endotoxinas del interior del conducto y facilita el sellado con los materiales de obturación^{131,132}.

La eliminación del barrillo dentinario requiere el uso de un solvente de materia orgánica y de un agente quelante para su completa remoción. Para conseguir este objetivo ha sido recomendada una combinación de hipoclorito sódico y una solución de EDTA^{133,134,135,136,137}.

¹²⁴ Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2007;33:96-105.

¹²⁵ White Robert R, Goldman M, Lin PS. The influence of the smear-layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials. *J Endod.* 1984;10:558-62.

¹²⁶ Tauber R, Morse DR, Sinai IA, Furst ML. A magnifying lens comparative evaluation of conventional and ultrasonically energized filing. *J Endod.* 1983;9:269-74.

¹²⁷ Fogel HM, Pashley DH. Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *J Endod.* 1990;16:442-5.

¹²⁸ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28:141-8.

¹²⁹ Goya C, Yamazaki R, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on smear layer at the apical stop and apical leakage after obturation. *Int Endod J.* 2000;33:266-71.

¹³⁰ Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2007;33:96-105.

¹³¹ Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J. The effect of the smear layer on the impenetrability of the root canal obturation. *Inf Dent.* 1986;68:1699-702.

¹³² Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2007;33:96-105.

¹³³ Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1990;23:163-71.

¹³⁴ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

¹³⁵ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

¹³⁶ Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005;31:817-20.

¹³⁷ Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

Igualmente, la combinación de soluciones de ácido cítrico con hipoclorito de sodio promueve la remoción de la capa residual, abre los túbulos dentinarios y ejerce una acción antibacteriana eficaz^{138,139,140,141,142}.

Algunos autores encuentran una mayor eliminación de barrillo dentinario con el uso combinado de soluciones de ácido cítrico e NaClO al 2,5%, que con soluciones de EDTA alterado con NaClO al 2,5%^{143,144,145}. No obstante, soluciones de ácido cítrico al 10% y de EDTA al 15% han mostrado su eficacia en la eliminación de la capa residual, sin desmineralizar en exceso la dentina radicular^{146,147}.

En la práctica clínica, cualquiera de estas dos soluciones es recomendable para eliminar el barrillo dentinario; sin embargo, el ácido cítrico es menos tóxico para los tejidos periapicales que el EDTA, a las concentraciones utilizadas en la preparación de conductos radiculares^{148,149}.

El ácido ortofosfórico, utilizado diariamente en la práctica odontológica conservadora, es un ácido fuerte capaz de remover el barrillo dentinario de la dentina. En Endodoncia existen pocas referencias sobre el uso del ácido ortofosfórico para la eliminación del barrillo

¹³⁸ Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005;31:817-20

¹³⁹ Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, González Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñón M, Magnan Muñoz F. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odontol Estomatol.* 2002;14:275-80.

¹⁴⁰ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia.* 2000;18:207-14.

¹⁴¹ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopía electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odontol Estomatol.* 1993;6:313-20.

¹⁴² Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

¹⁴³ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

¹⁴⁴ Nikolaus BE, Wayman BE, Encinas E. The bactericidal effect of citric acid and sodium hypochlorite on anaerobic bacteria. *J Endod.* 1988;14:31-4.

¹⁴⁵ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia.* 2000;18:207-14.

¹⁴⁶ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

¹⁴⁷ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

¹⁴⁸ Ando F. Chemical preparation in endodontic therapy. 1. The effect of EDTA on powdered dentin and dentinal walls. *Aichi Gakuin Daigaku Shigakkai Shi.* 1985;23:448-54.

¹⁴⁹ Scelza MF, Daniel RL, Santos EM, Jaeger MM. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *J Endod.* 2001;27:741-3.



dentinario. Algunos autores^{150,151,152,153,154} han recomendado este agente durante la preparación de conductos radiculares. Los protocolos descritos utilizan concentraciones del 6%, 10% y 32%, en solución acuosa, y del 37%, en gel, para la remoción del barrillo dentinario.

2.4. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR

El calcio (Ca) y el fósforo (P), presentes en los cristales de hidroxiapatita son los principales componentes inorgánicos del tejido dental duro. Está demostrado que la ratio Ca/P de la hidroxiapatita de la dentina es aproximadamente de 1,67M, según el tipo de cristal, la disponibilidad de Ca, la ubicación anatómica y la técnica de determinación^{155,156,157}.

Algunos autores^{158,159,160,161,162} han demostrado que soluciones de EDTA y ácido cítrico, utilizados para eliminar el componente inorgánico; así como de hipoclorito de sodio, para la eliminación del componente orgánico del interior de los conductos instrumentados, alteran el contenido mineral de la dentina radicular de forma significativa.

La eficacia de desmineralización de los agentes quelantes utilizados en la preparación de conductos radiculares depende de la longitud radicular, el tiempo de aplicación, el pH de la solución y su profundidad de penetración en la dentina^{163,164}.

¹⁵⁰ Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.

¹⁵¹ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

¹⁵² Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

¹⁵³ Pérez-Heredía M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

¹⁵⁴ Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32:32-9.

¹⁵⁵ Cohen M, Garnick JJ, Ringle RD, Hanes PJ, Thompson WO. Calcium and phosphorus content of roots exposed to the oral environment. *J Clin Periodontol.* 1992;19:268-73.

¹⁵⁶ Marshall GW Jr. Dentin: microstructure and characterization. *Quintessence Int.* 1993;24:606-17.

¹⁵⁷ Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

¹⁵⁸ Verdelis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.

¹⁵⁹ Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

¹⁶⁰ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

¹⁶¹ Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.

¹⁶² Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

¹⁶³ Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod.* 1987;13:147-57.

¹⁶⁴ Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28:141-8.

La acidez de las soluciones irrigadoras juega un papel importante en la descalcificación de la dentina radicular. Las soluciones de EDTA presentan un amplio rango de condiciones óptimas de pH^{165,166,167}. No obstante, las preparaciones comerciales utilizan un pH neutro buscando una mayor solubilidad de la hidroxiapatita y una quelación eficaz de las soluciones de EDTA¹⁶⁸.

Las soluciones de ácido cítrico, con valores de pH entre 0,8 y 1,9, han demostrado una acción descalcificante eficaz¹⁶⁹. Hennequin y cols.¹⁷⁰ encontraron que soluciones de ácido cítrico con pH de 0,8 y 1,3 tenían el mismo efecto sobre dentina radicular humana. Estos autores sugirieron que soluciones de ácido cítrico con pH de 1,8 son suficientes para la remoción del barrillo dentinario de los conductos radiculares instrumentados, sin desmineralizar excesivamente la dentina.

¹⁶⁵ Nikiforuk G, Sreebny L. Demineralization of hard tissues by organic chelating agents at neutral pH. *J Dent Res.* 1953;32:859-67.

¹⁶⁶ Cury JA, Bragotto C, Valdrighi L. The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin. I. Influence of pH. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52:446-8.

¹⁶⁷ Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28:501-2.

¹⁶⁸ Cury JA, Bragotto C, Valdrighi L. The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin. I. Influence of pH. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52:446-8.

¹⁶⁹ Haznedaroğlu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

¹⁷⁰ Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. ELIMINACIÓN DE DETRITOS Y BARRILLO DENTINARIO

3.1.1. MATERIAL

	MATERIAL	FABRICANTE
MUESTRA	- 80 dientes humanos (incisivos centrales superiores).	--
CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA	- Timol al 2%.	
PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES	- Curetas periodontales Gracey nº 5/6 (HF S65). - Fresa de diamante de grano fino Perio-Set.	- Hu-Friedy Mfg. Co., Inc. Rudolf-Diesel-Straße 8. D-69181 Leimen, Germany. - Intensive. Grancia, Switzerland.

	MATERIAL	FABRICANTE
PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES	<ul style="list-style-type: none"> - Contraángulo KaVo® Bella-torque. - Máquina de corte Accutom 50. 	<ul style="list-style-type: none"> - KaVo Dental. GMBH & Co. KG, Bismarckring 39, 88400 Biberach, Germany. - Struers A/S. Pederstrupvej 84, 2750 Ballerup, Denmark.
INSTRUMENTACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES	<ul style="list-style-type: none"> - Turbina KaVo® Bella-torque LUXZ 645B. - Motor ATR Técnica Digital Torque Control. - Limas K-FlexoFile® (sección triangular, acero inoxidable) de 25 mm de longitud. Números 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 45. - Limas ProTaper™ Starter Kit. - Caja de Endodoncia Split-Kit. - Regla de Endodoncia Endo-M-Bloc®. - Dispensador de topes de silicona. 	<ul style="list-style-type: none"> - KaVo Dental. GMBH & Co. KG, Bismarckring 39, 88400 Biberach, Germany. - Denstply Tulsa Dental Specialities. DENTSPLY International. 5100 E. Skelly Dr. Ste 300, Tulsa, OK 74135 USA. - Maillefer Instruments. Ch. du Verger 3, CH-1338 Ballaigues, Switzerland.
IRRIGACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES	<ul style="list-style-type: none"> - Hipoclorito de sodio al 2.5%, pH 11,97. - Ácido ortofosfórico al 5%, pH 1,02. - Ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA) al 15%, pH 7. - Ácido cítrico al 15%, pH 1,6%. - Puntas de papel. - Jeringa de 5 mililitros. - Aguja Hawe Max-I-Probe™. 	<ul style="list-style-type: none"> - Panreac. Barcelona, Spain. - Maillefer Instruments. Ch. du Verger 3, CH-1338 Ballaigues, Switzerland. - KerrHawe SA. Via Strecce 4, P.O. BOX 268 6934 Bioggio, Switzerland.
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	<ul style="list-style-type: none"> - Fresa de diamante de fisura número 846314012 Komet®. - Disco diamantado. 	<ul style="list-style-type: none"> - GEBR. Brasseler GmbH & Co. KG. Trophagener Weg 25, 32657 Lemgo. - Dentaorium. Saturnino Calleja, 6. 28002 Madrid, España.

	MATERIAL	FABRICANTE
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	<ul style="list-style-type: none"> - Adhesivo de carbón conductor Leitc[®]. - Metalizador de oro Polaron[®] E5000. - Microscopio electrónico de barrido LEO 1430 VP. 	<ul style="list-style-type: none"> - ANAME. José Fernández Cuevas, 14 B. 28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid, España. - Carl Zeiss NTS GMBH. Carl-Zeiss-Str. 56. 73447 Oberkochen, Germany.
MATERIAL DIVERSO	<ul style="list-style-type: none"> - Matraz. - Varilla magnética. - Medidor de pH Micro pH 2000. 	<ul style="list-style-type: none"> - SBS A-09 series. Barcelona, España. - Crison. Alella, España.
SOPORTE INFORMÁTICO	<ul style="list-style-type: none"> - Ordenador PC Intel Pentium IV a 3000 MHz, 1 Gb de memoria RAM y 200 Gb de disco duro. - Programa de edición de imagen Adobe[®] Photoshop[®] CS2. - Programa estadístico SPSS/PC+, versión 15.0. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adobe Systems Ibérica. Torre Mapfre - Villa Olímpica. Calle Marina 16-18, 08005 Barcelona. España. - SPSS Inc. Headquarters, 233 S. Wacker Drive, 11th floor Chicago, Illinois 60606 USA.

3.1.2. MÉTODO

3.1.2.1. Selección de la muestra

Ochenta incisivos centrales superiores humanos fueron seleccionados para realizar esta primera parte del estudio. Los dientes fueron extraídos por motivos periodontales en pacientes con un rango de edad entre los 40 y 60 años. Se establecieron los siguientes criterios de inclusión de las raíces (Figuras 1 y 2): 1) dientes unirradiculares, con un solo conducto, 2) raíces rectas, 3) ápice cerrado, 4) libres de caries, 5) longitud radicular de 12 milímetros.

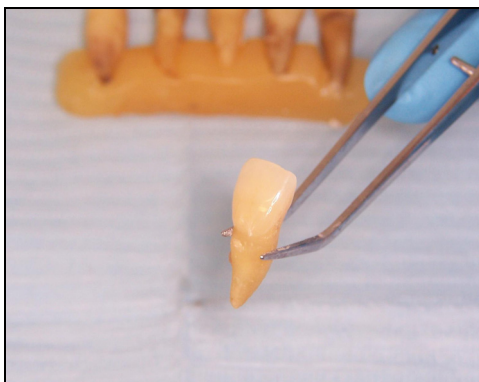


Figura 1. Características del diente.

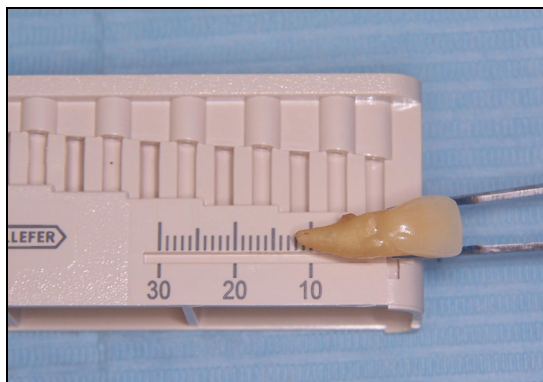


Figura 2. Longitud radicular.

El raspado superficial se realizó con curetas periodontales Gracey n° 5/6 (Figura 3) y fresa de diamante de grano fino Perio-set, a baja velocidad y abundante refrigeración acuosa, para eliminar restos de sarro, periodonto y cemento radicular. Los especímenes fueron conservados en una solución de timol al 2% y temperatura ambiente hasta el momento de su utilización.

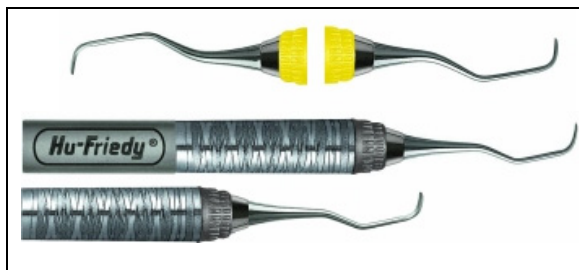


Figura 3. Curetas periodontales.

3.1.2.2. Preparación de los especímenes

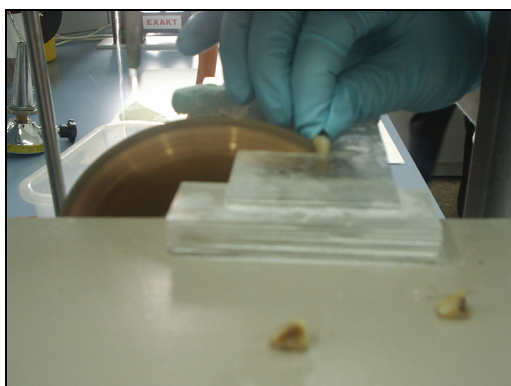


Figura 4. Sección de la corona dentaria.

Las coronas de los dientes fueron seccionadas a nivel de la unión amelo-cementaria con un disco de diamante, en una máquina de corte Accutom 50 y constante irrigación acuosa (Figura 4).

3.1.2.3. Soluciones irrigadoras

Las soluciones irrigadoras fueron preparadas de la siguiente forma (Figura 5):

- ❖ **Hipoclorito de sodio (NaClO) al 2,5%** fue preparado diluyendo cuatro veces una solución de hipoclorito de sodio al 10% en agua destilada
- ❖ **Ácido cítrico (AC) al 15%** fue preparado disolviendo 30g de ácido cítrico monohidratado en agua destilada hasta un volumen de 200ml.
- ❖ **Ácido etilen diamino tetracético (EDTA) al 15%** fue preparado disolviendo 30g de EDTA disódico en un volumen inferior a 200ml; y para favorecer la disolución se añadió una pequeña cantidad de hidróxido de sodio (NaOH). Seguidamente, y controlando el pH con un pehachímetro, se añadió ácido clorhídrico (HCl) 2M hasta llevar el pH al valor deseado.
- ❖ **Ácido ortofosfórico (AP) al 5%** fue preparada disolviendo 10g de ácido ortofosfórico en agua destilada hasta un volumen de 200ml.

Todas las soluciones fueron homogeneizadas mediante la agitación continua de una varilla magnética. El pH de cada solución se determinó mediante un pehachímetro (Figura 6). La precisión del medidor no excedió de 0,01.



Figura 5. Soluciones irrigadoras.

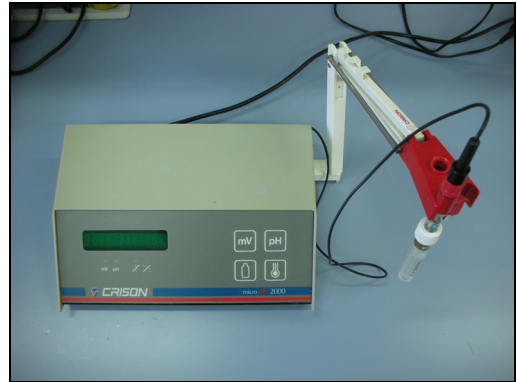


Figura 6. Pehachímetro.

3.1.2.4. Preparación de los conductos radiculares

Los conductos radiculares fueron permeabilizados con una lima K-FlexoFile® del número 10. La longitud de trabajo (LT) se determinó restando 1mm a la longitud obtenida cuando la lima era visible a través del foramen apical. Las raíces fueron divididas aleatoriamente en 8 grupos de estudio (n=10) (Figura 7) en función de la técnica de instrumentación y de las soluciones irrigadoras utilizadas:

- Grupo 1:** instrumentación manual e irrigación con NaClO al 2,5%.
- Grupo 2:** instrumentación manual e irrigación con NaClO al 2,5% y ácido cítrico al 15%.
- Grupo 3:** instrumentación manual e irrigación con NaClO al 2,5% y EDTA al 15%.
- Grupo 4:** instrumentación manual e irrigación con NaClO al 2,5% y ácido ortofosfórico al 5%.
- Grupo 5:** instrumentación rotatoria e irrigación con NaClO al 2,5%.
- Grupo 6:** instrumentación rotatoria e irrigación con NaClO al 2,5% y ácido cítrico al 15%.
- Grupo 7:** instrumentación rotatoria e irrigación con NaClO al 2,5% y EDTA al 15%.
- Grupo 8:** instrumentación rotatoria e irrigación con NaClO al 2,5% y ácido ortofosfórico al 5%.

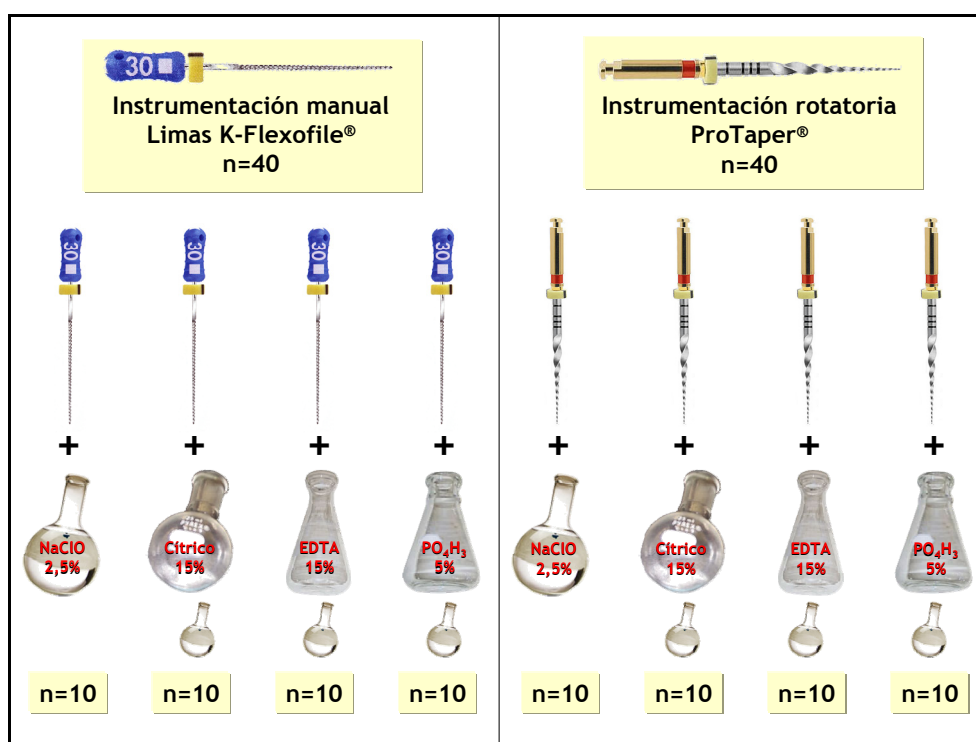


Figura 7. Grupos de estudio.

Ambas técnicas de instrumentación fueron realizadas por el mismo operador, la autora de este trabajo, que fue adiestrada en la técnica de instrumentación rotatoria con el sistema ProTaper®.



Figura 8. Limas K-FlexoFile®.

Los grupos 1, 2, 3 y 4 fueron preparados con técnica escalonada de instrumentación manual mediante limas K-FlexoFile® (Figura 8). La lima maestra apical fue del número 30 y secuencialmente la preparación se realizó hasta un diámetro de lima del número 45 (Figura 9).

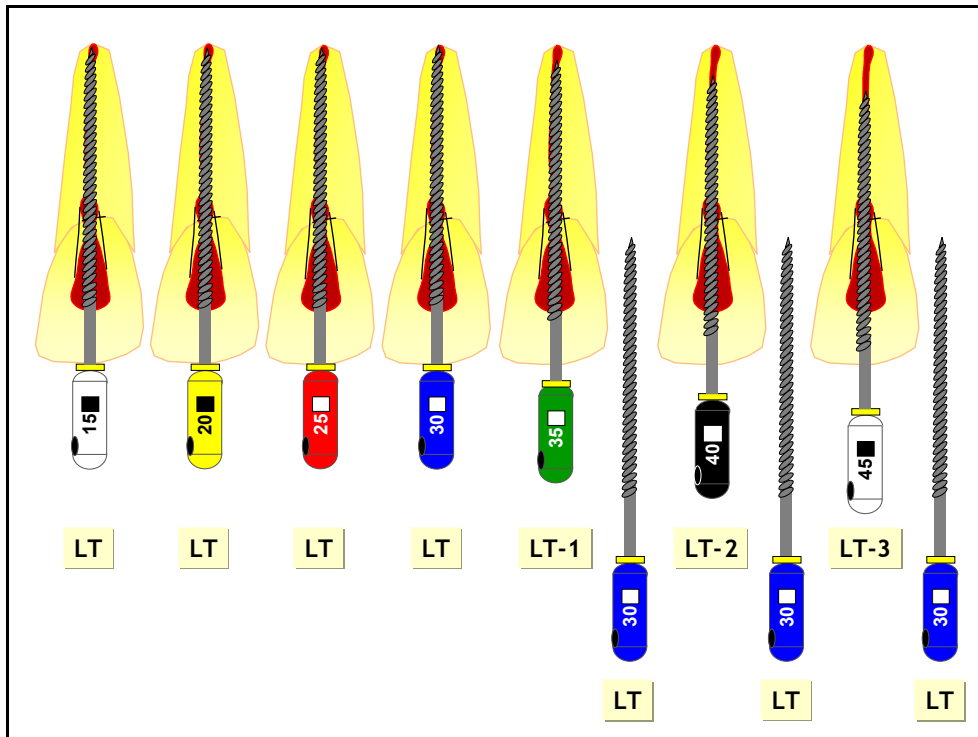


Figura 9. Secuencia de la técnica de instrumentación manual en el tercio apical, (LT: longitud de trabajo).

Los grupos 5, 6, 7 y 8 fueron preparados con el sistema ProTaper® y el motor ATR Técnica Digital con técnica coronopical, a velocidad constante de 300 rpm, y secuencia de instrumentación y torque predeterminados por el fabricante (Figuras 10-12).

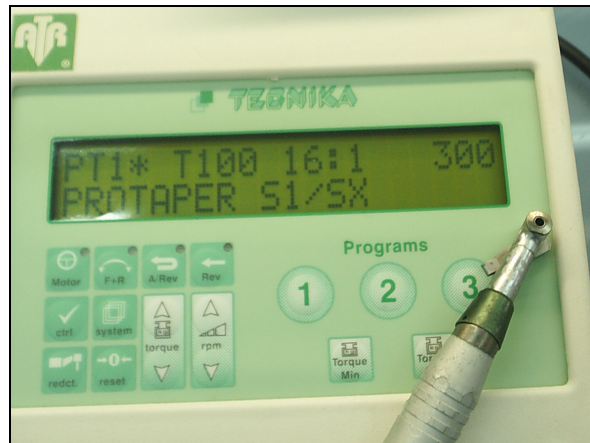


Figura 10. Motor ATR Técnica Digital.

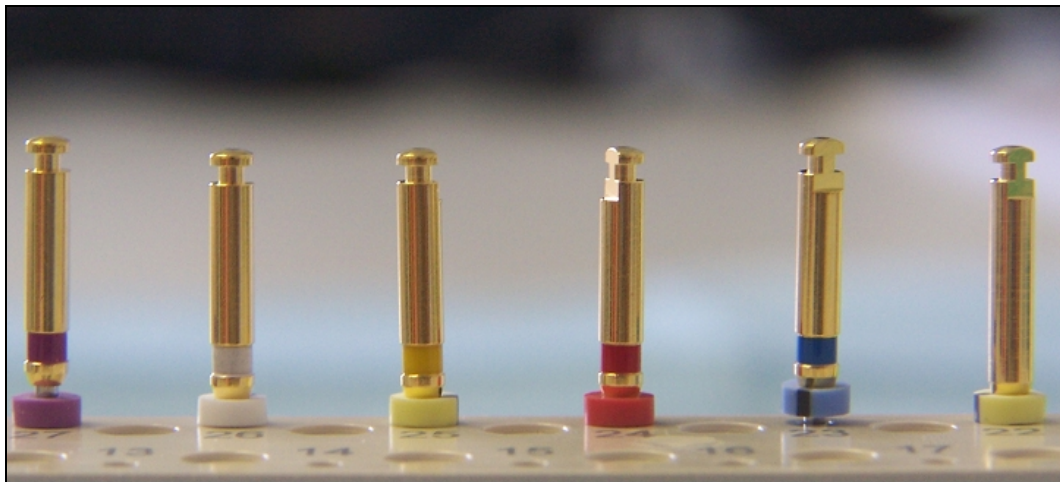


Figura 11. Sistema ProTaper®

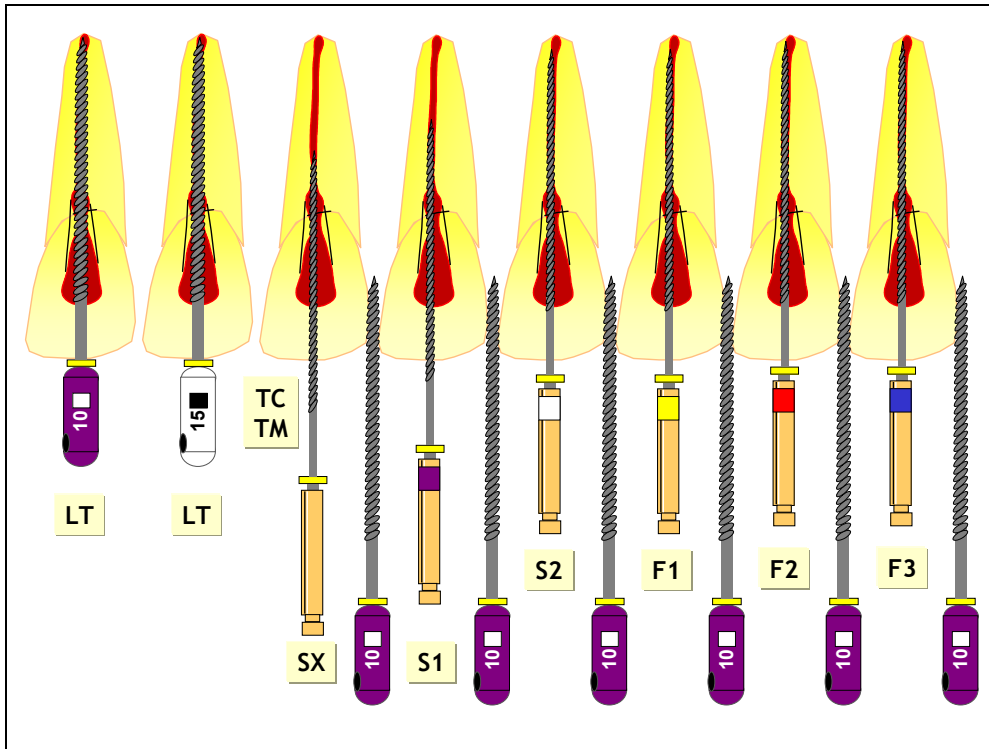


Figura 12. Secuencia de la técnica de instrumentación rotatoria, (LT: longitud de trabajo; TC: tercio coronal; TM: tercio medio).

Todos los instrumentos fueron reemplazados tras 5 usos.

3.1.2.5. Protocolo de irrigación

El protocolo de irrigación se muestra en la Tabla 1. En los grupos 2, 3 y 4 (técnica de instrumentación manual) y en los grupos 6, 7 y 8 (técnica de instrumentación rotatoria), tras cada cambio de instrumento los conductos fueron irrigados con 5 ml de la solución quelante correspondiente: ácido cítrico al 15%, EDTA al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, en régimen de irrigación alternado con 5 ml de hipoclorito de sodio al 2,5%.

Tabla 1. Protocolo de irrigación en los grupos de instrumentación manual y rotatoria.

	INSTRUMENTACIÓN MANUAL			INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA	
	GRUPO 1	GRUPOS 2,3,4		GRUPO 5	GRUPOS 6,7,8
Inicial	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%	Inicial	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%
#15	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP	SX	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP
#20	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%	S1	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%
#25	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP	S2	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP
#30	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%	F1	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%
#35	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP	F2	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP
#40	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%	F3	5 ml NaClO 2,5%	5 ml NaClO 2,5%
#45	5 ml NaClO 2,5%	5 ml AC/EDTA/AP			
Final	10 ml NaClO 2,5%	10 ml NaClO 2,5%	Final	10 ml NaClO 2,5%	10 ml NaClO 2,5%
TOTAL	50 ml NaClO 2,5%	30 ml NaClO 2,5% 20 ml AC/EDTA/AP	TOTAL	45 ml NaClO 2,5%	30 ml NaClO 2,5% 15 ml AC/EDTA/AP

Los grupos 1 y 5 fueron irrigados con NaClO al 2,5%.

Los grupos 2 y 6 fueron irrigados con NaClO al 2,5% y ácido cítrico al 15%

Los grupos 3 y 7 fueron irrigados con NaClO al 2,5% y EDTA al 15%.

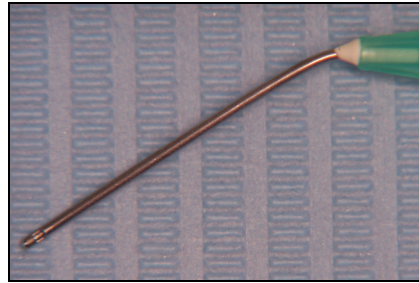
Los grupos 4 y 8 fueron irrigados con NaClO al 2,5% y ácido ortofosfórico al 5%.

Los grupos 1 y 5 se utilizaron como controles y fueron irrigados tras cada cambio de instrumento con 5ml de hipoclorito de sodio al 2,5%.



Figuras 13 y 14. Agujas Hawe Max-I-Probe™ utilizadas para la irrigación de los conductos.

En todos los grupos, la irrigación inicial fue de 5ml de hipoclorito de sodio al 2,5% utilizando una jeringa de plástico y una aguja con orificio de salida lateral, que fue insertada a la mayor profundidad posible dentro del conducto radicular (Figuras 13 y 14).



Tras la preparación manual y rotatoria todos los conductos radiculares fueron irrigados con 10 ml de hipoclorito de sodio al 2,5% y secados con puntas de papel absorbente.

3.1.2.6. Procesamiento para microscopio electrónico de barrido

Las raíces se seccionaron longitudinalmente para obtener dos mitades simétricas de cada espécimen. Para facilitar la fractura, se realizaron dos ranuras longitudinales paralelas al eje axial del diente con una fresa de fisura (Figura 15) y se profundizó con un disco de diamante a baja velocidad, sin llegar en ningún caso a penetrar en el interior del conducto radicular. La separación radicular se realizó introduciendo una espátula en las ranuras guía, evitando de esta forma la contaminación del conducto radicular (Figura 16).



Figura 15. Realización de las ranuras longitudinales paralelas al eje axial de la raíz.



Figura 16. Conducto radicular dividido.



Figura 17. Delimitación de los tercios.

Se seleccionó la mitad de cada raíz en la que se visualizaba la totalidad del conducto radicular. Se evaluó, en todos los casos, una longitud radicular de 9 milímetros en sentido apicocoronar. Esta distancia fue dividida en tres tercios de estudio mediante la realización de muescas en la superficie radicular (Figura 17). Los tercios delimitados fueron:

- Tercio apical = de 0 a 3 mm, siendo 0 el extremo apical de la raíz.
- Tercio medio = de 3 a 6 mm.
- Tercio coronal = de 6 a 9 mm.

Los especímenes fueron conservados en ambiente seco hasta su preparación para el microscópico electrónico de barrido (M.E.B). Para ello, se montaron en un porta-muestras usando un adhesivo de carbón conductor. Se introdujeron en una cámara de vacío (Figura 18) y se metalizaron con una capa de oro (Figuras 19-21).



Figura 18. Cámara de vacío.

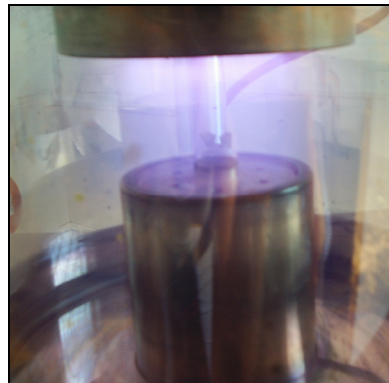


Figura 19. Metalizado con capa de oro.



Figura 20. Especímenes metalizados.



Figura 21. Detalle del conducto.

3.1.2.7. Evaluación con microscopio electrónico de barrido

La limpieza del conducto radicular fue evaluada en los tercios apical, medio y coronal establecidos, coincidiendo con las ranuras efectuadas. Se realizaron microfotografías a 200 y 2000 aumentos para la evaluar la cantidad de detritus y barrillo dentinario en cada uno de los tercios radiculares establecidos (Figura 22).

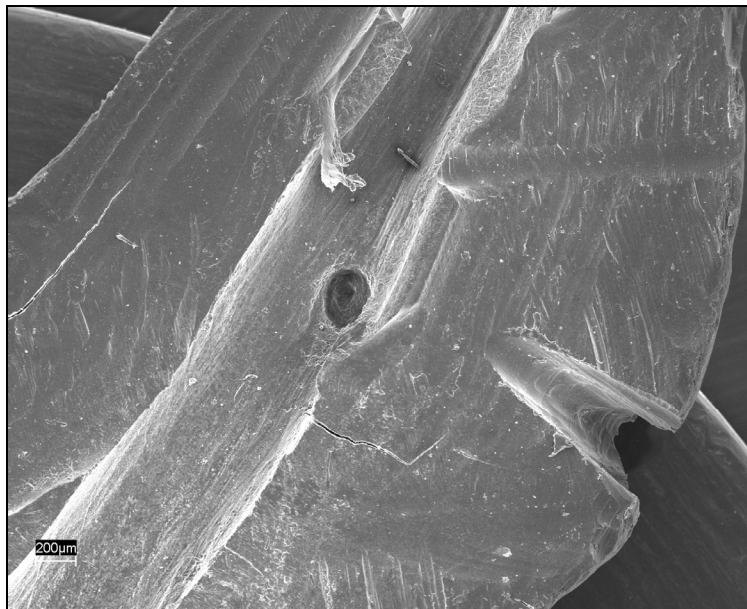


Figura 22. Localización de la microfotografía a nivel de la ranura.

Las microfotografías fueron divididas en 48 subáreas mediante una rejilla y se evaluó cada una de las 48 subáreas mediante un programa de edición de imágenes. Este procedimiento se realizó por un mismo operador, sin posibilidad de identificar las muestras evaluadas, en los distintos grupos de estudio. La operadora fue entrenada en el proceso de puntuación establecido, usando las escalas numéricas descritas por Hülsmann y cols. en el año 1997. Las escalas constan de 5 *items* cada una y son descritos a continuación:

Detritus

Categoría 1: pared del conducto radicular limpio; sólo muy pocas partículas de detritus.

Categoría 2: pocas y pequeñas aglomeraciones de partículas.

Categoría 3: muchas aglomeraciones; menos del 50% de la pared del conducto cubierto.

Categoría 4: más del 50% de la pared del conducto cubierto de partículas.

Categoría 5: pared del conducto casi o completamente cubierta.

Para ilustrar las categorías anteriores se presentan microfotografías de cada una de ellas (Figuras 23-27).

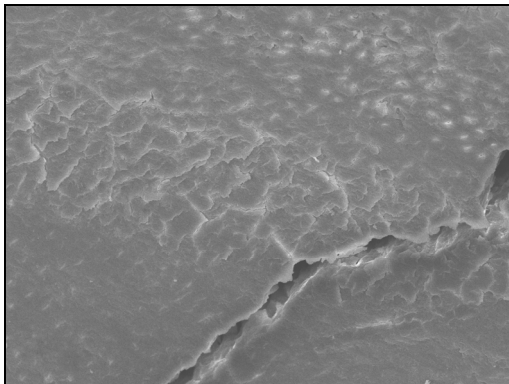


Figura 23. Categoría 1 de detritus.

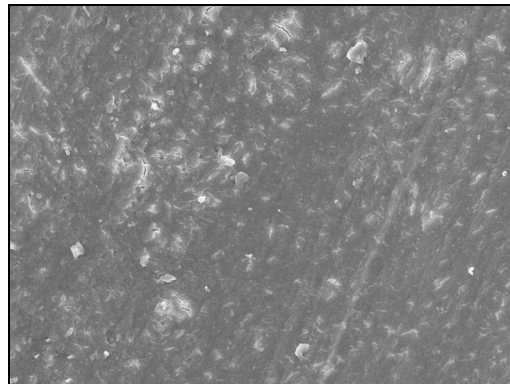


Figura 24. Categoría 2 de detritus.

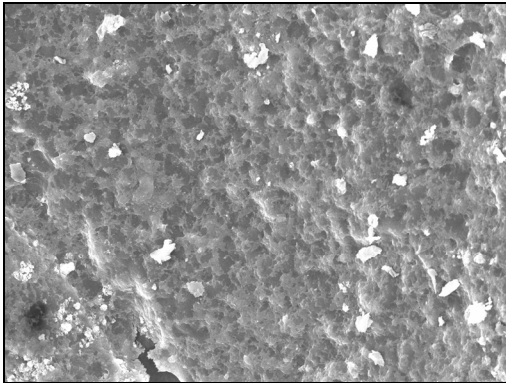


Figura 25. Categoría 3 de detritus.

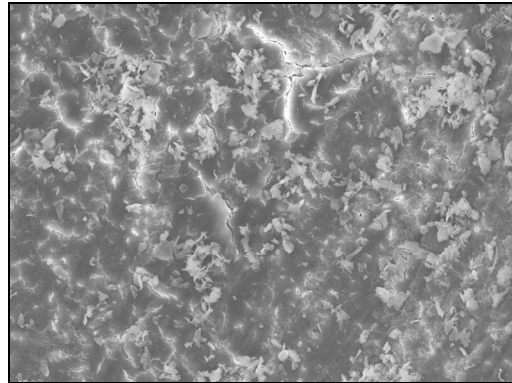


Figura 26. Categoría 4 de detritus.

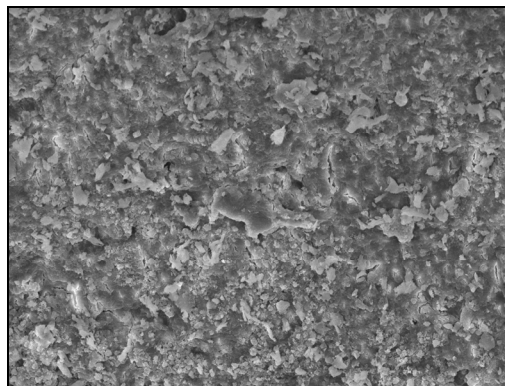


Figura 27. Categoría 5 de detritus.

Barrillo dentinario

Categoría 1: no hay barrillo dentinario, orificios tubulares abiertos.

Categoría 2: cantidad pequeña de barrillo dentinario, algunos túbulos abiertos.

Categoría 3: capa homogénea de barrillo dentinario cubriendo parte de la pared del conducto, muy pocos túbulos dentinarios abiertos.

Categoría 4: capa homogénea de barrillo dentinario cubre completamente la pared del conducto radicular, sin túbulos dentinarios abiertos.

Categoría 5: capa espesa y homogénea de barrillo dentinario, que cubre completamente la pared del conducto radicular.

A continuación se presentan microfotografías de cada una de las categorías descritas anteriormente (Figuras 28-32).

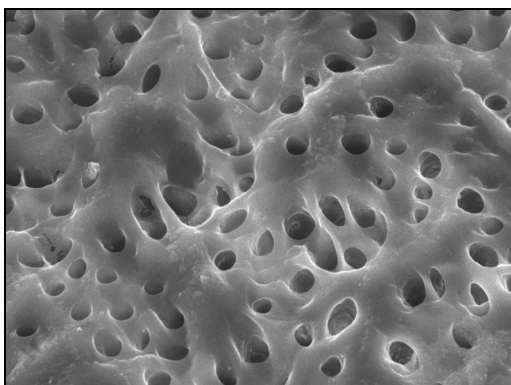


Figura 28. Categoría 1 de barrillo dentinario.

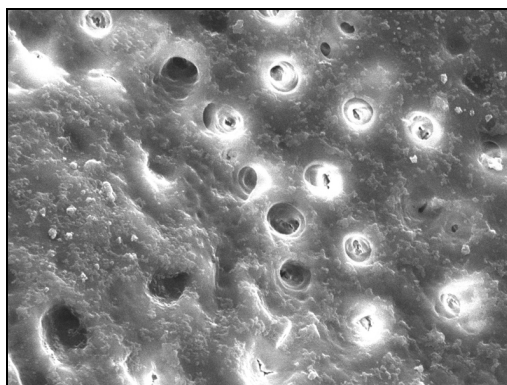


Figura 29. Categoría 2 de barrillo dentinario.

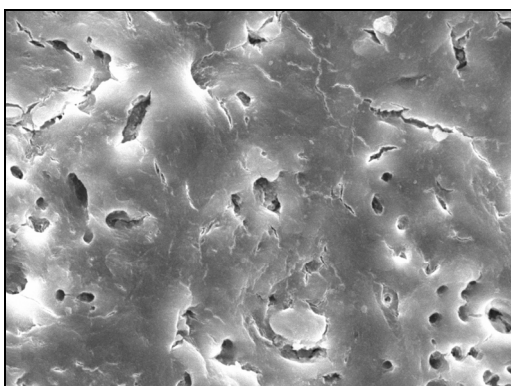


Figura 30. Categoría 3 de barrillo dentinario.

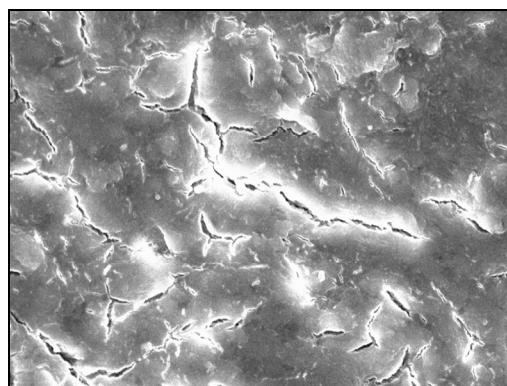


Figura 31. Categoría 4 de barrillo dentinario.

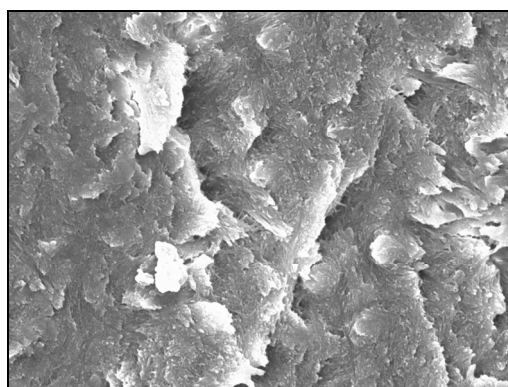


Figura 32. Categoría 5 de barrillo dentinario.

El resultado final del análisis de detritus y de barrillo dentinario, encontrado en el conducto radicular, fue obtenido calculando la media de puntuación de las 48 subáreas evaluadas en los tercios coronal, medio y apical de cada muestra radicular.

3.1.2.8. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos en las microfotografías fueron introducidos en el programa SPSS/PC+, versión 15.0 (licencia de la Universidad de Granada) para su posterior análisis. Los métodos estadísticos utilizados fueron los siguientes:

▣ Descriptivos

- Media y desviación estándar (variables cuantitativas: cantidad de detritus y cantidad de barrillo dentinario).

▣ Analíticos

- Comprobación de la normalidad de la distribución de los datos mediante el test de *Kolmogorov-Smirnov*.
- Análisis de la influencia de las diferentes soluciones irrigadoras, del tercio radicular y de la técnica de instrumentación en la eliminación de detritus y barrillo dentinario de las paredes de la dentina, mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas.
- Comparación de dos medias de muestras independientes mediante el test *U* de *Mann-Whitney*.
- Comparación de *n* medias de muestras independientes mediante el test de *Kruskal-Wallis*.
- Comparación de dos medias de muestras apareadas mediante el test de *Wilcoxon*.
- Comparación de *n* medias de muestras apareadas mediante el test de *Friedman*.

El nivel de significación fue establecido en $p < 0,05$.

3.2. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR

3.2.1. MATERIAL

	MATERIAL	FABRICANTE
MUESTRA	- 10 dientes humanos (incisivos centrales superiores).	--

	MATERIAL	FABRICANTE
CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA	- Timol al 2%.	
PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES	- Curetas periodontales Gracey nº 5/6 (HF S65). - Fresa de diamante de grano fino Perio-Set. - Contraángulo KaVo® Bella-torque. - Máquina de corte Accutom 50. - Máquina de corte automática Accutom 50.	- Hu-Friedy Mfg. Co., Inc. Rudolf-Diesel-Straße 8. D-69181 Leimen, Germany. - Intensive. Grancia, Switzerland. - KaVo Dental. GMBH & Co. KG, Bismarckring 39, 88400 Biberach, Germany. - Struers A/S. Pederstrupvej 84, 2750 Ballerup, Denmark. - Accutom Hard Tissue Microtome, Struers, Denmark.
INSTRUMENTACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES	- Caja de Endodoncia Split-Kit. - Regla de Endodoncia Endo-M-Bloc®. - Dispensador de topes de silicona. - Fresa de Peeso números 4 a 6. - Contraángulo KaVo® Bella-torque. - Agua destilada.	- Maillefer Instruments. Ch. du Verger 3, CH-1338 Ballaigues, Switzerland. - KaVo Dental. GMBH & Co. KG, Bismarckring 39, 88400 Biberach, Germany.
SOLUCIONES IRRIGADORAS	- Hipoclorito de sodio al 2.5%, pH 11,97. - Ácido ortofosfórico al 5%, pH 1,02. - Ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA) al 15%, pH 7. - Ácido cítrico al 15%, pH 1,6%.	- Panreac, Barcelona, Spain.
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	- Solución original de Ca ²⁺ . - Espectrofotómetro de absorción atómica modelo Spectr AA 220 FS.	- Merck Inc. Whitehouse, NJ, USA. - VARIAN Iberica S.L. Avda. Pedro Diez 25, 28019 Madrid.
MATERIAL DIVERSO	- Matraz. - Varilla magnética. - Medidor de pH Micro pH 2000.	- Crison. Alella, España.

	MATERIAL	FABRICANTE
MATERIAL DIVERSO	<ul style="list-style-type: none"> - Aguja Hawe Max-I-Probe™. - Balanza de precisión. - Discos de papel de carburo de silicio de grano 600. - Pinzas anguladas. - Micropipeta automática y conos de plástico para las mismas. - Vasos de cierre hermético. 	<ul style="list-style-type: none"> - KerrHawe SA. Via Strecce 4, P.O. BOX 268 6934 Bioggio, Switzerland. - A&D Engineering Inc. San Jose, CA, USA. - WS 18-B. Struers, Ballerup, Denmark. - Hu-Friedy Mfg. Co., Inc. Rudolf-Diesel-Straße 8 D- 69181 Leimen, Germany.
SOPORTE INFORMÁTICO	<ul style="list-style-type: none"> - Ordenador PC Intel Pentium IV a 3000 MHz, 1 Gb de memoria RAM y 200 Gb de disco duro. - Programa estadístico SPSS/PC+, versión 15.0. 	<ul style="list-style-type: none"> - SPSS Inc. Headquarters, 233 S. Wacker Drive, 11th floor, Chicago, Illinois 60606, USA.

3.2.2. MÉTODO

3.2.2.1. Selección de la muestra

Diez incisivos centrales superiores humanos fueron utilizados para la extracción de calcio de la destina radicular. Al igual que en la primera parte del estudio, los dientes fueron extraídos por motivos periodontales en pacientes con un rango de edad entre los 40 y 60 años. Los criterios de inclusión de las raíces fueron los siguientes: 1) dientes unirradiculares, con un solo conducto 2) raíces rectas, 3) ápice cerrado, 4) libres de caries, 5) longitud radicular de 12 milímetros. Tras eliminar los restos de sarro, periodonto y cemento radicular, con curetas periodontales Gracey nº 5/6 y fresa de diamante de grano fino a baja velocidad, los especímenes fueron conservados a temperatura ambiente en una solución de timol al 2% hasta el momento de su utilización.

3.2.2.2. Preparación de los especímenes

Las coronas de los dientes fueron seccionadas a nivel de la unión amelo-cementaria con un disco de diamante en una máquina de corte Accutom 50 y constante irrigación acuosa.

3.2.2.3. Soluciones irrigadoras

Las soluciones irrigadoras fueron elaboradas de la siguiente manera:

- ❖ **Hipoclorito de sodio (NaClO) al 2,5%** fue preparado diluyendo cuatro veces una solución de hipoclorito de sodio al 10% en agua destilada
- ❖ **Ácido cítrico (AC) al 15%** fue preparado disolviendo 30g de ácido cítrico monohidratado en agua destilada hasta un volumen de 200ml.
- ❖ **Ácido etilen diamino tetracético (EDTA) al 15%** fue preparado disolviendo 30g de EDTA disódico en un volumen inferior a 200ml; y para favorecer la disolución se añadió una pequeña cantidad de hidróxido de sodio (NaOH). Seguidamente, y controlando el pH con un pehachímetro, se añadió ácido clorhídrico (HCl) 2M hasta llevar el pH al valor deseado.
- ❖ **Ácido ortofosfórico (AP) al 5%** fue preparada disolviendo 10g de ácido ortofosfórico en agua destilada hasta un volumen de 200ml.

Todas las soluciones fueron homogeneizadas mediante la agitación continua de una varilla magnética. El pH de cada solución se determinó mediante un pehachímetro. La precisión del medidor no excedió de 0,01.

3.1.2.4. Preparación de los conductos radiculares

Los conductos radiculares fueron instrumentados con fresas de Peeso, de los números 4 al 6, montadas en contraángulo y abundante irrigación con agua (Figura 33). Tras cada cambio de instrumento los conductos fueron irrigados con 5ml de agua destilada.

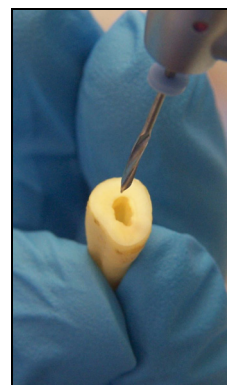


Figura 33. Instrumentación de los conductos radiculares con fresa de Peeso.



Dos secciones transversales de 2mm de grosor (Figura 34) fueron obtenidos del tercio coronal de cada raíz con una máquina de corte preprogramada automática Accutom 50. Cada rodaja fue dividida en 2 mitades iguales, obteniendo un total de 4 secciones de cada raíz de forma y tamaño similar.

Figura 34. Secciones transversales de 2mm de espesor.

Las secciones se pesaron en una balanza de precisión (Figura 35) y se igualaron en peso con discos de papel de carburo de silicio de grano 600, siempre en la misma superficie para no alterar la geometría de las muestras.

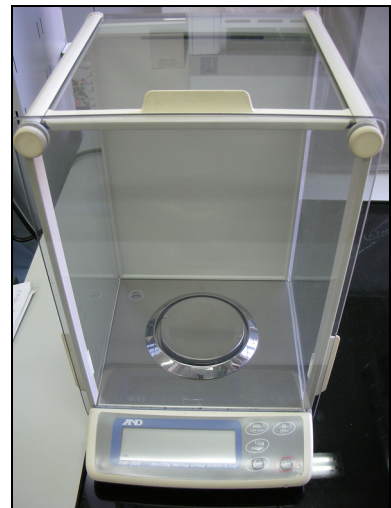


Figura 35. Balanza de precisión.

Los especímenes fueron divididos al azar en cuatro grupos experimentales (n=10) para ser tratados con las diferentes soluciones irrigadoras: Grupo 1) hipoclorito de sodio al 2,5% y pH 11,9; Grupo 2): ácido cítrico al 15% pH 1,6; Grupo 3) EDTA al 15% pH 7; Grupo 4) ácido ortofosfórico al 5% pH 1,02.

Todas las muestras fueron identificadas y almacenadas individualmente en agua destilada a temperatura ambiente hasta el momento de su utilización (Figura 36). Con el método empleado se obtuvieron cuatro secciones de cada raíz con un peso, geometría y grado de calcificación similar, lo que permitió evaluar la descalcificación de la dentina radicular con diferentes soluciones irrigadoras en un mismo espécimen.



Figura 36. Identificación de las muestras.

3.2.2.5. Evaluación con espectrofotometría de absorción atómica

Cada espécimen fue sumergido en 20ml de su correspondiente solución en vasos de cierre hermético (Figuras 37 y 38). Cada 5 minutos se extrajeron 5ml de la solución con una pipeta graduada para evitar errores de volumen, y se vertieron en vasos de cierre hermético perfectamente identificados en cuanto a su procedencia dentaria, solución empleada y tiempo de inmersión. De esta forma se obtuvieron 3 extractos de la solución de cada una de las muestras.

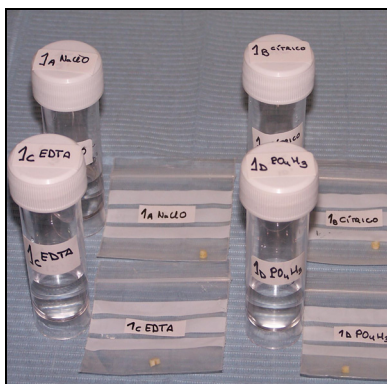


Figura 37. Vasos de cierre hermético identificados.

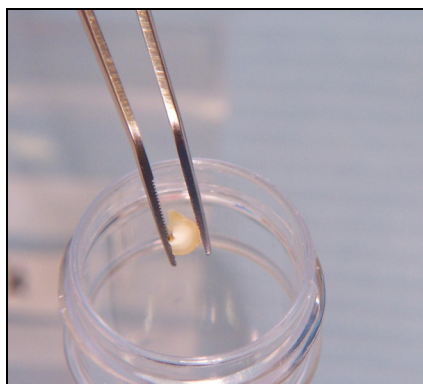


Figura 38. Introducción de la muestra.

Los extractos se midieron en un espectrofotómetro de absorción atómica SpectrAA 220FS (Figura 39), calibrado mediante soluciones patrón de 2, 5 y 10 ppm de Ca^{2+} . Como combustible para la llama se empleó una mezcla de aire/acetileno. La concentración de la solución original de Ca^{2+} fue de 1000 ppm. Las lecturas de los extractos se expresaron en miligramos por litro de disolución ($\text{mg/L} = \text{ppm}$).



Figura 39. Espectrofotómetro de absorción atómica

Todas las mediciones se realizaron el mismo día, a una temperatura entre 18 y 21°C. Para cada grupo se midió el blanco correspondiente y se le aplicó este factor de corrección a las partes por millón de cada una de las muestras.

La fórmula empleada para calcular los miligramos de Ca^{2+}/g , para cada tiempo de inmersión, con cada solución irrigadora, fue la siguiente:

$$\text{mg Ca}^{2+}/\text{g} = [(\text{ppm Ca}^{2+}) \times (10^{-3}\text{L/ml}) \times \text{V}]/\text{P}$$

En la cual, los ppm Ca^{2+} son las partes por millón de Ca^{2+} en cada periodo de tiempo; V es el volumen utilizado en cada tiempo (20ml a los 5 minutos; 15ml a los 10 minutos; 10ml a los 15 minutos) y P es el peso de cada sección en miligramos¹⁷⁰.

Igualmente fue calculado el porcentaje de miligramos de Ca^{2+}/g extraído en cada tiempo de inmersión, para cada una de las soluciones irrigadoras mediante la fórmula:

$$\% \text{ mg Ca}^{2+}/\text{g} = \text{mg Ca}^{2+} \times 100 / \text{total mg Ca}^{2+}$$

Los valores expresan el porcentaje de incremento de Ca^{2+} en cada intervalo de tiempo con respecto al total de Ca^{2+} extraído.

3.2.2.8. Análisis estadístico de los datos

Los valores de miligramos de calcio extraídos por cada solución irrigadora fueron introducidos en el programa SPSS/PC+, versión 15.0 (licencia de la Universidad de Granada) para su posterior análisis. Los métodos estadísticos empleados se detallan a continuación:

■ Descriptivos

- Media y desviación estándar (variables cuantitativas: miligramos de calcio y porcentaje de miligramos de calcio).

■ Analíticos

- Comprobación de la normalidad de la distribución de los datos mediante el test de *Kolmogorov-Smirnov*.
- Análisis de la influencia del tipo de solución irrigadora y del tiempo de inmersión en la solución irrigadora en el calcio extraído de la dentina radicular (mg Ca^{2+} y $\% \text{ mg Ca}^{2+}$), mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas.
- Comparación de dos medias de muestras independientes mediante el test *U* de *Mann-Whitney*.
- Comparación de *n* medias de muestras independientes mediante el test de *Kruskal-Wallis*.

El nivel de significación fue establecido en $p < 0,05$.

¹⁷⁰ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. J Endod. 2006;32:781-4.



4. RESULTADOS

4.1. ELIMINACIÓN DE DETRITUS

4.1.1. ANÁLISIS FACTORIAL COMPLETO

En primer lugar se analizó la influencia de la utilización de diferentes soluciones irrigadoras (hipoclorito de sodio al 2,5%, NaClO al 2,5% + ácido cítrico al 15%, NaClO al 2,5% + EDTA al 15%, NaClO al 2,5% + ácido ortofosfórico al 5%), del tercio radicular (apical, medio, coronal) y de la técnica de instrumentación (manual, rotatoria) en la eliminación de los detritus de las paredes de la dentina, mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas; incluyendo los factores principales [soluciones irrigadoras, tercio radicular, técnica de instrumentación], así como las interacciones de segundo orden [soluciones irrigadoras x tercio radicular, soluciones irrigadoras x técnica de instrumentación, tercio radicular x técnica de instrumentación] y la interacción de tercer orden [soluciones irrigadoras x tercio radicular x técnica de instrumentación] (Tabla 2).

Tabla 2. Influencia de las soluciones irrigadoras, del tercio radicular y de la técnica de instrumentación en la eliminación de detritus.

Factores	<i>p</i>
Soluciones irrigadoras	<0,001
Tercio radicular	0,001
Técnica de instrumentación	<0,001
Soluciones irrigadoras x tercio radicular	0,032
Soluciones irrigadoras x técnica de instrumentación	0,255
Tercio radicular x técnica de instrumentación	0,733
Soluciones irrigadoras x tercio radicular x técnica de instrumentación	0,190

El modelo de regresión lineal no mostró interacción significativa entre los tres factores ($p=0,190$). A continuación se procedió a realizar el análisis de forma estratificada para comprobar el efecto de la técnica de instrumentación para cada nivel de las otras dos variables, y viceversa.

4.1.2. RESULTADOS DE LA ELIMINACIÓN DE DETRITUS

4.1.2.1. Tercio apical

En la Tabla 3 se presentan los resultados de eliminación de detritus, en el tercio apical, con la técnica de instrumentación manual y con la técnica de instrumentación rotatoria; y la comparación entre ambas técnicas.

Como se puede observar cuando se utilizó la técnica de instrumentación manual, el grupo en el que se empleó como solución irrigadora [NaClO 2,5% + EDTA 15%], se eliminó mayor cantidad de detritus ($1,56\pm 0,46$), seguido por [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,94\pm 0,24$), por el grupo en el que se usó NaClO 2,5% ($2,05\pm 0,71$) y, por último, por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,22\pm 0,41$).

Con técnica de instrumentación rotatoria se eliminaron más detritus y los valores bajaron en los cuatro grupos. Con esta técnica de instrumentación, [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] pasó a ser el grupo que más detritus eliminaba ($1,21\pm 0,31$); seguido por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] e NaClO 2,5% sólo, ambos con valores muy similares ($1,51\pm 0,51$ y $1,54\pm 0,35$, respectivamente); y, finalmente, [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%], con una media de restos de detritus en las paredes dentinarias de $1,80\pm 0,42$.

Tabla 3. Eliminación de detritus mediante técnica de instrumentación manual y técnica de instrumentación rotatoria en el tercio apical.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	2,05±0,71	1,54±0,35
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	1,94±0,24	1,21±0,31
NaClO 2,5% + EDTA 15%	1,56±0,46	1,51±0,51
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	2,22±0,41	1,80±0,42

* \bar{x} (media) \pm s (desviación estándar).

4.1.2.2. Tercio medio

La Tabla 4 muestra los resultados de eliminación de detritus en el tercio medio con ambas técnicas de instrumentación y la comparación entre ellas. De nuevo, con la técnica de instrumentación manual, [NaClO 2,5% + EDTA 15%] eliminó más detritus y obtuvo los valores más bajos (1,26±0,23), seguido por [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,74±0,31); y por los grupos en los que se usó [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] y NaClO 2,5%, que alcanzaron una limpieza de detritus muy similar (2,00±0,60 y 2,05±0,92; respectivamente).

Al igual que en el tercio apical, se limpiaron más detritus con técnica de instrumentación rotatoria. Los grupos irrigados con [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,13±0,27) y con [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,13±0,33) obtuvieron iguales resultados. En el grupo de NaClO 2,5% se incrementó la media hasta 1,55±0,39 y en el de [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] hasta un 1,68±0,42.

Tabla 4. Eliminación de detritus mediante técnica de instrumentación manual y técnica de instrumentación rotatoria en el tercio medio.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	2,05±0,92	1,55±0,39
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	1,74±0,31	1,13±0,33
NaClO 2,5% + EDTA 15%	1,26±0,23	1,13±0,27
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	2,00±0,60	1,68±0,42

* \bar{x} (media) \pm s (desviación estándar).

4.1.2.3. Tercio coronal

En la Tabla 5 se recogen los resultados de eliminación de detritus en el tercio coronal, con ambas técnicas de instrumentación.

Con técnica de instrumentación manual, [NaClO 2,5% + EDTA 15%] obtuvo los mejores resultados ($1,55 \pm 0,46$), pero seguido muy de cerca por [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,61 \pm 0,37$) y por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($1,67 \pm 0,46$). El grupo en el que se empleó NaClO 2,5% dejó más detritus en las paredes dentinarias ($2,09 \pm 0,86$).

Como ocurrió en el tercio apical y en el tercio medio, con la técnica de instrumentación rotatoria se limpiaron mejor las paredes que con la técnica de instrumentación manual, salvo cuando se empleó [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%], que los valores se igualaron con ambas técnicas. El [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] fue la combinación que mejor limpió las paredes de detritus ($1,05 \pm 0,09$) seguido por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,13 \pm 0,32$), por el grupo de NaClO 2,5% ($1,67 \pm 0,29$) y por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($1,69 \pm 0,55$).

Tabla 5. Eliminación de detritus mediante técnica de instrumentación manual y técnica de instrumentación rotatoria en el tercio coronal.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	$2,09 \pm 0,86$	$1,67 \pm 0,29$
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	$1,61 \pm 0,37$	$1,05 \pm 0,09$
NaClO 2,5% + EDTA 15%	$1,55 \pm 0,46$	$1,13 \pm 0,32$
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	$1,67 \pm 0,46$	$1,69 \pm 0,55$

* \bar{x} (media) \pm s (desviación estándar).

4.1.3. INFLUENCIA DE LAS SOLUCIONES IRRIGADORAS

4.1.3.1. Instrumentación manual

Las comparaciones de los resultados de eliminación de detritus entre soluciones con técnica de instrumentación manual, según el tercio radicular, se muestran en la Tabla 6. En el tercio apical no se hallaron diferencias estadísticamente significativas salvo entre el [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,94 \pm 0,24$) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,22 \pm 0,41$) ($p=0,045$) y entre [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,56 \pm 0,46$) e [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,22 \pm 0,41$) ($p=0,030$).

En el tercio medio se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar NaClO 2,5% ($2,05 \pm 0,92$) frente a [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,26 \pm 0,23$) ($p=0,037$), [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,74 \pm 0,31$) frente a [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,26 \pm 0,23$) ($p=0,005$) e [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,26 \pm 0,23$) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,00 \pm 0,60$) ($p=0,008$).

Por último, en el tercio coronal, las comparaciones entre soluciones no fueron estadísticamente significativas en ningún caso.

Tabla 6. Comparación de los resultados de eliminación de detritus con técnica de instrumentación manual entre soluciones irrigadoras.

	Tercio radicular		
	Apical	Medio	Coronal
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (p)	0,879	0,596	0,140
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (p)	0,162	0,037	0,139
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,164	0,848	0,268
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (p)	0,070	0,005	0,820
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,045	0,195	0,820
[NaClO 2,5% + EDTA 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,030	0,008	0,494
Comparación global (p)	0,054	0,016	0,374

4.1.3.2. Instrumentación rotatoria

Con técnica de instrumentación rotatoria, las comparaciones de los resultados de eliminación de detritus entre soluciones, según el tercio radicular, (Tabla 7) alcanzaron diferencias estadísticamente significativas en el tercio apical en los siguientes casos: NaClO 2,5% (1,54±0,35) frente a [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,21±0,31) ($p=0,021$), e [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,21±0,31) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,80±0,42) ($p=0,004$).

En el tercio medio, las comparaciones significativas fueron: NaClO 2,5% frente a [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,55±0,39 vs 1,13±0,33) ($p=0,002$), NaClO 2,5% frente a [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,55± 0,39 vs 1,13±0,27) ($p=0,002$), [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,13±0,33 vs 1,68±0,42) ($p=0,009$) e [NaClO 2,5% + EDTA 15%] frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,13±0,27 vs 1,68±0,42) ($p=0,005$).

Por último, en el tercio coronal se hallaron diferencias significativas en las mismas comparaciones que en el tercio medio: NaClO 2,5% frente a [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,67±0,29 vs 1,05±0,09) ($p<0,001$), NaClO 2,5% frente a [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,67±0,29 vs 1,13±0,32) ($p=0,002$), [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,05±0,09 vs 1,69±0,55) ($p=0,001$) e [NaClO 2,5% + EDTA 15%] frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,13±0,32 vs 1,69±0,55) ($p=0,004$).

Tabla 7. Comparación de los resultados de eliminación de detritus con técnica de instrumentación rotatoria entre soluciones irrigadoras.

	Tercio radicular		
	Apical	Medio	Coronal
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (p)	0,021	0,002	<0,001
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (p)	0,623	0,002	0,002
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,241	0,449	0,880
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (p)	0,149	0,937	0,873
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,004	0,009	0,001
[NaClO 2,5% + EDTA 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (p)	0,344	0,005	0,004
Comparación global (p)	0,027	<0,001	<0,001

4.1.4. INFLUENCIA DEL TERCIO RADICULAR

4.1.4.1. Instrumentación manual

En la Tabla 8 se presentan las comparaciones entre tercios de los resultados de eliminación de detritus con técnica de instrumentación manual. Como se puede observar, en el grupo en el que se empleó NaClO 2,5% no existían diferencias significativas al comparar los resultados entre tercios.

Tabla 8. Comparación de los resultados de eliminación de detritus con técnica de instrumentación manual entre tercios.

Tercios	Solución irrigadora			
	NaClO 2,5%	NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	NaClO 2,5% + EDTA 15%	NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%
Apical vs medio (<i>p</i>)	0,859	0,021	0,015	0,235
Apical vs coronal (<i>p</i>)	0,721	0,028	0,953	0,018
Medio vs coronal (<i>p</i>)	0,624	0,236	0,036	0,063
Global (<i>p</i>)	0,828	0,172	0,074	0,012

En el grupo [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,021$) al comparar los resultados del tercio apical ($1,94\pm 0,24$) frente a los del tercio medio ($1,74\pm 0,31$), y también ($p=0,028$) al comparar los resultados del tercio apical ($1,94\pm 0,24$) con los del tercio coronal ($1,61\pm 0,37$).

Cuando se utilizó [NaClO 2,5% + EDTA 15%] se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,015$) al comparar los resultados del tercio apical ($1,56\pm 0,46$) frente a los del tercio medio ($1,26\pm 0,23$) y cuando se compararon ($p=0,036$) los resultados del tercio medio ($1,26\pm 0,23$) con los resultados del tercio coronal ($1,55\pm 0,46$).

Por último, en el grupo de [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,018$) al comparar los resultados del tercio apical ($1,80\pm 0,42$) frente a los resultados del tercio coronal ($1,69\pm 0,55$). A continuación se presenta, en la Figura 40, la evolución de la eliminación de detritus con instrumentación manual en los tercios radiculares.

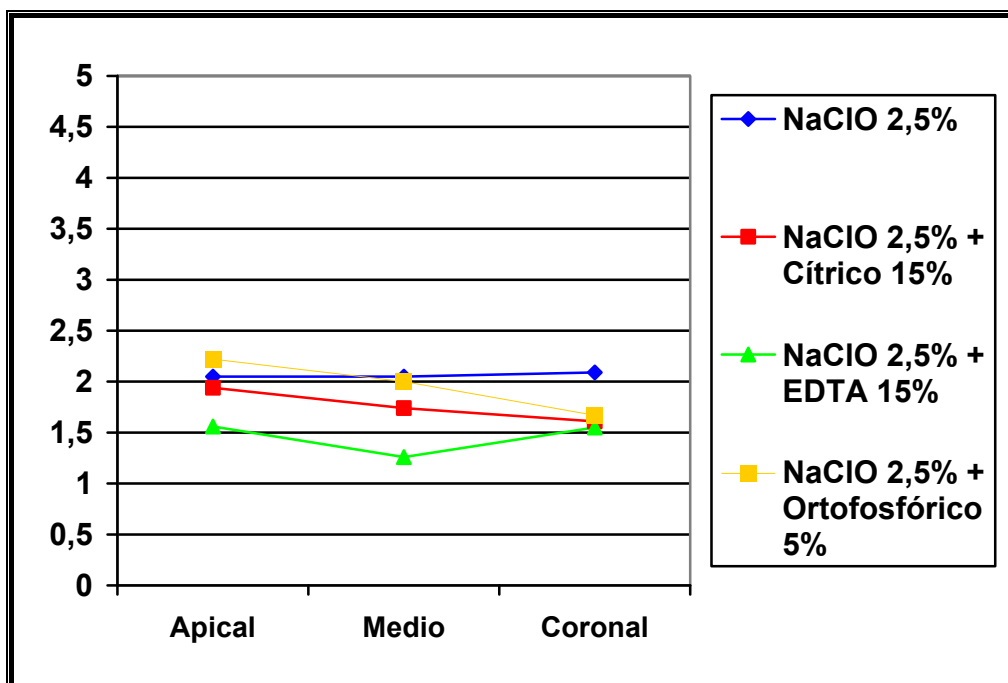


Figura 40. Evolución de la eliminación de detritus con la técnica de instrumentación manual en los tercios radiculares.

4.1.4.2. Instrumentación rotatoria

La Tabla 9 muestra las comparaciones de los resultados de eliminación de detritus con la técnica de instrumentación rotatoria entre tercios. Tampoco la utilización de instrumentos rotatorios en el grupo que se utilizó NaClO 2,5% dio lugar a diferencias significativas al comparar los resultados entre tercios.

Asimismo, en los grupos en que se empleó [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] e [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] no hubo diferencias entre tercios. Tan sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,008$) al comparar los resultados obtenidos con [NaClO 2,5% + EDTA 15%] en el tercio apical ($1,51\pm0,51$) frente a los del tercio coronal ($1,13\pm0,32$).

Tabla 9. Comparación de los resultados de eliminación de detritus con técnica de instrumentación rotatoria entre tercios.

Tercios	Solución irrigadora			
	NaClO 2,5%	NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	NaClO 2,5% + EDTA 15%	NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%
Apical vs medio (p)	0,767	0,498	0,091	0,314
Apical vs coronal (p)	0,359	0,107	0,008	0,508
Medio vs coronal (p)	0,441	0,526	0,326	0,959
Global (p)	0,607	0,368	0,018	0,836

En la Figura 41 se muestra cómo evoluciona la eliminación de detritus mediante el sistema de instrumentación rotatoria en los tres tercios del conducto radicular.

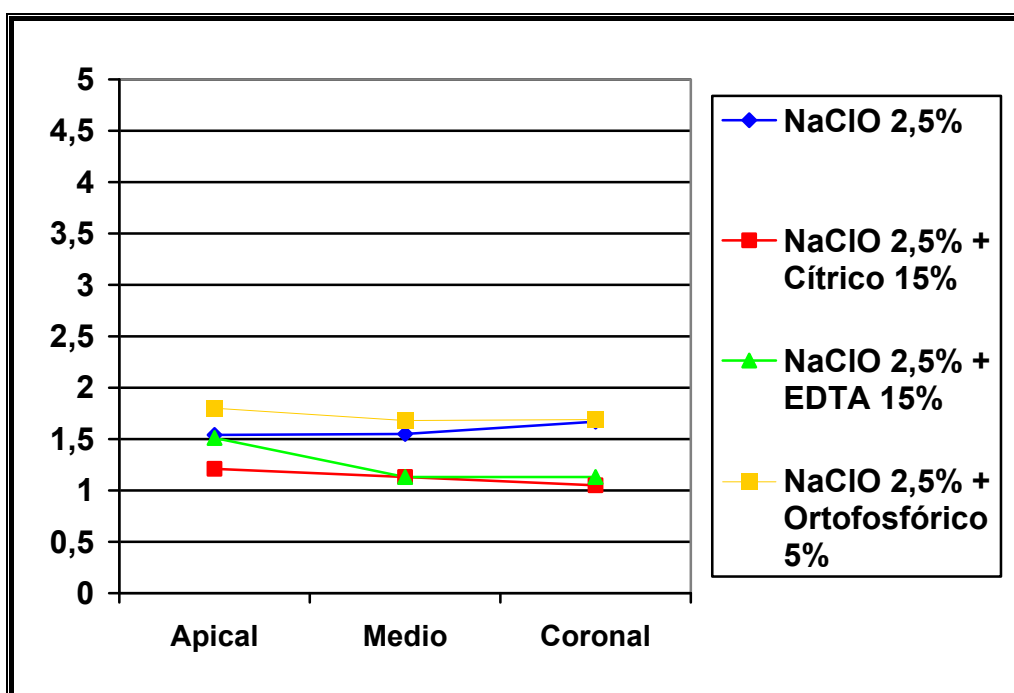


Figura 41. Evolución de la eliminación de detritus con la técnica de instrumentación rotatoria en los tercios radiculares.

4.1.5. INFLUENCIA DE LA TÉCNICA DE INSTRUMENTACIÓN

4.1.5.1. Tercio apical

La Tabla 10 muestra las comparaciones de los resultados de eliminación de detritus en el tercio apical con ambas técnicas de instrumentación. La comparación entre ambas técnicas de instrumentación, en este tercio, muestra diferencias estadísticamente significativas en el grupo en que se empleó [NaClO al 2,5% + ácido cítrico 15%] (manual: $1,94 \pm 0,24$ vs rotatoria: $1,21 \pm 0,31$) ($p < 0,001$) y el grupo en que se utilizó [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] como solución irrigadora (manual: $2,22 \pm 0,4$ vs rotatoria: $1,80 \pm 0,42$) ($p = 0,024$).

Tabla 10. Comparación de la eliminación de detritus entre técnicas de instrumentación en el tercio apical.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	0,082
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	<0,001
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,545
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,024

4.1.5.2. Tercio medio

La comparación entre técnica de instrumentación manual y técnica en el tercio medio (Tabla 11) de instrumentación rotatoria mostró diferencias estadísticamente significativas cuando se empleó la combinación [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (manual: $1,74 \pm 0,31$ vs rotatoria: $1,13 \pm 0,33$) como solución irrigadora ($p = 0,002$).

Tabla 11. Comparación de la eliminación de detritus entre técnicas de instrumentación en el tercio medio.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	0,212
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	0,002
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,066
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,324

4.1.5.3. Tercio coronal

En la Tabla 12 se recoge la comparación de los resultados de eliminación de detritus en el tercio coronal con ambas técnicas de instrumentación. Dicha comparación muestra diferencias estadísticamente significativas cuando se utilizó [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (manual: $1,61 \pm 0,37$ vs rotatoria: $1,05 \pm 0,09$) ($p < 0,001$) e [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (manual: $1,55 \pm 0,46$ vs rotatoria: $1,13 \pm 0,32$) ($p = 0,031$).

Tabla 12. Comparación de la eliminación de detritus entre técnicas de instrumentación en el tercio coronal.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	0,082
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	<0,001
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,031
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,704

4.2. ELIMINACIÓN DE BARRILLO DENTINARIO

4.2.1. ANÁLISIS FACTORIAL COMPLETO

En primer lugar se analizó la influencia de la utilización de diferentes soluciones irrigadoras (hipoclorito de sodio al 2,5%, NaClO al 2,5% + ácido cítrico al 15%, NaClO al 2,5% + EDTA al 15%, NaClO al 2,5% + ácido ortofosfórico al 5%), del tercio radicular (apical, medio, coronal) y de la técnica de instrumentación (manual, rotatoria) en la eliminación del barrillo dentinario, mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas; incluyendo los factores principales [soluciones irrigadoras, tercio radicular, técnica de instrumentación], así como las interacciones de segundo orden [soluciones irrigadoras x tercio radicular, soluciones irrigadoras x técnica de instrumentación, tercio radicular x técnica de instrumentación] y la interacción de tercer orden [soluciones irrigadoras x tercio radicular x técnica de instrumentación] (Tabla 13).

El modelo de regresión lineal no mostró interacción significativa entre los tres factores ($p = 0,267$). A continuación se procedió a realizar el análisis de forma estratificada para comprobar el efecto de la técnica de instrumentación para cada nivel de las otras dos variables, y viceversa.

Tabla 13. Influencia de las soluciones irrigadoras, del tercio radicular y de la técnica de instrumentación en la eliminación del barrillo dentinario.

Factores	<i>p</i>
Soluciones irrigadoras	0,101
Tercio radicular	<0,001
Técnica de instrumentación	<0,001
Soluciones irrigadoras x tercio radicular	0,485
Soluciones irrigadoras x técnica de instrumentación	0,007
Tercio radicular x técnica de instrumentación	<0,001
Soluciones irrigadoras x tercio radicular x técnica de instrumentación	0,267

4.2.2. RESULTADOS DE LA ELIMINACIÓN DEL BARRILLO DENTINARIO

4.2.2.1. Tercio apical

Los resultados de eliminación de barrillo dentinario obtenidos con ambas técnicas de instrumentación en el tercio apical, y la comparación entre técnicas, se recogen en la Tabla 14. Con técnica de instrumentación manual, [NaClO 2,5% + EDTA 15%] eliminó más barrillo dentinario ($2,15 \pm 0,80$), seguido por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,74 \pm 0,67$), por [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($2,80 \pm 0,85$) y, en último lugar, por el grupo del NaClO 2,5% ($3,91 \pm 0,28$).

Tabla 14. Eliminación de barrillo dentinario mediante técnicas de instrumentación manual y rotatoria en el tercio apical.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	$3,91 \pm 0,28$	$4,57 \pm 0,40$
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	$2,80 \pm 0,85$	$2,07 \pm 0,92$
NaClO 2,5% + EDTA 15%	$2,15 \pm 0,80$	$2,30 \pm 0,96$
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	$2,74 \pm 0,67$	$2,91 \pm 1,03$

* \bar{x} (media) \pm s (desviación estándar).

Con técnica de instrumentación rotatoria, [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] se convirtió en la combinación de soluciones que más barrillo dentinario eliminó ($2,07 \pm 0,92$), seguido por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($2,30 \pm 0,96$) y por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,91 \pm 1,03$) y, a mucha distancia, por el grupo de NaClO 2,5% ($4,57 \pm 0,40$).

4.2.2.2. Tercio medio

En la Tabla 15 se muestran los resultados de eliminación de barrillo dentinario en el tercio medio, con ambas técnicas de instrumentación.

Tabla 15. Eliminación de barrillo dentinario mediante técnicas de instrumentación manual y rotatoria en el tercio medio.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	$3,91 \pm 0,26$	$4,63 \pm 0,38$
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	$2,06 \pm 0,91$	$1,72 \pm 0,70$
NaClO 2,5% + EDTA 15%	$1,44 \pm 0,55$	$1,78 \pm 0,84$
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	$2,23 \pm 0,65$	$2,29 \pm 0,99$

* \bar{x} (media) \pm s (desviación estándar).

Cuando se utilizó la técnica de instrumentación manual, [NaClO 2,5% + EDTA 15%] volvió a eliminar más barrillo dentinario ($1,44 \pm 0,55$). Después se situaron [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($2,06 \pm 0,91$) e [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,23 \pm 0,65$). En último lugar, al igual que en el tercio apical, se situó el grupo en el que se usó NaClO 2,5% ($3,91 \pm 0,26$).

El empleo de la técnica de instrumentación rotatoria situó a [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,72 \pm 0,70$) como la combinación que más barrillo dentinario eliminaba, seguido muy de cerca por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,78 \pm 0,84$). El grupo [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] obtuvo resultados muy similares a los de la instrumentación manual ($2,29 \pm 0,99$) y el grupo NaClO 2,5% apenas eliminó barrillo dentinario ($4,63 \pm 0,38$).

4.2.2.3. Tercio coronal

La Tabla 16 reúne los resultados de eliminación de barrillo dentinario en el tercio coronal, tanto con técnica de instrumentación manual, como rotatoria.

Tabla 16. Eliminación de barrillo dentinario mediante técnicas de instrumentación manual y rotatoria en el tercio coronal.

Solución irrigadora	Técnica instrumentación	
	Manual*	Rotatoria*
NaClO 2,5%	3,85±0,27	4,74±0,36
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	1,13±0,32	1,19±0,43
NaClO 2,5% + EDTA 15%	1,65±0,87	1,35±0,44
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	1,79±0,65	2,30±0,90

* \bar{x} (media) ± s (desviación estándar).

Cuando el conducto fue preparado con técnica de instrumentación manual, el grupo [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] eliminó mayor cantidad de barrillo dentinario (1,13±0,32), seguido por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,65±0,87), y por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,79±0,65). El grupo en el que se empleó NaClO 2,5% dejó mayor cantidad de barrillo dentinario en las paredes del conducto radicular (3,85±0,27).

Con la técnica de instrumentación rotatoria, [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] fue la combinación que menor cantidad de barrillo dentinario dejó (1,19±0,43), seguido por [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,35±0,44) y por [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (2,30±0,90). El NaClO 2,5% apenas eliminó barrillo dentinario del conducto (4,74±0,36).

4.2.3. INFLUENCIA DE LA SOLUCIONES IRRIGADORAS

4.2.3.1. Instrumentación manual

En la Tabla 17 se presentan las comparaciones de los resultados de eliminación de barrillo dentinario entre soluciones irrigadoras, con técnica de instrumentación manual (por tercios). El grupo NaClO 2,5% mostró diferencias estadísticamente significativas al comparar sus resultados frente a la combinación de NaClO 2,5% con ácido cítrico 15%, con EDTA 15% o con ácido ortofosfórico 5%, en los tres tercios del conducto radicular ($p < 0,001$).

Además se encontraron diferencias significativas en el tercio apical, al comparar [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (2,80±0,85) frente a [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (2,15±0,80) ($p = 0,049$); en el tercio medio, en la comparación de [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (1,44±0,55) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (2,23±0,65) ($p = 0,018$); y en el tercio coronal, en la comparación de [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (1,13±0,32) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (1,79±0,65) ($p = 0,006$).

Tabla 17. Comparación de los resultados de eliminación de barrillo dentinario con técnica de instrumentación manual entre soluciones irrigadoras.

	Tercio radicular		
	Apical	Medio	Coronal
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
NaClO 2,5% vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + EDTA 15%] (<i>p</i>)	0,049	0,142	0,132
[NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (<i>p</i>)	0,427	0,649	0,006
[NaClO 2,5% + EDTA 15%] vs [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] (<i>p</i>)	0,151	0,018	0,395
Comparación global (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001

4.2.3.2. Instrumentación rotatoria

Las comparaciones de los resultados de eliminación de barrillo dentinario entre soluciones irrigadoras con técnica de instrumentación rotatoria, según el tercio radicular, se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Comparación de los resultados de eliminación de barrillo dentinario con técnica de instrumentación rotatoria entre soluciones ácidas.

	Tercio radicular		
	Apical	Medio	Coronal
Sin solución ácida vs ácido cítrico 15% (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
Sin solución ácida vs EDTA 15% (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
Sin solución ácida vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	0,001	<0,001	<0,001
Ácido cítrico 15% vs EDTA 15% (<i>p</i>)	0,450	0,879	0,315
Ácido cítrico 15% vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	0,082	0,103	0,004
EDTA 15% vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	0,131	0,198	0,007
Comparación global (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001

De nuevo se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar los resultados del grupo NaClO 2,5% frente a la combinación de NaClO 2,5% con ácido cítrico 15%, con EDTA 15% o con ácido ortofosfórico 5%, en los tres tercios del conducto radicular ($p < 0,001$).

En el tercio coronal, la comparación de [NaClO 2,5% + EDTA 15%] ($1,35 \pm 0,44$) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,30 \pm 0,90$) fue significativa ($p = 0,007$); al igual que la comparación entre [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] ($1,19 \pm 0,43$) frente a [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] ($2,30 \pm 0,90$) ($p = 0,004$).

4.2.4. INFLUENCIA DEL TERCIO RADICULAR

4.2.4.1. Instrumentación manual

En la Tabla 19 se presentan las comparaciones de los resultados de eliminación de barrillo dentinario entre tercios, cuando se utilizó la técnica de instrumentación manual. Al igual que ocurría con los detritus, en el grupo en el que se empleó NaClO 2,5% no se encontraron diferencias significativas al comparar los resultados entre tercios.

Cuando se utilizó [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,008$) al comparar los resultados del tercio apical ($2,80 \pm 0,85$) frente a los del tercio coronal ($1,13 \pm 0,32$), y también ($p = 0,018$) al comparar los resultados del tercio medio ($2,06 \pm 0,91$) con los de coronal ($1,13 \pm 0,32$). El grupo [NaClO 2,5% + EDTA 15%] sólo mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,021$) al comparar los resultados del tercio apical ($2,15 \pm 0,80$) frente a los resultados del tercio medio ($1,44 \pm 0,55$).

Tabla 19. Comparación de los resultados de eliminación de barrillo dentinario con técnica de instrumentación manual entre tercios.

Tercios	Solución irrigadora			
	NaClO 2,5%	NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%%	NaClO 2,5% + EDTA 15%	NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%
Apical vs medio (<i>p</i>)	0,498	0,069	0,021	0,168
Apical vs coronal (<i>p</i>)	0,500	0,008	0,093	0,012
Medio vs coronal (<i>p</i>)	0,399	0,018	0,345	0,038
Global (<i>p</i>)	0,309	0,001	0,177	0,028

Para finalizar, las comparaciones de los resultados obtenidos con [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] fueron estadísticamente significativas ($p = 0,012$) al comparar los resultados

del tercio apical ($2,74 \pm 0,67$) frente a los resultados del tercio coronal ($1,79 \pm 0,65$), y los del tercio medio ($2,23 \pm 0,65$) frente a los de coronal ($1,79 \pm 0,65$) ($p=0,038$).

La Figura 42 muestra cómo evoluciona la eliminación de barrillo dentinario con instrumentación manual en los diferentes tercios del conducto radicular.

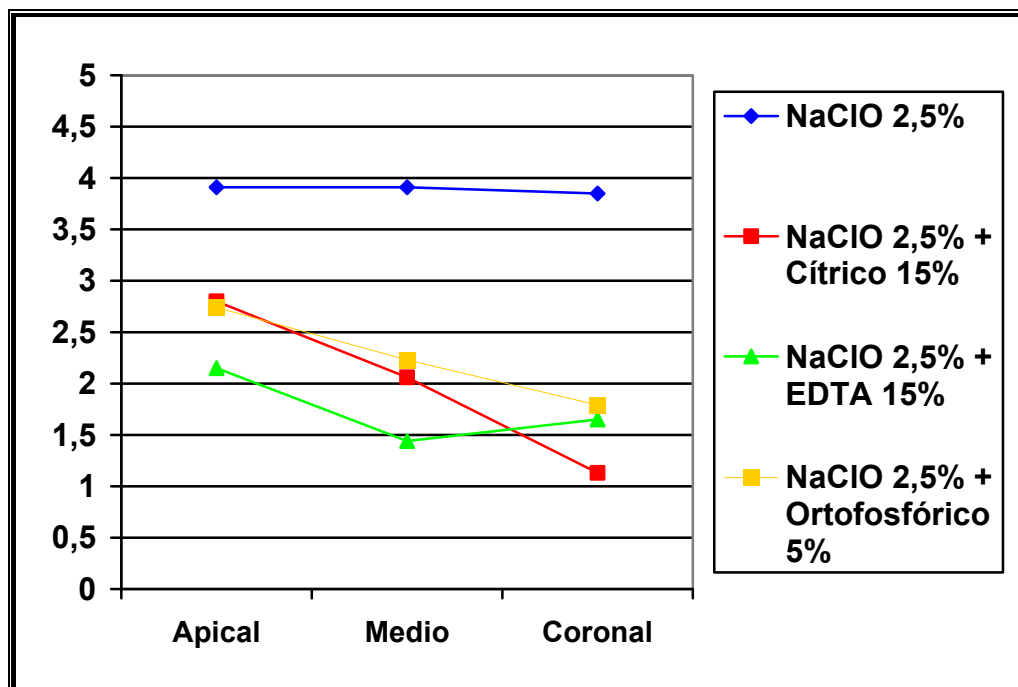


Figura 42. Evolución de la eliminación de barrillo dentinario con la técnica de instrumentación manual en los tercios radiculares.

4.2.4.2. Instrumentación rotatoria

Las comparaciones entre tercios de los resultados de eliminación de detritus con la técnica de instrumentación rotatoria se muestran en la Tabla 20. En los grupos de [NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%] e NaClO 2,5% no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar los resultados entre tercios.

En el grupo en que se empleó [NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%] hubo diferencias estadísticamente significativas ($p=0,044$) al comparar los resultados del tercio apical ($2,07 \pm 0,92$) frente a los del tercio coronal ($1,19 \pm 0,43$), y también ($p=0,012$) al comparar los resultados del tercio medio ($1,72 \pm 0,70$) con los del tercio coronal ($1,19 \pm 0,43$).

Tabla 20. Comparación de los resultados de eliminación de barrillo dentinario con técnica de instrumentación rotatoria entre tercios.

Tercios	Solución irrigadora			
	NaClO 2,5%	NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	NaClO 2,5% + EDTA 15%	NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%
Apical vs medio (<i>p</i>)	0,878	0,508	0,203	0,074
Apical vs coronal (<i>p</i>)	0,515	0,044	0,005	0,241
Medio vs coronal (<i>p</i>)	0,678	0,012	0,037	0,953
Global (<i>p</i>)	0,924	0,013	0,002	0,717

En las comparaciones de los resultados obtenidos con [NaClO 2,5% + EDTA 15%] existían diferencias significativas ($p=0,005$) entre el tercio apical ($2,30\pm0,96$) frente a los del tercio coronal ($1,35\pm0,44$), y entre el tercio medio ($1,78\pm0,84$) y el tercio coronal ($1,35\pm0,44$) ($p=0,037$). En la Figura 43 se puede observar la evolución de la eliminación del barrillo dentinario en los tres tercios del conducto radicular, cuando se uso instrumentación rotatoria.

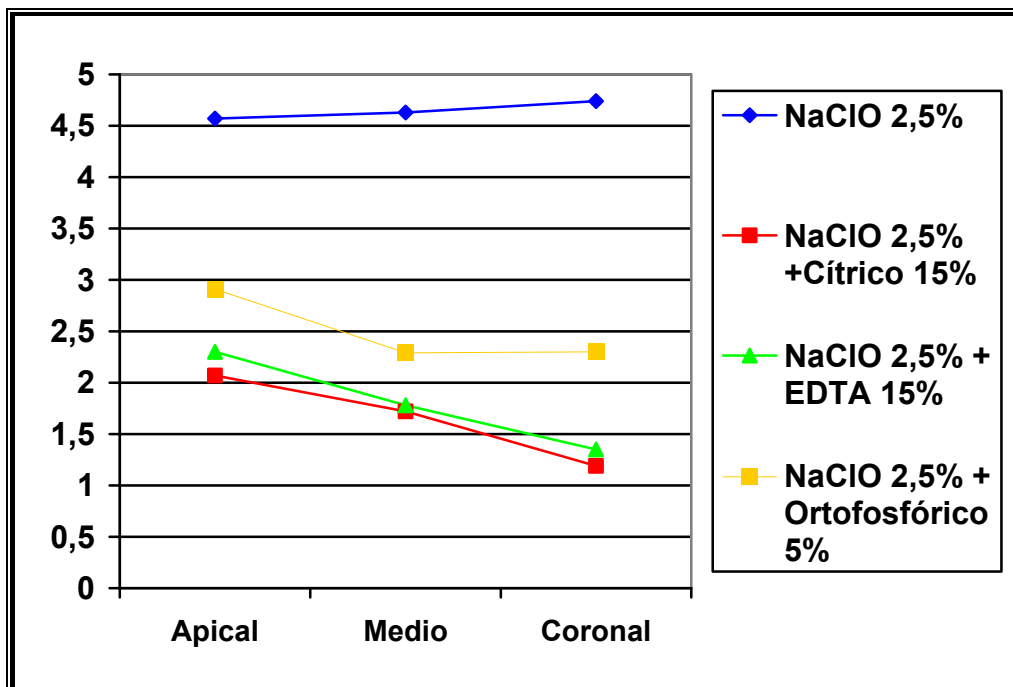


Figura 43. Evolución de la eliminación de barrillo dentinario con la técnica de instrumentación rotatoria en los tercios radiculares.

4.2.5. INFLUENCIA DE LA TÉCNICA DE INSTRUMENTACIÓN

4.2.5.1. Tercio apical

Las comparaciones de los resultados de eliminación de barrillo dentinario entre técnicas de instrumentación se recogen en la Tabla 21. En el tercio apical, las comparaciones no mostraron diferencias significativas en los grupos en los que se irrigó la dentina radicular con NaClO 2,5% en combinación con ácido cítrico 15%, con EDTA 15% o con ácido ortofosfórico 5%; tan sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el grupo en el que se empleó NaClO 2,5% ($p=0,001$).

Tabla 21. Comparación de la eliminación de barrillo dentinario entre técnicas de instrumentación en el tercio apical.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	0,001
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	0,064
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,850
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,705

4.2.5.2. Tercio medio

En la Tabla 22 se muestran las comparaciones de los resultados de eliminación de barrillo dentinario en el tercio medio. La comparación del barrillo dentinario eliminado entre la técnica de instrumentación manual y la técnica de instrumentación rotatoria mostró diferencias estadísticamente significativas en el grupo NaClO 2,5% ($p<0,001$), el resto de combinaciones no mostraron diferencias significativas al comparar ambas técnicas.

Tabla 22. Comparación de la eliminación de barrillo dentinario entre técnicas de instrumentación en el tercio medio.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	<0,001
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	0,545
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,287
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,791

4.2.5.3. Tercio coronal

La Tabla 23 reúne la comparación de los resultados de eliminación de barrillo dentinario con ambas técnicas de instrumentación en el tercio coronal. La única comparación que muestra diferencias estadísticamente significativas ($p=0,001$) tuvo lugar en el grupo de NaClO 2,5%.

Tabla 23. Comparación de la eliminación de barrillo dentinario entre técnicas de instrumentación en el tercio coronal.

Solución irrigadora	Comparación (p)
NaClO 2,5%	0,001
NaClO 2,5% + ácido cítrico 15%	0,287
NaClO 2,5% + EDTA 15%	0,877
NaClO 2,5% + ácido ortofosfórico 5%	0,081

4.3. EXTRACCIÓN DE CALCIO

4.3.1. ANÁLISIS FACTORIAL COMPLETO

Como paso previo se analizó la influencia de la solución utilizada para la inmersión (NaClO 2,5%, ácido cítrico 15%, EDTA 15%, ácido ortofosfórico 5%) y el tiempo de inmersión (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos) en la cantidad de calcio extraído (mg Ca^{2+}), mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas; incluyendo los factores principales [solución, tiempo], así como las interacciones de segundo orden [solución x tiempo] (Tabla 24). El modelo de regresión lineal mostró interacción significativa entre los dos factores ($p=0,003$); derivado de ello se procedió al análisis estratificado.

Tabla 24. Influencia de la solución y del tiempo de inmersión en la cantidad de calcio extraído (mg Ca^{2+}).

Factores	p
Solución	<0,001
Tiempo	<0,001
Solución x tiempo	0,003

4.3.2. MILIGRAMOS DE CALCIO EXTRAÍDO

En la Tabla 25 se muestran las cantidades de calcio extraídas (mg Ca²⁺) por cada solución de inmersión y tiempo de inmersión.

A los cinco minutos de inmersión, EDTA 15% fue la solución que extrajo la mayor cantidad de calcio (0,085±0,029), seguida por ácido cítrico 15% (0,075±0,019). El ácido ortofosfórico 5% extrajo 0,035±0,015 mg de Ca²⁺ en este periodo de tiempo. NaClO 2,5% apenas descalcificó las muestras (0,009±0,004).

A los diez minutos de inmersión, EDTA 15% (0,094±0,028) y ácido cítrico 15% (0,093±0,024) extrajeron cantidades de calcio similares. El ácido ortofosfórico 5% tan sólo alcanzó la mitad de los miligramos de calcio extraídos por las dos soluciones anteriores (0,046±0,020) e NaClO 2,5% continuó extrayendo poca cantidad de calcio (0,015±0,004).

A los quince minutos, los niveles de calcio en la solución aumentaron poco con respecto al periodo de lectura anterior (diez minutos). Ácido cítrico 15% (0,099±0,027) y EDTA 15% (0,098±0,028) volvieron a extraer cantidades de calcio muy similares. El ácido ortofosfórico 5% se situó en 0,052±0,023 e NaClO 2.5% en 0,019±0,004 miligramos de calcio.

Tabla 25. Cantidad de calcio extraído (mg Ca²⁺) por cada solución en cada tiempo de inmersión.

Solución	Tiempo de inmersión		
	5 minutos*	10 minutos*	15 minutos*
NaClO 2.5%	0,009±0,004	0,015±0,004	0,019±0,004
Ácido cítrico 15%	0,075±0,019	0,093±0,024	0,099±0,027
EDTA 15%	0,085±0,029	0,094±0,028	0,098±0,028
Ácido ortofosfórico 5%	0,035±0,015	0,046±0,020	0,052±0,023

* \bar{x} (media) ± s (desviación estándar).

4.3.3. INFLUENCIA DE LA SOLUCIÓN DE INMERSIÓN

Al comparar la cantidad de calcio extraído entre soluciones (Tabla 26) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones y en los tres periodos de tiempo, salvo en el caso de EDTA 15% frente a ácido cítrico 15%, a los cinco (0,085±0,029 *versus* 0,075±0,019) ($p=0,820$), a los diez (0,094±0,028 *vs* 0,093±0,024) ($p=0,821$), y a los quince minutos ($p=0,623$) (0,098±0,028 *vs* 0,099±0,027).

Tabla 26. Comparación entre soluciones de la cantidad de calcio extraído (mg Ca²⁺) por cada tiempo de inmersión.

Solución	Tiempo de inmersión		
	5 minutos	10 minutos	15 minutos
NaClO 2.5% vs ácido cítrico 15% (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
NaClO 2.5% vs EDTA 15% (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
NaClO 2.5% vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001
Ácido cítrico 15% vs EDTA 15% (<i>p</i>)	0,820	0,821	0,623
Ácido cítrico 15% vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	0,001	0,001	0,002
EDTA 15% vs ácido ortofosfórico 5% (<i>p</i>)	<0,001	0,001	0,001
Comparación global (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001

4.3.4. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE INMERSIÓN

En la Tabla 27 se recogen las comparaciones de la cantidad de calcio extraído en cada tiempo de inmersión para una misma solución irrigadora. La comparación global entre tiempos mostró diferencias estadísticamente significativas en el calcio extraído en los tres periodos de tiempo y en las cuatro soluciones de inmersión ($p < 0,001$). Todas las comparaciones por parejas también fueron estadísticamente significativas.

Tabla 27. Comparación entre tiempos de inmersión de la extracción de miligramos calcio por cada solución.

Tiempo de inmersión	Solución			
	NaClO 2.5%	Ácido cítrico 15%	EDTA 15%	Ácido ortofosfórico 5%
5 min <i>versus</i> 10 min (<i>p</i>)	0,005	0,005	0,005	0,005
5 min <i>versus</i> 15 min (<i>p</i>)	0,005	0,005	0,005	0,005
10 min <i>versus</i> 15 min (<i>p</i>)	0,004	0,005	0,012	0,005
Comparación global (<i>p</i>)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

En la Figura 44 se muestra la evolución en el tiempo de los miligramos de calcio extraídos por las cuatro soluciones.

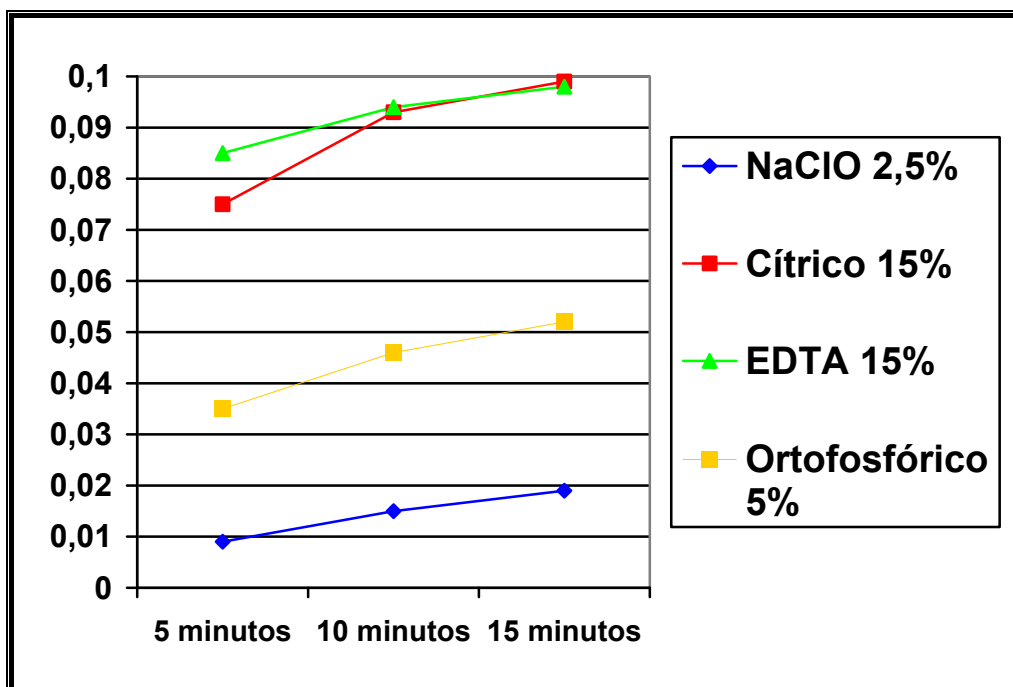


Figura 44. Evolución de los miligramos de Ca²⁺ extraídos en los tres periodos de tiempo.

4.4. VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN DE CALCIO

4.4.1. ANÁLISIS FACTORIAL COMPLETO

Primero se analizó la influencia de la solución utilizada para la inmersión (NaClO 2,5%, ácido cítrico 15%, EDTA 15%, ácido ortofosfórico 5%) y el tiempo de inmersión (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos) en el porcentaje de calcio extraído, mediante un diseño ANOVA factorial completo de medidas repetidas; incluyendo los factores principales [solución, tiempo], así como las interacciones de segundo orden [solución x tiempo] (Tabla 28). El modelo de regresión lineal mostró interacción significativa entre los dos factores ($p < 0,001$). A continuación se procedió a un análisis estratificado.

Tabla 28. Influencia de la solución y del tiempo de inmersión en el porcentaje de calcio extraído.

Factores	<i>p</i>
Solución	0,446
Tiempo	<0,001
Solución x tiempo	<0,001

4.4.2. PORCENTAJE DE CALCIO EXTRAÍDO

En la Tabla 29 se presentan los porcentajes de calcio extraído en los tres periodos de tiempo. La solución que descalcificó más rápidamente fue EDTA 15%, ya que extrajo el 86,72±7,49% del calcio en los primeros cinco minutos, reduciéndose a 10,02±6,35% entre los 5 y los 10 minutos y el restante 5,75±4,19% entre los 10 y los 15 minutos.

El ácido cítrico 15% y el ácido ortofosfórico 5% mostraron un comportamiento similar y extrajeron la mayor cantidad de calcio en los cinco primeros minutos de inmersión (77,03±11,98 y 67,08±9,89, respectivamente). Entre los 5 y 10 minutos extrajeron el 17,23±9,46% (ácido cítrico 15%) y el 22,30±7,25% (ácido ortofosfórico 5%) del calcio; mientras que entre los 10 y 15 de inmersión descalcificaron un 5,75±4,19% (ácido cítrico 15%) y un 10,64± 4,29% (ácido ortofosfórico 5%).

NaClO 2,5% mostró un porcentaje de extracción de calcio muy similar a los cinco minutos (43,43±14,15) y entre los cinco y los diez minutos (34,04±7,99), reduciéndose hasta un 22,56±7,97% entre los 10 y 15 minutos.

Tabla 29. Porcentaje de calcio extraído por cada solución en cada tiempo de inmersión.

Solución	Tiempo de inmersión		
	0-5 minutos*	5-10 minutos*	10-15 minutos*
NaClO 2.5%	43,43±14,15	34,04±7,99	22,56±7,97
Ácido cítrico 15%	77,03±11,98	17,23±9,46	5,75±4,19
EDTA 15%	86,72±7,49	10,02±6,35	3,08±3,01
Ácido ortofosfórico 5%	67,08±9,89	22,30±7,25	10,64± 4,29

* \bar{x} (media) ± s (desviación estándar).

4.4.3. INFLUENCIA DE LA SOLUCIÓN DE INMERSIÓN

La comparación del porcentaje de calcio extraído entre soluciones (Tabla 30) muestra diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones y en los tres periodos de tiempo, salvo en el caso de EDTA 15% frente a ácido cítrico 15%, a los cinco primeros minutos ($86,72 \pm 7,49$ vs $77,03 \pm 11,98$) ($p=0,082$), entre los cinco y diez minutos ($10,02 \pm 6,35$ vs $17,23 \pm 9,46$) ($p=0,082$), y entre los diez y quince minutos ($3,08 \pm 3,01$ vs $5,75 \pm 4,19$) ($p=0,089$).

Tampoco existen diferencias significativas al comparar ácido cítrico 15% frente a ácido ortofosfórico 5% ($77,03 \pm 11,98$ vs $67,08 \pm 9,89$) a los cinco minutos ($p=0,059$) y entre los cinco y diez minutos ($17,23 \pm 9,46$ vs $22,30 \pm 7,25$) ($p=0,199$).

Tabla 30. Comparación entre soluciones del porcentaje de calcio extraído por cada tiempo de inmersión.

Solución	Tiempo de inmersión		
	0-5 minutos	5-10 minutos	10-15 minutos
NaClO 2.5% vs ácido cítrico 15% (p)	<0,001	0,001	<0,001
NaClO 2.5% vs EDTA 15% (p)	<0,001	<0,001	<0,001
NaClO 2.5% vs ácido ortofosfórico 5% (p)	0,001	0,004	0,002
Ácido cítrico 15% vs EDTA 15% (p)	0,082	0,082	0,089
Ácido cítrico 15% vs ácido ortofosfórico 5% (p)	0,059	0,199	0,008
EDTA 15% vs ácido ortofosfórico 5% (p)	0,001	0,002	0,001
Comparación global (p)	<0,001	<0,001	<0,001

4.4.4. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE INMERSIÓN

En la Tabla 31 se recogen las comparaciones entre los porcentajes de calcio extraído en cada tiempo de inmersión para una misma solución.

La comparación global entre tiempos muestra diferencias estadísticamente significativas en el calcio extraído en los tres periodos de tiempo y en las cuatro soluciones de inmersión ($p=0,007$ para NaClO 2,5% y $p<0,001$ para las otras tres soluciones). La única solución que no mostró diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de calcio extraído a los cinco minutos ($43,43 \pm 14,15$) y el extraído entre los cinco y los diez minutos ($34,04 \pm 7,99$) ($p=0,241$) fue NaClO 2,5%.

Tabla 31. Comparación entre tiempos de inmersión del porcentaje de extracción de calcio por cada solución.

Tiempo de inmersión	Solución			
	NaClO 2.5%	Ácido cítrico 15%	EDTA 15%	Ácido ortofosfórico 5%
0-5 min <i>versus</i> 5-10 min (<i>p</i>)	0,241	0,005	0,005	0,005
0-5 min <i>versus</i> 5-15 min (<i>p</i>)	0,022	0,005	0,005	0,005
5-10 min <i>versus</i> 10-15 min (<i>p</i>)	0,005	0,005	0,005	0,005
Comparación global (<i>p</i>)	0,007	<0,001	<0,001	<0,001

La evolución en el tiempo del porcentaje de extracción de calcio de cada una de las soluciones de inmersión se muestra en la Figura 45.

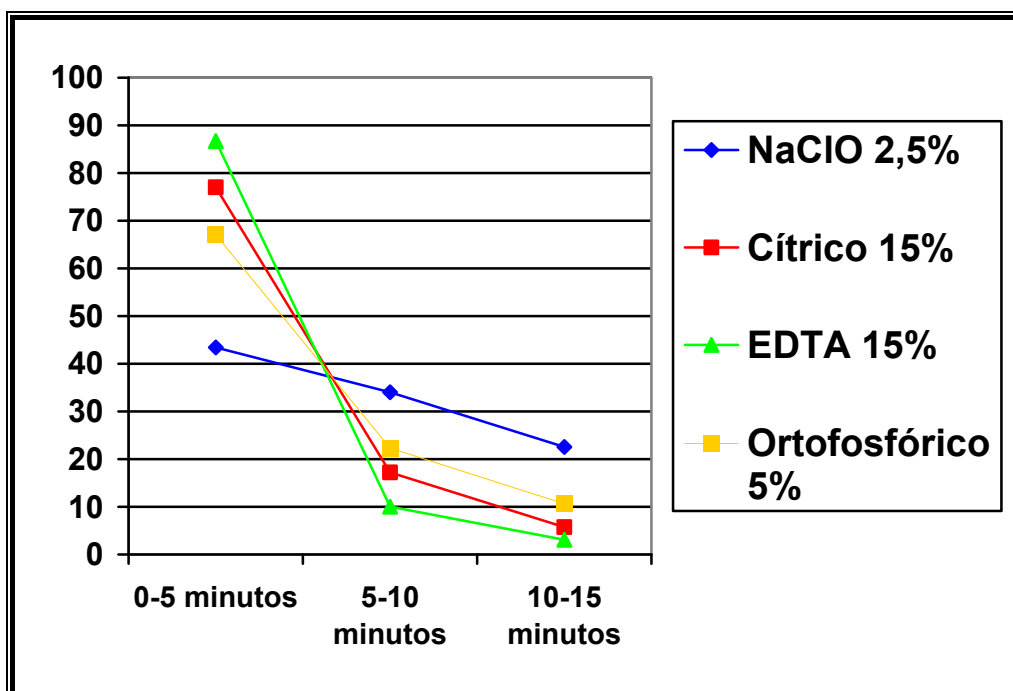


Figura 45. Evolución del porcentaje de extracción de calcio en los tres periodos de tiempo.



5. DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS DEL MÉTODO EMPLEADO

La limpieza y conformación de los conductos radiculares son claves en el éxito del tratamiento endodóncico. La limpieza del conducto radicular es el resultado directo de la conjunción de la técnica de instrumentación y de la solución irrigadora utilizada. El microscopio electrónico de barrido se ha revelado como un instrumento muy útil para evaluar la eficacia de las soluciones irrigadoras y los diferentes sistemas de preparación biomecánica del conducto radicular^{171,172,173,174,175,176,177,178,179,180,181,182}.

¹⁷¹ Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.

¹⁷² Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.

¹⁷³ Hulsmann M, Schade M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2001;34:538-46.

¹⁷⁴ Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

En este estudio, para comprobar la eficacia de diferentes soluciones irrigadoras y técnicas de instrumentación en la limpieza de los conductos radiculares, se han utilizado imágenes de microscopía electrónica de barrido. Dichas imágenes han sido evaluadas con una escala numérica validada, descrita por Hulsmann y cols.¹⁸³ en 1997, que se basa en la cuantificación de la cantidad de detritus y de barrillo dentinario en las paredes dentinarias del conducto radicular tras su preparación. Esta escala de medida, sencilla y práctica, ha sido empleada en numerosos estudios para valorar la limpieza del conducto radicular^{184,185,186,187,188,189,190,191,192,193,194,195,196}. Además, de acuerdo con Bertrand y cols.¹⁹⁷, Mayer

¹⁷⁵ Versumer J, Hulsmann M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37-46.

¹⁷⁶ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

¹⁷⁷ Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004;37:239-48.

¹⁷⁸ Paque F, Musch U, Hulsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005;38:8-16.

¹⁷⁹ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

¹⁸⁰ Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.

¹⁸¹ Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.

¹⁸² Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci.* 2007;49:47-52.

¹⁸³ Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.

¹⁸⁴ Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.

¹⁸⁵ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

¹⁸⁶ Hulsmann M, Schade M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2001;34:538-46.

¹⁸⁷ Ahlquist M, Henningson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

¹⁸⁸ Versumer J, Hulsmann M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37-46.

¹⁸⁹ Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J.* 2002;35:422-7.

¹⁹⁰ Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.

¹⁹¹ Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004;37:239-48.

¹⁹² Paque F, Musch U, Hulsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005;38:8-16.

¹⁹³ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

¹⁹⁴ Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.

¹⁹⁵ Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.



y cols.¹⁹⁸, Jeon y cols.¹⁹⁹ y Kum y cols.²⁰⁰, se ha incorporado una rejilla, que se ha superpuesto a las microfotografías, para valorar de forma más eficaz los resultados.

La espectrofotometría de absorción atómica (AAS) es un método validado para determinar la capacidad de extracción de iones Ca^{2+} de las soluciones irrigadoras^{201,202,203,204}. La metodología utilizada en este estudio, previamente descrita por González y cols.²⁰⁵, permite valorar en un mismo espécimen de dentina radicular humana (tercio coronal), la descalcificación obtenida por distintas soluciones irrigadoras; además de comparar su eficacia en tres periodos de tiempo diferentes. La preparación de secciones de dentina radicular de tamaño y peso análogo, siendo este ajustado a expensas de la zona central en todas las muestras, evita posibles discrepancias en función del área de dentina expuesta a las soluciones irrigadoras evaluadas.

El método ideal para la eliminación del barrillo dentinario y detritus, durante el tratamiento endodóncico, sería aquel que proporcionase unos resultados clínicos óptimos y se aplicase de forma sencilla y segura. En la actualidad, la efectividad de este método está directamente relacionada con la capacidad de las soluciones irrigadoras para remover tejido orgánico e inorgánico del interior de los conductos radiculares instrumentados, junto con las técnicas de preparación biomecánica utilizadas.

5.2. ELIMINACIÓN DE DETRITUS Y BARRILLO DENTINARIO

5.2.1. INFLUENCIA DE LA SOLUCIÓN IRRIGADORA

Uno de los objetivos de este estudio fue comparar la eficacia de soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con una solución de hipo-

¹⁹⁶ Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci.* 2007;49:47-52.

¹⁹⁷ Bertrand MF, Pizzardini P, Muller M, Medioni E, Rocca JP. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. *Int Endod J.* 1999;32:217-24.

¹⁹⁸ Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.

¹⁹⁹ Jeon In-Soo, Spangberg Larz SW, Yoon Tai-Cheol, Kazemi Reza B, Kum Kee-Yeon. Smear layer production by three rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:601-7.

²⁰⁰ Kum KY, Kazemi RB, Cha BY, Zhu Q. Smear layer production of K3 and ProFile Ni-Ti rotary instruments in curved root canals: a comparative SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:536-41.

²⁰¹ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

²⁰² Verdelis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.

²⁰³ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

²⁰⁴ Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004;37:365-9.

²⁰⁵ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

clorito sódico al 2,5%. Numerosos estudios^{206,207,208,209,210,211,212,213,214,215,216,217,218,219} han evaluado la eficacia de soluciones de NaClO, ácido cítrico y EDTA en la preparación de conductos radiculares. Pocos trabajos han estudiado la efectividad del ácido ortofosfórico en la eliminación del barrillo dentinario^{220,221,222,223}. Saleh y colaboradores²²⁴, en el año 2002, midieron las fuerzas de adhesión de distintos cementos selladores endodónticos utilizando diferentes pretratamientos en dentina radicular con soluciones de EDTA al 17% (5m), ácido cítrico al 25% (30s), ácido ortofosfórico al 37% (30s) y agua destilada. Los valores mayores de adhesión se obtuvieron en los grupos tratados con agua destilada o con ácido ortofosfórico.

²⁰⁶ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

²⁰⁷ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁰⁸ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopia electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 1993;6:313-20.

²⁰⁹ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

²¹⁰ Bechelli C, Zecchi Orlandini S, Colafranceschi M. Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation. *Int Endod J.* 1999;32:484-93.

²¹¹ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207-14.

²¹² Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²¹³ O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26:739-43.

²¹⁴ Cerviño Vazquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, Gonzalez Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñón M, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odonto-Estomatol* 2002;14:275-80.

²¹⁵ Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.

²¹⁶ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

²¹⁷ Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

²¹⁸ Khedmat S, Shokouhinejad N. Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal. *J Endod.* 2008;34:599-602.

²¹⁹ De-Deus G, Reis C, Fidel S, Fidel RA, Paciornik S. Longitudinal and quantitative evaluation of dentin demineralization when subjected to EDTA, EDTAC, and citric acid: a co-site digital optical microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:391-7.

²²⁰ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²²¹ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

²²² Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.

²²³ Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32:32-9.

²²⁴ Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Orstavik D. The effects of dentin pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J.* 2002;35:859-66.



5.2.1.1. Eliminación de detritus

En el presente estudio no encontramos diferencias significativas en la presencia de detritus entre los tres tercios del conducto radicular, con ambas técnicas de instrumentación, en los grupos irrigados con una solución de hipoclorito sódico al 2,5%. Estos resultados coinciden con los encontrados por Schafer y cols.²²⁵ al utilizar los sistemas rotatorios Race y K3 e irrigar con una solución NaClO al 2,5%; y con los de Alquist y cols.²²⁶ al comparar la eficacia de una solución de NaClO al 0,5% con técnicas de instrumentación rotatoria (Pro-File) y manual (limas S y técnica convencional).

Con la técnica de instrumentación manual, la solución de EDTA al 15% elimina la mayor cantidad de detritus en los tercios coronal, medio y apical, encontrando diferencias significativas al compararlos con ácido ortofosfórico al 5% e hipoclorito de sodio al 2,5%. Di Lenarda y cols.²²⁷ y Goldman y cols.²²⁸ encontraron resultados similares con diferentes soluciones de EDTA. Con la técnica de instrumentación rotatoria, Di Lenarda y cols.²²⁹, utilizando una solución de ácido cítrico, obtuvieron una mayor remoción de detritus en los tres tercios del conducto radicular; resultados similares a los nuestros.

5.2.1.2. Eliminación de barrillo dentinario

De acuerdo con numerosas publicaciones, el hipoclorito de sodio, utilizado como única solución irrigadora, no fue capaz de eliminar el barrillo dentinario, en los tres tercios del conducto radicular, con las técnicas de instrumentación manual y rotatoria^{230,231,232,233,234,235,236, 237,238,239,240}. Asimismo, la comparación de estos resultados frente a

²²⁵ Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.

²²⁶ Ahlquist M, Henningson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

²²⁷ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²²⁸ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

²²⁹ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²³⁰ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

²³¹ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²³² Ferrer Luque CM, González-López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Mechanical instrumentation of the root canals. A study using SEM and computerized image analysis. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol.* 1996;39:111-7.

²³³ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000; 18: 207-14.

²³⁴ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²³⁵ Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, González Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñón M, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odonto-Estomatol* 2002;14:275-80.

los restantes grupos de estudio, donde la solución de hipoclorito de sodio al 2,5% se alteró con soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, mostró diferencias estadísticamente significativas. Dichos hallazgos concuerdan con otros autores que comparan soluciones de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones (1%, 2,5%, 5%) con soluciones de EDTA (3%, 15%, 17%), ácido cítrico (10%, 15%, 19%, 50%) o ácido ortofosfórico al 24%, 37%^{241,242,243,244,245,246,247,248,249}.

Con ambas técnicas de instrumentación, la combinación de EDTA al 15% y ácido cítrico al 15% con NaClO al 2,5% mostraron resultados similares en la eliminación del barrillo dentinario.

El ácido ortofosfórico al 5%, alternado con NaClO al 2,5%, fue la solución ácida que eliminó menor cantidad de barrillo dentinario. La mayor cantidad de barrillo dentinario encontrada en el interior de los conductos puede ser atribuida a la menor concentración de la solución de ortofosfórico (5%) respecto a las de ácido cítrico y de EDTA (15%). Ayad²⁵⁰ obtuvo la remoción parcial del barrillo dentinario con ácido ortofosfórico al 10% y total con una

²³⁶ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²³⁷ Martos J, Willy Rodo Osinaga P, Paz Borda D. Evaluación del efecto del hipoclorito de sodio, EDTA y ácido cítrico en la permeabilidad dentinaria. *Endodoncia* 2004;22:104-8.

²³⁸ Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98.

²³⁹ Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.

²⁴⁰ Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci.* 2007;49:47-52.

²⁴¹ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁴² Sydney GB, Batista A, Estrela C, Pesce HF, de Melo LL. SEM analysis of smear layer removal after manual and automated handpiece root canal preparation. *Braz Dent J.* 1996;7:19-26.

²⁴³ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²⁴⁴ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207-14.

²⁴⁵ Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH. Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. *J Endod.* 2001;27:351-3.

²⁴⁶ Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.

²⁴⁷ Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, González Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñón M, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odonto-Estomatol* 2002; 14: 275-80.

²⁴⁸ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁴⁹ Martos J, Willy Rodo Osinaga P, Paz Borda D. Evaluación del efecto del hipoclorito de sodio, EDTA y ácido cítrico en la permeabilidad dentinaria. *Endodoncia* 2004;22:104-8.

²⁵⁰ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

concentración del 32%. Padrós y cols.²⁵¹ obtuvieron mejores resultados con ácido ortofosfórico al 37% que con soluciones de ácido cítrico al 15% y EDTA al 17%.

5.2.2. INFLUENCIA DEL TERCIO RADICULAR

5.2.2.1. Eliminación de detritus

La eliminación de detritus con una solución de NaClO al 2,5%, con ambas técnicas de instrumentación, fue muy similar entre tercios; no hallando diferencias significativas al comparar los resultados. Pero, al igual que encontraron otros autores^{252,253,254,255}, la mayor cantidad de detritus se encontró en el tercio apical de las paredes de los conductos instrumentados.

Los mejores resultados con soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con una solución de hipoclorito sódico al 2,5%, se obtuvieron en los tercios medio y coronal de los conductos. Resultados que concuerdan con estudios similares^{256,257,258,259,260,261,262,263,264,265}, que ponen de manifiesto que la solución irrigadora es más efectiva en los dos tercios superiores del conducto radicular que en el tercio apical. La

²⁵¹ Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.

²⁵² Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²⁵³ Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.

²⁵⁴ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁵⁵ Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004;37:239-48.

²⁵⁶ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁵⁷ Liolios E, Economides N, Parisis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

²⁵⁸ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²⁵⁹ Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J.* 2002;35:422-7.

²⁶⁰ Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.

²⁶¹ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁶² Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA, Prati C. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:832-9.

²⁶³ Drukteinis S, Balciuniene I. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of AET instruments and K-FlexoFiles. *Stomatologija.* 2006;8:70-5.

²⁶⁴ Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.

²⁶⁵ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

dificultad de acceso de la solución irrigadora sería responsable, en todos los casos, de la mayor cantidad de detritus encontrada en el tercio apical^{266,267,268,269}.

5.2.2.2. Eliminación de barrillo dentinario

La remoción del barrillo dentinario, con la técnica manual y rotatoria, no mostró diferencias significativas entre los tercios coronal, medio y apical, con una solución de NaClO al 2,5%. No obstante, coincidiendo con diferentes autores^{270,271,272,273,274,275,276,277,278,279}, la mayor cantidad de barrillo se encontró en el tercio apical de los conductos radiculares instrumentados.

²⁶⁶ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

²⁶⁷ Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1989;22:21-8.

²⁶⁸ Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32:32-9.

²⁶⁹ Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.

²⁷⁰ Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.

²⁷¹ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁷² Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.

²⁷³ Tucker DM, Wenckus CS, Bentkover SK. Canal wall planning by engine-driven nickel-titanium instruments, compared with stainless-steel hand instrumentation. *J Endod.* 1997;23:170-3.

²⁷⁴ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207-14.

²⁷⁵ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

²⁷⁶ Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.

²⁷⁷ Schafer E, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2003;36:208-17.

²⁷⁸ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁷⁹ De la Casa ML, Raiden G. A scanning electron microscopy evaluation of different root canal irrigating solutions. *Acta Odontol Latinoam.* 2005;18:57-61.

Numerosos estudios^{280,281,282,283,284,285} han demostrado que el uso alternado de soluciones de NaClO y EDTA, durante la preparación de conductos radiculares, elimina el componente orgánico e inorgánico de la dentina radicular. En nuestro trabajo, la eliminación del barrillo dentinario fue mayor en los tercios medio y coronal, con diferencias estadísticamente significativas respecto al tercio apical. Resultados que coinciden con diferentes trabajos^{286,287,288,289,290,291,292,293,294} en los que se utilizan soluciones de EDTA alternadas con hipoclorito de sodio, con técnicas de instrumentación manual y rotatoria.

Está demostrado que el uso alternado de soluciones de ácido cítrico e NaClO elimina el barrillo, abre los túbulos dentinarios y ejerce una acción antimicrobiana eficaz durante la preparación del conducto radicular^{295,296}. Ferrer Luque y cols.²⁹⁷ publicaron que concentraciones de ácido cítrico al 10, 25, y 50% son efectivas en la remoción del barrillo dentinario con técnicas ultrasónica y manual. En el presente estudio, las soluciones de ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con una solución de hipoclorito sódico al 2,5%, obtuvieron los mejores resultados en la eliminación del barrillo dentinario en el tercio coronal, con ambas técnicas de instrumentación; y éstos fueron significativamente diferentes de los encontrados en los tercios medio y apical. Hallazgos que coinciden con los

²⁸⁰ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

²⁸¹ Calt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *J Endod.* 2000;26:459-61.

²⁸² Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²⁸³ O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26:739-43.

²⁸⁴ Hulsmann M, Schade M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2001;34:538-46.

²⁸⁵ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁸⁶ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

²⁸⁷ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207-14.

²⁸⁸ Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.

²⁸⁹ Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.

²⁹⁰ Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.

²⁹¹ Martos J, Willy Rodo Osinaga P, Paz Borda D. Evaluación del efecto del hipoclorito de sodio, EDTA y ácido cítrico en la permeabilidad dentinaria. *Endodoncia.* 2004;22:104-8.

²⁹² Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA, Prati C. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:832-9.

²⁹³ Drukteinis S, Balciuniene I. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of AET instruments and K-FlexoFiles. *Stomatologija.* 2006;8:70-5.

²⁹⁴ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

²⁹⁵ Nikolaus BE, Wayman BE, Encinas E. The bactericidal effect of citric acid and sodium hypochlorite on anaerobic bacteria. *J Endod.* 1988;14:31-4.

²⁹⁶ Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod.* 1996;22:27-9.

²⁹⁷ Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopía electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odontostomatol.* 1993;6:313-20.

obtenidos por diversos autores que utilizan soluciones de ácido cítrico y ácido ortofosfórico^{298,299,300,301}.

5.2.3. INFLUENCIA DE LA TÉCNICA DE INSTRUMENTACIÓN

La eficacia de las técnicas de instrumentación manual y rotatoria, en la eliminación de detritus y barrillo dentinario, ha sido estudiada por distintos autores con diferentes resultados^{302,303,304,305,306,307,308,309,310,311,312}.

5.2.3.1. Eliminación de detritus

En nuestro estudio no encontramos diferencias significativas en la eliminación de detritus del conducto radicular, con técnicas manual y rotatoria, cuando se empleó una solución de hipoclorito de sodio al 2.5%. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ahlquist y cols.³¹³, al comparar la técnica de instrumentación rotatoria con el sistema ProFile con las técnicas de instrumentación manual con limas S y técnica convencional, usando soluciones

²⁹⁸ Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.

²⁹⁹ Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207-14.

³⁰⁰ Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, González Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñón M, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odonto-Estomatol* 2002;14:275-80.

³⁰¹ Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.

³⁰² Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.

³⁰³ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

³⁰⁴ Tucker DM, Wenckus CS, Bentkover SK. Canal wall planning by engine-driven nickel-titanium instruments, compared with stainless-steel hand instrumentation. *J Endod.* 1997;23:170-3.

³⁰⁵ Bertrand MF, Pizzardini P, Muller M, Medioni E, Rocca JP. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. *Int Endod J.* 1999;32:217-24.

³⁰⁶ Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

³⁰⁷ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

³⁰⁸ Jeon In-Soo, Spangberg Larz SW, Yoon Tai-Cheol, Kazemi Reza B, Kum Kee-Yeon. Smear layer production by three rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:601-7.

³⁰⁹ Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.

³¹⁰ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

³¹¹ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

³¹² Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci.* 2007;49:47-52.

³¹³ Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

de NaClO al 0,5%, y los de Schafer y cols.³¹⁴, con los sistemas rotatorios Race y K3 e hipoclorito de sodio al 2,5%. No obstante, Zand y cols.³¹⁵ obtuvieron mayor eliminación de detritus con técnica rotatoria (sistema FlexMaster) que con técnica manual (limas K NiTi Flex), usando como solución irrigadora NaClO al 0,5%.

Por el contrario, Hulsmann y cols.³¹⁶ encontraron una limpieza mayor utilizando técnica manual con limas Hedström, frente a instrumentación mecánica (Giromatic, Intra-Endo, Canal Zinder, Endo Planer, Excalibur, Endolift) y una solución de hipoclorito sódico al 3%. Igualmente, Schafer & Lohmann³¹⁷ hallaron menor cantidad de detritus, con diferencias significativas, con la técnica manual (step-back y limas K-FlexoFile) que con técnica rotatoria (sistema FlexMaster), utilizando como solución irrigadora NaClO al 2,5%.

Los mejores resultados en la remoción de detritus, coincidiendo con Liolios y cols.³¹⁸, se obtuvieron con técnica de instrumentación rotatoria, con una solución de ácido cítrico al 15% alternada con hipoclorito sódico al 2,5%. Con soluciones de EDTA al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%, no encontramos diferencias significativas en la eliminación de detritus, entre las técnicas manual y rotatoria, excepto en el tercio coronal para la solución de EDTA al 15% y en el tercio apical para el ácido ortofosfórico al 5%. Estos hallazgos concuerdan con los obtenidos por Bechelli y cols.³¹⁹, Versumer y cols.³²⁰, Liolios y cols.³²¹, o Jodway y cols.³²² para soluciones de EDTA. Sin embargo, Liu y cols.³²³, obtuvieron menos detritus con técnica manual (step-back y limas K-FlexoFile) que con técnica rotatoria (sistemas ProTaper y GT) utilizando como soluciones irrigadoras NaClO al 2,5% y EDTA al 17%.

Aunque en este trabajo no existen diferencias significativas entre técnicas de instrumentación en la mayoría de los grupos, se ha observado una mayor eliminación de detritus con la técnica de instrumentación rotatoria que con técnica de instrumentación manual. Este

³¹⁴ Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.

³¹⁵ Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci.* 2007;49:47-52.

³¹⁶ Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.

³¹⁷ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

³¹⁸ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

³¹⁹ Bechelli C, Zecchi Orlandini S, Colafranceschi M. Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation. *Int Endod J.* 1999;32:484-93.

³²⁰ Versumer J, Hulsmann M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37-46.

³²¹ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

³²² Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.

³²³ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

hecho podría deberse al diseño de los instrumentos endodónticos, como apuntan Sonntag y cols.³²⁴ y Kum y cols.³²⁵. Diseño que proporciona un corte de la superficie de la dentina radicular más suave y liso, sin tantos surcos; dejando una superficie más homogénea y limpia^{326,327}.

5.2.3.2. Eliminación de barrillo dentinario

La solución de hipoclorito sódico al 2,5%, como única solución irrigadora, eliminó más barrillo dentinario con técnica de instrumentación manual que con técnica rotatoria. Glossen y cols.³²⁸ obtuvieron mejores resultados en la eliminación de barrillo dentinario con una solución de NaClO al 2,5% y limas K-Flex, que con técnica de instrumentación rotatoria con el sistema NiTi Lightspeed. Hülsmann y cols.³²⁹ encontraron una mayor remoción del barrillo dentinario con técnica de instrumentación manual con limas Hedström (ISO 15-30), respecto a técnicas de instrumentación mecánica con piezas de mano (Endolift, Excalibur, Endoplaner, Canal Finder, Giromatic) y concentraciones de hipoclorito sódico del 1 al 3%. De igual forma, Schafer & Lohmann³³⁰, con técnica de instrumentación manual con limas K-FlexoFile, encontraron menos barrillo dentinario que con técnica rotatoria con el sistema FlexMaster, usando como solución irrigadora NaClO al 2,5%. No obstante, Alquist y cols.³³¹ no encontraron diferencias entre técnicas manuales (limas S y técnica convencional) y rotatoria (ProFile) usando soluciones de NaClO al 0,5%. Estas discrepancias pueden deberse a los diferentes diseños de los instrumentos rotatorios utilizados y/o a la diferente escala de medida del barrillo dentinario empleada³³².

No hemos encontrado diferencias significativas en la eliminación del barrillo dentinario entre las técnicas manual y rotatoria con soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5%, alternadas con una solución de hipoclorito sódico al 2,5%. Estos resultados coinciden con distintos trabajos que utilizan técnicas de instrumentación manual (limas K, limas K-FlexoFile, limas Hedström) y rotatoria (Endolift, Endocursor, ProFi-

³²⁴ Sonntag D, Delschen S, Stachniss V. Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J.* 2003;36:715-23.

³²⁵ Kum KY, Kazemi RB, Cha BY, Zhu Q. Smear layer production of K3 and ProFile Ni-Ti rotary instruments in curved root canals: a comparative SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:536-41.

³²⁶ Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J.* 1997;30:1-7.

³²⁷ Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

³²⁸ Glossen CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod.* 1995;21:146-51.

³²⁹ Hülsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.

³³⁰ Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-FlexoFiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.

³³¹ Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.

³³² Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004;37:239-48.



le.04, Max and NT engine, Lightspeed, ProTaper, GT)^{333,334,335,336,337}, alternando soluciones de NaClO con soluciones de ácido cítrico y EDTA.

5.3. DESCALCIFICACIÓN DE LA DENTINA RADICULAR

La efectividad de las soluciones irrigadoras, utilizadas durante el tratamiento de conductos radiculares, ha sido determinada con mediciones de microdureza, evaluaciones micro-radiográficas, estudios de espectrofotometría^{338,339,340,341,342,343} y, la mayoría de las veces, con microscopio electrónico de barrido^{344,345,346,347,348,349}, para evaluar la eficacia de estos agentes en la eliminación del barrillo dentinario y la desmineralización y suavización de la dentina radicular

La eficacia en la descalcificación de los agentes ácidos, utilizados en la preparación de conductos radiculares, depende de la longitud radicular, el tiempo de aplicación, su difusión en la dentina y principalmente del pH de la solución^{350,351,352}. Para las soluciones de

³³³ Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsioukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.

³³⁴ Bechelli C, Zecchi Orlandini S, Colafranceschi M. Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation. *Int Endod J.* 1999;32:484-93.

³³⁵ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

³³⁶ Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.

³³⁷ Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.

³³⁸ Verdelis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.

³³⁹ Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

³⁴⁰ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

³⁴¹ Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004;37:365-9.

³⁴² Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.

³⁴³ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

³⁴⁴ Calt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *J Endod.* 2000;26:459-61.

³⁴⁵ Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.

³⁴⁶ Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.

³⁴⁷ Haznedaroglu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

³⁴⁸ Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.

³⁴⁹ Khedmat S, Shokouhinejad N. Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal. *J Endod.* 2008;34:599-602.

³⁵⁰ Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28:141-8.

EDTA se preconiza el uso de un pH neutro³⁵³ y para el ácido cítrico los valores de pH eficaces se encuentran entre 1,1 y 1,9^{354,355}.

5.3.1. MILIGRAMOS DE CALCIO EXTRAÍDO: INFLUENCIA DE LA SOLUCIÓN Y TIEMPO DE INMERSIÓN

Las soluciones ácidas utilizadas en el presente trabajo fueron: ácido cítrico al 15% con pH 1,6, ácido ortofosfórico al 5% y pH de 1,02 y EDTA al 15% con pH 7. Los resultados mostraron que la cantidad de Ca^{2+} extraído se incrementó con el tiempo para todas las soluciones estudiadas; no encontrando diferencias estadísticamente significativas entre las soluciones de ácido cítrico al 15% y de EDTA al 15%; resultados que concuerdan con los de estudios previos^{356,357} en los que se utilizaron concentraciones del 10% y 20% de ácido cítrico y del 17% de EDTA.

Sin embargo, la capacidad de descalcificación de las soluciones de ácido cítrico al 15% y de EDTA al 15% fue mayor, en los tres tiempos de inmersión estudiados, que la de una solución de ácido ortofosfórico al 5%. Estas diferencias pueden deberse a que la concentración del ácido ortofosfórico fue menor que las concentraciones de las soluciones de EDTA y ácido cítrico evaluadas. En este sentido, podría esperarse una mayor extracción de iones Ca^{2+} con soluciones de ácido ortofosfórico más concentradas o pudiera ser que la descalcificación sea mayor a un pH concreto, como ocurre para una solución de ácido cítrico a pH 1,1³⁵⁸. No obstante, concentraciones mayores de ácido ortofosfórico podrían ocasionar la reprecipitación de la hidroxiapatita, a partir de las soluciones de fosfato cálcico formadas por la disolución inicial de la dentina radicular. La formación de nuevos complejos de fosfato cálcico reduciría la extracción de iones calcio de la dentina radicular expuesta³⁵⁹. En cualquier caso, no debemos olvidar, que una solución irrigadora eficaz debe ser capaz de remover el componente inorgánico, sin modificar excesivamente el componente orgánico de la dentina, y que el uso combinado de una solución de ácido ortofosfórico al 5% con una

³⁵¹ Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28:501-2.

³⁵² Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

³⁵³ Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28:501-2.

³⁵⁴ Haznedaroglu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.

³⁵⁵ Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

³⁵⁶ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.

³⁵⁷ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.

³⁵⁸ Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.

³⁵⁹ Marshall GW Jr, Balooch M, Tench RJ, Kinney JH, Marshall SJ. Atomic force microscopy of acid effects on dentin. *Dent Mater.* 1993;9:265-8.



solución de hipoclorito de sodio al 2.5% ha sido suficiente para eliminar el barrillo dentinario del canal radicular

En nuestro estudio, una solución de hipoclorito de sodio al 2,5% ha mostrado un pequeño efecto descalcificante. La extracción de iones Ca^{2+} ha sido baja y difiere significativamente de la encontrada para las soluciones ácidas evaluadas. El tratamiento con hipoclorito sódico produce acumulación de minerales en la dentina radicular humana³⁶⁰. El hipoclorito de sodio disuelve el material orgánico y expone el material inorgánico, evitando así una mayor disolución de la dentina radicular, y deja un barrillo dentinario de tejido mineralizado^{361,362}. Está demostrado que el uso de hipoclorito sódico a una concentración del 2,5%, utilizado como única solución irrigadora o en combinación con una solución de EDTA al 17%, aumenta significativamente la ratio Ca/P de la dentina radicular³⁶³.

Cambios en la recristalización de la hidroxiapatita, tras el tratamiento con hipoclorito de sodio³⁶⁴, podrían ser responsables de la disminución de los niveles de calcio y fósforo encontrados en la dentina radicular³⁶⁵. Además, al remover el componente orgánico de la dentina, el hipoclorito sódico también elimina los inhibidores de la mineralización, presumiblemente fosfoproteínas, e incrementa la porosidad de la dentina residual^{366,367}. El paso de iones Ca^{2+} a la solución irrigadora explicaría los niveles de calcio que hemos obtenido con una solución de hipoclorito de sodio al 2,5%.

5.3.2. PORCENTAJE DE CALCIO EXTRAÍDO: INFLUENCIA DE LA SOLUCIÓN Y TIEMPO DE INMERSIÓN.

En el presente estudio, el porcentaje de Ca^{2+} extraído con las soluciones ácidas evaluadas fue mayor en los 5 primeros minutos de inmersión, siendo la solución de EDTA al 15% la que obtuvo el mayor porcentaje de descalcificación (86,72%).

³⁶⁰ Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J. Effect of sodium hypochlorite treatment on remineralization of human root dentine in vitro. *Caries Res.* 1996; 0:218-24.

³⁶¹ Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod.* 1987;13:147-57.

³⁶² Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod.* 1992;18:605-12.

³⁶³ Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.

³⁶⁴ Perdigo J, Lopes M, Geraldini S, Lopes GC, Garcia-Godoy F. Effect of a sodium hypochlorite gel on dentin bonding. *Dent Mater* 2000;16:311-23.

³⁶⁵ Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.

³⁶⁶ Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J. Effect of sodium hypochlorite treatment on remineralization of human root dentine in vitro. *Caries Res.* 1996;30:218-24.

³⁶⁷ Sakae T, Mishima H, Kozawa Y. Changes in bovine dentin mineral with sodium hypochlorite treatment. *J Dent Res.* 1988;67:1229-34.

Cergneux y cols.³⁶⁸ eliminaron totalmente el barrillo dentinario con una solución de EDTA al 15% durante 4 minutos. Otros estudios han demostrado que la mayor extracción de iones Ca^{2+} ocurre en los 3 primeros minutos de inmersión para una solución de EDTA al 17%^{369,370} y en los 5 primeros minutos para una solución de ácido cítrico al 10%³⁷¹. Tras ese tiempo, la descalcificación se redujo progresivamente con diferencias significativas en los periodos de tiempo entre 5 y 10 minutos y entre 10 y 15 minutos. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por González-López y cols.³⁷² utilizando la misma metodología, y pueden explicarse, en el caso de las soluciones ácidas por el incremento de material orgánico expuesto en la superficie de la dentina radicular. La matriz orgánica de la dentina sería, por tanto, el factor limitante de la disolución del componente inorgánico, reduciendo así la acción descalcificante de estos agentes en el tiempo^{373,374,375}.

Con la solución de hipoclorito de sodio al 2,5% se obtuvo un porcentaje de extracción de iones calcio mayor en los primeros 5 minutos y disminuyó paulatinamente, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los cinco (43.43%) y diez minutos (34.04%) de inmersión. El uso de una solución de hipoclorito de sodio al 2,5% consigue extraer pequeños porcentajes de calcio de la dentina radicular, con un comportamiento más homogéneo en el tiempo que el obtenido por las soluciones ácidas evaluadas.

³⁶⁸ Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J. The effect of the smear layer on the impenetrability of the root canal obturation. *Inf Dent*. 1986;68:1699-702.

³⁶⁹ Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;95:234-6.

³⁷⁰ González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod*. 2006;32:781-4.

³⁷¹ Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J*. 2004;37:365-9.

³⁷² González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod*. 2006;32:781-4.

³⁷³ Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J. Effect of sodium hypochlorite treatment on remineralization of human root dentine in vitro. *Caries Res*. 1996;30:218-24.

³⁷⁴ Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod*. 2001;27:578-80.

³⁷⁵ Verdels K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol*. 1999;15:164-70.



6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y en función de los objetivos planteados, podemos concluir que:

1. La solución de EDTA al 15% alternada con NaClO al 2,5% eliminó mayor cantidad de detritus que el resto de soluciones, en los tres tercios del conducto, con técnica de instrumentación manual. Con la técnica de instrumentación rotatoria, ácido cítrico al 15% alternado con NaClO al 2,5% eliminó más detritus en el tercio apical y coronal que las otras soluciones irrigadoras; mientras que en el tercio medio mostró un comportamiento muy similar al de EDTA al 15% alternado con NaClO al 2,5%.
2. Utilizando la técnica de instrumentación manual, la solución de EDTA al 15% alternada con NaClO al 2,5% eliminó mayor cantidad de barrillo dentinario que las otras tres soluciones en los tercios apical y medio; aunque ácido cítrico al 15% alternado con NaClO al 2,5% fue más eficaz en el tercio coronal. Con la técnica de instrumentación rotatoria, ácido cítrico al 15% alternado con NaClO al 2,5% removió más barrillo dentinario que las otras soluciones irrigadoras.
3. La solución de hipoclorito de sodio al 2,5% eliminó los detritus de forma homogénea a lo largo del conducto, utilizada con técnicas de instrumentación manual y rotatoria; sin em-

bargo, el resto de las soluciones disminuyeron su eficacia en la remoción de detritus desde el tercio coronal al apical, tanto en la instrumentación manual, como en la rotatoria.

4. Hipoclorito de sodio al 2,5% dejó una gran cantidad de barrillo dentinario, muy similar en los tres tercios del conducto radicular, tanto con ambas técnicas de instrumentación; mientras que las soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15% y ácido ortofosfórico al 5% alternadas con NaClO al 2,5%, eliminaron mayor cantidad de barrillo dentinario en el tercio coronal, seguido del tercio medio y del apical, tanto con la técnica de instrumentación manual, como con la rotatoria.

5. La técnica de instrumentación rotatoria eliminó más detritus que la técnica de instrumentación manual, en los tres tercios del conducto radicular, con las cuatro soluciones irrigadoras.

6. La cantidad de barrillo dentinario eliminada con ambas técnicas de instrumentación fue similar, en los tres tercios del conducto, con las tres soluciones quelantes; mientras que la solución de hipoclorito de sodio al 2,5% con instrumentación manual removió mas barrillo dentinario que con instrumentación rotatoria.

7. La capacidad de extracción de iones de calcio de las soluciones de EDTA al 15% y ácido cítrico al 15% fue significativamente mayor que la de la solución de ácido ortofosfórico al 5%, en los tres periodos de inmersión. Hipoclorito de sodio al 2,5% fue capaz de extraer pequeñas cantidades de calcio de la dentina radicular.

8. Las soluciones de EDTA al 15%, ácido cítrico al 15%, y ácido ortofosfórico al 5% produjeron la mayor cantidad de descalcificación de la dentina radicular en los cinco primeros minutos; sin embargo, la solución de hipoclorito de sodio al 2,5% extrajo calcio de la dentina radicular de forma más homogénea en los tres periodos de inmersión.





7. BIBLIOGRAFÍA

- Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the clean-ing of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 2001;34:533-7.
- American Association of Endodontists. Glossary. Contemporary Terminology for Endodontics. 5ª ed. AAE: Chicago; 1994.
- Ando F. Chemical preparation in endodontic therapy. 1. The effect of EDTA on powdered dentin and dentinal walls. *Aichi Gakuin Daigaku Shigakkai Shi.* 1985;23:448-54.
- Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod.* 2005;31:187-9.
- Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *J Prosthet Dent.* 2001;85:67-72.
- Baker MC, Ashrafi SH, Van Cura JE, Remeikis NA. Ultrasonic compared with hand instrumentation: a scanning electron microscope study *J Endod.* 1988;14:435-40.

- Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod.* 1992;18:605-12.
- Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod.* 1987;13:147-57.
- Bechelli C, Zecchi Orlandini S, Colafranceschi M. Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation. *Int Endod J.* 1999;32:484-93.
- Beeson TJ, Hartwell GR, Thornton JD, Gunsolley JC. Comparison of debris extruded apically in straight canals: conventional filing versus profile .04 Taper series 29. *J Endod.* 1998;24:18-22.
- Bertrand MF, Pizzardini P, Muller M, Medioni E, Rocca JP. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. *Int Endod J.* 1999;32:217-24.
- Bolanos OR, Sinai IH, Gonsky MR, Srinivasan R. A comparison of engine and air-driven instrumentation methods with hand instrumentation. *J Endod.* 1988;14:392-6.
- Buchanan LS. Cleaning and shaping the root canal system: negotiating canals to the termini. *Dent Today.* 1994;13:76, 78-81.
- Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89:321-8.
- Calt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *J Endod.* 2000;26:459-61.
- Canalda Sahlí C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahlí C, Brau Aguade E. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-98.
- Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1990;23:163-71.
- Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J. The effect of the smear layer on the impenetrability of the root canal obturation. *Inf Dent.* 1986;68:1699-702.
- Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, González Bahillo J, Rodríguez Nogueira J, Ruiz Piñon M, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odonto-Estomatol* 2002;14:275-80.

- Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1989;22:21-8.
- Cohen M, Garnick JJ, Ringle RD, Hanes PJ, Thompson WO. Calcium and phosphorus content of roots exposed to the oral environment. *J Clin Periodontol.* 1992;19:268-73.
- Cury JA, Bragotto C, Valdrighi L. The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin. I. Influence of pH. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52:446-8.
- Czonstkowsky M, Wilson EG, Holstein FA. The smear layer in endodontics. *Dent Clin North Am.* 1990;34:13-25.
- De la Casa ML, Raiden G. A scanning electron microscopy evaluation of different root canal irrigating solutions. *Acta Odontol Latinoam.* 2005;18:57-61.
- De-Deus G, Reis C, Fidel S, Fidel RA, Paciornik S. Longitudinal and quantitative evaluation of dentin demineralization when subjected to EDTA, EDTAC, and citric acid: a co-site digital optical microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:391-7.
- Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000;33:46-52.
- Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001;27:578-80.
- Dolan DW, Craig RG. Bending and torsion of endodontic files with rhombus cross sections. *J Endod.* 1982;8:260-4.
- Drukteinis S, Balciuniene I. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of AET instruments and K-FlexoFiles. *Stomatologija.* 2006;8:70-5.
- Eldeeb ME, Boraas JC. The effect of different files on the preparation shape of severely curved canals. *Int Endod J.* 1985;18:1-7.
- Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S. The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. *J Endod.* 1987;13:102-8.
- Fava LR. The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. *J Endod.* 1983;9:76-80.
- Fernández Baca H. Preparación telescópica manual. *Endodoncia.* 1993;11:175-82.

TESIS DOCTORAL

- Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Estudio con microscopia electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 1993;6:313-20.
- Ferrer Luque CM, González López S, Navajas Rodríguez de Mondelo JM. Mechanical instrumentation of the root canals. A study using SEM and computerized image analysis. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol.* 1996;39:111-7.
- Fogarty TJ, Montgomery S. Effect of preflaring on canal transportation. Evaluation of ultrasonic, sonic, and conventional techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;72:345-50.
- Fogel HM, Pashley DH. Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *J Endod.* 1990;16:442-5.
- Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA, Prati C. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:832-9.
- Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J.* 2002;35:422-7.
- Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:359-67.
- Glossen CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod.* 1995;21:146-51.
- Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.
- Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8:487-92.
- González-López S, Camejo-Aguilar D, Sánchez-Sánchez P, Bolanos-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781-4.
- Goya C, Yamazaki R, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on smear layer at the apical stop and apical leakage after obturation. *Int Endod J.* 2000;33:266-71.



- Harrison JW, Wagner GW, Henry CA. Comparison of the antimicrobial effectiveness of regular and fresh scent Clorox. *J Endod.* 1990;16:328-30.
- Haznedaroglu F. Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer re-moval. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:340-4.
- Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22:550-7.
- Hulsmann M, Gressmann G, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.
- Hulsmann M, Herbst U, Schafers F. Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J.* 2003;36:748-56.
- Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic hand-pieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23:301-6.
- Hulsmann M, Schade M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2001;34:538-46.
- Hulsmann M, Stryga F. Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. *J Endod.* 1993;19:141-5.
- Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J. Effect of sodium hypochlorite treatment on remineralization of human root dentine in vitro. *Caries Res.* 1996; 0:218-24.
- Jeon In-Soo, Spangberg Larz SW, Yoon Tai-Cheol, Kazemi Reza B, Kum Kee-Yeon. Smear layer production by three rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:601-7.
- Jiménez-Rubio A, Segura JJ, Llamas R, Jiménez-Planas A, Guerrero JM, Calvo JR. In vitro study of the effect of sodium hypochlorite and glutaraldehyde on substrate adherence capacity of macrophages. *J Endod.* 1997;23:562-4.
- Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2006;39:71-80.
- Khedmat S, Shokouhinejad N. Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal. *J Endod.* 2008;34:599-602.

- Kum KY, Kazemi RB, Cha BY, Zhu Q. Smear layer production of K3 and ProFile Ni-Ti rotary instruments in cur-ved root canals: a comparative SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:536-41.
- Leonardo MR, Leal JM. Preparación biomecánica de los conductos radiculares. En: Leonardo MR, Leal JM. *Endodoncia. Tratamiento de los conductos radiculares.* 2ªed. Madrid: Médica Panamericana; 1994. p. 296-320.
- Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J.* 2003;36:336-43.
- Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsoukias A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J.* 1997;30:51-7.
- Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-FlexoFiles. *Am J Dent.* 2006;19:353-8.
- Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004;37:365-9.
- Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod.* 1984;10:477-83.
- Marshall GW Jr, Balooch M, Tench RJ, Kinney JH, Marshall SJ. Atomic force microscopy of acid effects on dentin. *Dent Mater.* 1993;9:265-8.
- Marshall GW Jr. Dentin: microstructure and characterization. *Quintessence Int.* 1993;24:606-17.
- Martos J, Willy Rodo Osinaga P, Paz Borda D. Evaluación del efecto del hipoclorito de sodio, EDTA y ácido cítrico en la permeabilidad dentinaria. *Endodoncia* 2004;22:104-8.
- Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.
- McComb D, Smith DC A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod.* 1975;1:238-42.
- Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod.* 1984;10:491-8.

- Nikiforuk G, Sreebny L. Demineralization of hard tissues by organic chelating agents at neutral pH. *J Dent Res.* 1953;32:859-67.
- Nikolaus BE, Wayman BE, Encinas E. The bactericidal effect of citric acid and sodium hypochlorite on anaerobic bacteria. *J Endod.* 1988;14:31-4.
- O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26:739-43.
- Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia.* 2000;18:207-14.
- Onçağ O, Hoşgör M, Hilmioğlu S, Zekiöğlü O, Eronat C, Burhanoğlu D. Comparison of antibacterial and toxic effects of various root canal irrigants. *Int Endod J.* 2003;36:423-32.
- Padrós FE, Rodríguez VJ. Cómo obtener un sellado microscópico de las paredes de los conductos radiculares (técnica original). *Rev Eur Odonto-Estomatol.* 2002;14:263-74.
- Paque F, Musch U, Hulsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005;38:8-16.
- Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J Endod.* 1985;11:525-8.
- Perdigao J, Lopes M, Geraldeli S, Lopes GC, Garcia-Godoy F. Effect of a sodium hypochlorite gel on dentin bonding. *Dent Mater* 2000;16:311-23.
- Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2006;32:993-7.
- Prati C, Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S. Appearance of the root canal walls after preparation with NiTi rotary instruments: a comparative SEM investigation. *Clin Oral Investig.* 2004;8:102-10.
- Rodrigo SB, Ulfohn R, Gani O. Variación del ángulo de curvatura en conductos mesiales de molares inferiores analizando cuatro técnicas de instrumentación en dos grupos etarios. *Endodoncia.* 1996;14:165-74.
- Sakae T, Mishima H, Kozawa Y. Changes in bovine dentin mineral with sodium hypochlorite treatment. *J Dent Res.* 1988;67:1229-34.
- Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Orstavik D. The effects of dentin pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J.* 2002;35:859-66.

- Scelza MF, Daniel RL, Santos EM, Jaeger MM. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *J Endod.* 2001;27:741-3.
- Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:234-6.
- Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.
- Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002;35:514-21.
- Schafer E, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles - Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2003;36:208-17.
- Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004;37:239-48.
- Schafer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod.* 2000;26:660-4.
- Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18:269-96.
- Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28:141-8.
- Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28: 501-2.
- Settembrini L, Boylan R, Strassler H, Scherer W. A comparison of antimicrobial activity of etchants used for a total etch technique *Oper Dent.* 1997;22:84-8.
- Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2007;33:96-105.

- Siqueira JF Jr, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod.* 1999;25:332-5.
- Sonntag D, Delschen S, Stachniss V. Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J.* 2003;36:715-23.
- Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod.* 1977;3:49-53.
- Sydney GB, Batista A, Estrela C, Pesce HF, de Melo LL. SEM analysis of smear layer removal after manual and automated handpiece root canal preparation. *Braz Dent J.* 1996;7:19-26.
- Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32:32-9.
- Tauber R, Morse DR, Sinai IA, Furst ML. A magnifying lens comparative evaluation of conventional and ultrasonically energized filing. *J Endod.* 1983;9:269-74.
- Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J.* 1997;30:1-7.
- Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH. Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. *J Endod.* 2001;27:351-3.
- Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003;29:170-5.
- Tucker DM, Wenckus CS, Bentkover SK. Canal wall planning by engine-driven nickel-titanium instruments, compared with stainless-steel hand instrumentation. *J Endod.* 1997;23:170-3.
- Verdellis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J. Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15:164-70.
- Versumer J, Hulsmann M, Schafers F. A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37-46.

TESIS DOCTORAL

- Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals J Endod. 2003;29:562-4.
- Weine FS, Kelly RF, Bray KE. Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. J Endod. 1976;2:298-303.
- West JD. Introduction of a new rotary endodontic system: progressively tapering files Dent Today. 2001;20:50-2, 54-7.
- White Robert R, Goldman M, Lin PS. The influence of the smear-layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials. J Endod. 1984;10:558-62.
- Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. J Endod. 1983;9:137-42.
- Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. J Endod. 1996;22:27-9.
- Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. J Endod. 1995;21:592-3.
- Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. Oral Sci. 2007;49:47-52.
- Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T. Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2002;94:756-62.
- Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. J Endod. 2005;31:817-20.
- Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006;32:389-98.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Los resultados de este trabajo han sido publicados en:

Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP. The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. J Endod. 2006;32:993-7.

Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP, Martín-Peinado FJ, González-López S. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine. Int Endod J. 2008;41:418-23.

A continuación se presentan ambas publicaciones en su formato original.

The Effectiveness of Different Acid Irrigating Solutions in Root Canal Cleaning After Hand and Rotary Instrumentation

Mercedes Pérez-Heredia, BDS, Carmen María Ferrer-Luque, DDS, MD, PhD, and María Paloma González-Rodríguez, DDS, PhD

Abstract

The goal of this study was to evaluate the cleaning ability of three acid irrigating solutions after hand and rotary instrumentation. Eighty human teeth were randomly divided in eight groups. Four groups were prepared with hand instrumentation and other four with ProTaper. The irrigating solutions were 15% citric acid plus 2.5% NaOCl; 15% EDTA plus 2.5% NaOCl; 5% orthophosphoric acid plus 2.5% NaOCl; and 2.5% NaOCl alone as control. Canal walls were observed with scanning electron microscopy, and photomicrographs were taken in apical, middle, and coronal thirds. A scoring system for debris and smear layer was used. Acid solutions with 2.5% NaOCl were effective in the elimination of smear layer or debris, and no significant differences were showed in smear layer removal between techniques. However, 2.5% NaOCl did not remove smear layer or debris, and no significant differences in debris were observed between manual and rotary techniques. (*J Endod* 2006;32:993–997)

Key Words

Citric acid, EDTA, orthophosphoric acid, smear layer, sodium hypochlorite

From the Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada—Spain, Campus de Cartuja, Granada, Spain.

Address requests for reprints to Dr. Mercedes Pérez-Heredia, Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada—Spain, Campus de Cartuja, Colegio Maximo s/n. 18071, Granada (Spain). E-mail address: cferrer@ugr.es.

0099-2399/\$0 - see front matter

Copyright © 2006 by the American Association of Endodontists.

doi:10.1016/j.joen.2006.05.016

The cleaning and shaping of the root canal system are considered key requirements for success in root canal treatment. However, limitations in the overall quality of preparations obtained by manual and automated root canal instrumentation have been reported by numerous researchers (1–5).

Novel instrumentation systems have been introduced with the aim of improving biomechanical preparations, using nickel-titanium (Ni-Ti) alloys for the instruments and applying a crown-down technique. Rotary preparation of the root canal takes less effort and time than manual methods and is less tiring for the professional and patient. Only a few studies have been published on the cleaning ability of rotary Ni-Ti files (6–12). Most of these studies concluded that hand instrumentation does not clean the root canal, especially the apical region of curved canals.

The effectiveness of endodontic space cleaning depends on both instrumentation and irrigation. Irrigation plays a main role in successful debridement and disinfection. The most widely used irrigant for root canal treatment is sodium hypochlorite (NaOCl) at concentrations of 0.5 to 5.25%. The tissue-dissolving capacity and microbicidal activity of NaOCl make it an excellent irrigating solution (13), but it has only limited effect on the dissolution of smear layer. Acid solutions have been recommended for removing the smear layer, including: sodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), most active at a concentration of 15 to 17%, and pH of 7 to 8 (14); citric acid solutions, used at concentrations of 10, 25, and 50% (15); and orthophosphoric acid, at concentrations of 10, 32, and 37% (14, 16).

The purpose of this in vitro study was to evaluate the cleaning effectiveness of 15% EDTA + 2.5% NaOCl, 15% citric acid + 2.5% NaOCl and 5% orthophosphoric acid + 2.5% NaOCl compared with 2.5% NaOCl, after hand and rotary preparation, using scanning electron microscopy (SEM).

Materials and Methods

Tooth Selection

Eighty human upper central incisors with single straight root canal extracted from 40- to 60-year-old patients with periodontal disease, without pulp tissue in canal or root canal treatment, were selected. The average root length was 12 mm. Specimens were stored in 2% thymol solution at room temperature.

Root Canal Preparation

The crowns were removed at the cemento-enamel junction level with carborundum disk. The working length for teeth was established by passing a size 10 K file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) into the canal until it could be just seen at the apical foramen. The teeth were randomly divided into eight groups ($n = 10$) according to root canal preparation technique and irrigating solutions (Table 1). Groups 1, 2, 3, and 4 were prepared with hand instrumentation, performed with K-Flexofile files (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). A step-back sequential technique was used to the working length at an apical size of 30; subsequent sizes were shorter by 1 mm down to size 45 K file. Groups 5, 6, 7, and 8 were prepared with ProTaper system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). ProTaper instruments were used in a crown-down technique with a constant speed of 300 rpm (ProTaper with ATR Tecnika, Maillefer, Ballaigues, Switzerland) according to the manufacturer's in-



Basic Research—Technology

TABLE 1. Routine of irrigation in hand and rotary instrumentation groups

Irrigation Routine	Hand Instrumentation		Irrigation Routine	Rotary Instrumentation	
	Group 1	Groups 2,3,4		Group 5	Groups 6,7,8
Initial irrigation	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl	Initial irrigation	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #15	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of acid solutions	After instrument SX	5 ml of acid solutions	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #20	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl	After instrument S1	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #25	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of acid solutions	After instrument S2	5 ml of acid solutions	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #30	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl	After instrument F1	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #35	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of acid solutions	After instrument F2	5 ml of acid solutions	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #40	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl	After instrument F3	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of 2.5% NaOCl
After file #45	5 ml of 2.5% NaOCl	5 ml of acid solutions			
Final irrigation	10 ml of 2.5% NaOCl	10 ml of 2.5% NaOCl	Final irrigation	10 ml of 2.5% NaOCl	10 ml of 2.5% NaOCl
Total	30 ml of 2.5% NaOCl	50 ml of 2.5% NaOCl	Total	30 ml of 2.5% NaOCl	45 ml of 2.5% NaOCl
	20 ml of acid solutions			15 ml of acid solutions	

Groups 1 and 5 were irrigated with 2.5% NaOCl.
 Groups 2 and 6 were irrigated with 2.5% NaOCl and 15% citric acid.
 Groups 3 and 7 were irrigated with 2.5% NaOCl and 15% EDTA.
 Groups 4 and 8 were irrigated with 2.5% NaOCl and 5% orthophosphoric acid.

structions using a gentle in-and-out movement. An F3 file (finishing file no. 3; taper 0.09-0.05; size 30) was used to the full working length. The instruments were changed every five canals.

Routine of irrigation is shown in Table 1. In all groups, initial irrigation was performed with 5 ml of 2.5% NaOCl solution using a plastic syringe with 30-gauge closed-end needle (Hawe Max-I-probe, Hawe-Neos, Bioggio, Switzerland). The needle was inserted as deeply as possible into the root canal. In hand (2, 3, and 4) and in rotary instrumentation groups (6, 7, and 8), after use of an instrument, the canals were flushed with 5 ml of their corresponding solutions: 15% citric acid, 17% EDTA and 5% orthophosphoric acid, respectively; and, after the next instrument, were flushed with 5 ml of 2.5% NaOCl. The groups 1 and 5 were used as control and were flushed with 5 ml of 2.5% NaOCl after each instrument changing. After their preparation, all root canals were flushed with 10 ml of 2.5% NaOCl and dried with absorbent paper points (Dentsply Maillefer).

SEM Examination

Roots were split longitudinally in the bucco-lingual plane. To facilitate fracture into two halves, all roots were grooved longitudinally on the external surfaces with diamond disk, avoiding penetration of root canals. It was selected half of each root in which the entire canal was visualized. Root surfaces were grooved to three levels at 3, 6, and 9 mm from the root apices using a diamond bur. Canal halves were secured on metal stubs, desiccated, sputter-coated with gold, and viewed with SEM (LEO 1430 VP, Carl Zeiss NTS GmbH, Oberkochen, Germany).

The cleanliness of each canal wall was evaluated in three areas (apical, middle, and coronal thirds of the root) and photographed at 2000× magnification for smear layer and 200× for debris evaluation, at the same height as the groove that defined each third. The views were divided into 48 subareas by overlaying a grid. Each of the 48 subareas of microphotographs was measured. The scoring procedure was carried out by the same operator that could not identify either the specimen with the solution or the system used for the preparation of the root canals. This operator was trained in this punctation procedure, resulting in a sufficient intraobserver reproducibility, using the following 5-score systems (4).

Smear layer (dentin particles, remnants of vital or necrotic pulp tissue, bacterial components, and retained irrigant):

- Score 1: No smear layer; orifice of dentinal tubules patent.
- Score 2: Small amount of smear layer; some dentinal tubules open.
- Score 3: Homogeneous smear layer along almost the entire canal wall; only very few dentinal tubules open.

Score 4: Entire root canal wall covered with a homogeneous smear layer; no open dentinal tubules.

Score 5: A thick, homogeneous smear layer covering the entire root canal wall.

Debris (dentin chips, pulp remnants, and particles loosely attached to the canal wall):

- Score 1: Clean canal wall; only very few debris particles.
- Score 2: Few small conglomerations.
- Score 3: Many conglomerations; <50% of canal wall covered.
- Score 4: >50% of canal wall covered.
- Score 5: Complete or nearly complete covering of canal wall by debris.

The final result of the smear layer and debris analysis of each root canal specimen was obtained by calculating the mean scores of the 48 areas of each specimen on the screen.

Statistical Analysis

The Kolmogorov-Smirnov test was used for checking the normality of the data distribution. As the results for each group did not follow a normal distribution, the variables were analyzed using a nonparametric test. Debris and smear layer scores for the irrigating solutions and techniques were analyzed using the Mann-Whitney *U* test (for pairwise comparisons) and the Kruskal-Wallis test (global comparisons). The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

Tables 2 and 3 show the smear layer and debris findings and the comparisons between instrumentation techniques and the comparisons among irrigating solutions are listed in Table 4.

In hand instrumentation with 15% EDTA plus 2.5% NaOCl more debris was removed than with the rest of the groups in the three thirds of the canal (apical: 1.557 ± 0.459 , middle: 1.257 ± 0.228 , coronal: 1.551 ± 0.461). Moreover, more smear layer was removed than with the other acid solutions in apical and middle thirds (apical: 2.154 ± 0.797 , middle: 1.440 ± 0.554); although the best effectiveness in smear layer cleaning was showed with 15% citric acid plus 2.5% NaOCl in the coronal third.

With the rotary instrument technique, using 15% citric acid plus 2.5% NaOCl, more smear layer was removed (apical: 2.070 ± 0.921 , middle: 1.718 ± 0.700 , coronal: 1.186 ± 0.425), and more debris was eliminated than the other acid solutions in the apical and coronal thirds

Basic Research—Technology

TABLE 2. Results of the smear layer removal between instrumentation techniques and among irrigating solutions

	Smear Layer ($\bar{x} \pm s$)		
	Apical	Middle	Coronal
2.5% NaOCl			
Manual (n = 10)	3.91 ± 0.28	3.91 ± 0.26	3.85 ± 0.27
Rotary (n = 10)	4.57 ± 0.40	4.63 ± 0.38	4.74 ± 0.36
Manual vs. rotary (p)	0.001	<0.001	0.001
2.5% NaOCl + 15% Citric acid			
Manual (n = 10)	2.80 ± 0.85	2.06 ± 0.91	1.13 ± 0.32
Rotary (n = 10)	2.07 ± 0.92	1.72 ± 0.70	1.19 ± 0.43
Manual vs. rotary (p)	0.064	0.545	0.287
2.5% NaOCl + 15% EDTA			
Manual (n = 10)	2.15 ± 0.80	1.44 ± 0.55	1.65 ± 0.87
Rotary (n = 10)	2.30 ± 0.96	1.78 ± 0.84	1.35 ± 0.45
Manual vs. rotary (p)	0.850	0.287	0.877
2.5% NaOCl + 5% Orthophosphoric acid			
Manual (n = 10)	2.74 ± 0.67	2.23 ± 0.65	1.79 ± 0.65
Rotary (n = 10)	2.91 ± 1.03	2.29 ± 0.99	2.30 ± 0.90
Manual vs. rotary (p)	0.705	0.791	0.081

\bar{x} , arithmetical mean; s, standard deviation.

(1.211 ± 0.310, coronal: 1.047 ± 0.088). In the middle third, 15% citric acid plus 2.5% NaOCl and 15% EDTA plus 2.5% NaOCl showed a similar behavior (15% citric acid: 1.134 ± 0.327, 15% EDTA: 1.125 ± 0.271).

Alternative use of 5% Orthophosphoric acid and 2.5% NaOCl was less effective in smear layer and debris removal than the other combinations of acid solutions.

No significant differences were found between manual and rotary instrumentation results in smear layer removal in any root canal third with any of the irrigation regimens, except with 2.5% NaOCl (apical: p = 0.001, middle: p < 0.001, coronal: p = 0.001).

In debris removal, 15% citric acid plus 2.5% NaOCl showed significant differences between manual and rotary instrumentation results in the three thirds (apical: p < 0.001, middle: p = 0.002, coronal: p < 0.001); and 15% EDTA plus 2.5% NaOCl showed differences in coronal third (p = 0.031).

In the removal of smear layer, among the four irrigating regimens studied, the sole use of 2.5% NaOCl showed the worst behavior in the three canal thirds with both techniques. In the removal of debris, 2.5% NaOCl also showed the worst behavior in middle and coronal thirds with manual instrumentation technique.

Discussion

Numerous studies have compared the performance of irrigating solutions in root canal treatment, including different concentrations of NaOCl, citric acid, and EDTA (14–21), but few of them compare the effectiveness of the phosphoric acid (14, 16). The purpose of this study was evaluated the efficacy of canal irrigant acid solutions like EDTA and citric acid, which are used in root canal preparation, in daily practice; or orthophosphoric acid, which is an actual alternative in dentin canal conditioned to use adhesive systems in root canal filling (22, 23).

EDTA and the different salts from which they are formulated are effective chelating agents to smear layer removal. Numerous authors (6, 18–20) reported that alternate applications NaOCl and EDTA eliminated both organic and inorganic components. No significant differences were found by Hülsman et al. (6) in either debris or smear layer removal, when they using 3% NaOCl as initial and final irrigation and 17% EDTA after each files changing with two rotary instrumentation techniques. Nevertheless, O’Connell et al. (20) studied three EDTA compounds and found that none of them completely removed smear layer in the entire root canal.

TABLE 3. Results of the debris removal between instrumentation techniques and among irrigating solutions.

	Debris ($\bar{x} \pm s$)		
	Apical	Middle	Coronal
2.5% NaOCl			
Manual (n = 10)	2.05 ± 0.71	2.05 ± 0.92	2.09 ± 0.86
Rotary (n = 10)	1.54 ± 0.35	1.55 ± 0.39	1.69 ± 0.29
Manual vs. rotary (p)	0.082	0.212	0.082
2.5% NaOCl + 15% Citric acid			
Manual (n = 10)	1.94 ± 0.24	1.74 ± 0.31	1.61 ± 0.37
Rotary (n = 10)	1.21 ± 0.31	1.13 ± 0.33	1.05 ± 0.09
Manual vs. rotary (p)	<0.001	0.002	<0.001
2.5% NaOCl + 15% EDTA			
Manual (n = 10)	1.56 ± 0.46	1.26 ± 0.29	1.55 ± 0.46
Rotary (n = 10)	1.51 ± 0.51	1.13 ± 0.27	1.13 ± 0.32
Manual vs. rotary (p)	0.545	0.066	0.031
2.5% NaOCl + 5% Orthophosphoric acid			
Manual (n = 10)	2.22 ± 0.41	2.00 ± 0.60	1.67 ± 0.46
Rotary (n = 10)	1.80 ± 0.42	1.68 ± 0.42	1.69 ± 0.55
Manual vs. rotary (p)	0.024	0.324	0.704

\bar{x} , arithmetical mean; s, standard deviation.

Basic Research—Technology

TABLE 4. Comparison of the results of the removal of the smear layer and debris

Comparison (p)	Smear Layer		Debris	
	Manual	Rotary	Manual	Rotary
Apical				
H vs H + C	<0.001	<0.001	NS	0.021
H vs H + E	<0.001	<0.001	NS	NS
H vs H + O	<0.001	0.001	NS	NS
H + C vs H + E	0.049	NS	NS	NS
H + C vs H + O	NS	NS	0.045	0.004
H + E vs H + O	NS	NS	0.030	NS
Middle				
H vs H + C	<0.001	<0.001	NS	0.002
H vs H + E	<0.001	<0.001	0.037	0.002
H vs H + O	<0.001	<0.001	NS	NS
H + C vs H + E	NS	NS	0.005	NS
H + C vs H + O	NS	NS	NS	0.009
H + E vs H + O	0.018	NS	0.008	0.005
Coronal				
H vs H + C	<0.001	<0.001	NS	<0.001
H vs H + E	<0.001	<0.001	NS	0.002
H vs H + O	<0.001	<0.001	NS	NS
H + C vs H + E	NS	NS	NS	NS
H + C vs H + O	0.006	0.004	NS	0.001
H + E vs H + O	NS	0.007	NS	0.004

NS, not significant.

H, 2.5% NaOCl.

H + C, 2.5% NaOCl and 15% citric acid.

H + E, 2.5% NaOCl and 15% EDTA.

H + O, 2.5% NaOCl and 5% orthophosphoric acid.

In our study, neither the smear layer nor the debris was removed combining 15% EDTA with 2.5% NaOCl with both instrumentation techniques in the three thirds of canal studied. With the hand instrumentation technique, 15% EDTA showed the best effectiveness in debris removal in the three regions, showing significant differences with 2.5% NaOCl in all canal, and with 5% orthophosphoric acid in the apical and middle thirds. As regards smear layer cleaning, 15% EDTA obtained the major effectiveness in the apical and middle third, although no significant differences were found with the other two acid solutions. With the rotary instrumentation technique, the results for 15% EDTA and 15% citric acid were similar in agreement with previous reports (21, 24–26), and both solutions are recommended.

The combination of citric acid with NaOCl eliminates the residual layer, opening dentinal tubules and exerting an antimicrobial action (27). Ferrer et al. (15, 28) have established that different concentrations of citric acid at 10, 25, and 50% were effective in removing smear layer with ultrasonic and hand techniques.

Cervino et al. (21) have found that 17% EDTA and 15% citric acid alternated with 5% NaOCl are equally effective in smear layer removal with the hand instrumentation. Scelza et al. (26) have obtained the same results using 10% citric acid or 17% EDTA as final irrigation. The results found by Liolios et al. (29) were in agreement with us about smear layer removal using hand instrumentation techniques and hand pieces (Endocursor, Endolift) with 1% NaOCl with Largal Ultra (15% EDTA), Tubulicid Plus (3% EDTA) and 50% citric acid.

Orthophosphoric acid is a universal conditioner used in dental practice, also used to remove smear layer and opening dentin tubules. A few studies have shown the removal smear layer with this acid solution. Ayad (16) obtained partial removal of the smear layer with 10 second application of 10% phosphoric acid or 10% citric acid, and complete elimination was achieved after similar treatment using 32% phosphoric acid. Garberoglio and Becce (14) have obtained similar results with a combination of 24% phosphoric acid and 10% citric acid, 17% and 3% EDTA in root canal cleaning.

Similar results for removing smear layer with EDTA, citric acid, and orthophosphoric acid groups were found. Nevertheless, in debris removal, the orthophosphoric acid had the worst behavior. NaOCl was not effective in smear layer and debris removal in the three thirds with either instrumentation technique, as reported by other researchers (14, 17, 21). However, Cameron (17) achieved success combining 3% NaOCl for 3 to 5 minutes with use of an ultrasonic system. Most authors recommend alternating NaOCl with acids solutions for this purpose and to enhance the former's microbicidal capability (15, 18–21).

The removal of debris and smear layer depends not only on the irrigation method but also on the endodontic instrument, the way the instrument is used, and the preparation technique. The root canal cleaning capacity of manual versus rotary instrumentation techniques with NaOCl is somewhat controversial (4, 9, 29–32).

In the present study, no significant differences in presence of debris were observed among root canal thirds in the manually and rotary instrumented groups irrigated with NaOCl. Similar results were found by Tucker et al. (31) that compare the rotary instrumentation with the hand technique, using 1% NaOCl as irrigating solution; and Ahlquist et al. (30) that compare the rotary instrumentation technique, Profile, with hand instrumentation with S-files using 0.5% NaOCl.

As regards smear layer removal, in this study, differences between the hand and the rotary instrumentation were found. This fact is in agreement with Schafer and Lohman (9), who obtained better results using hand instrumentation techniques with K-Flexofiles than using Ni-Ti rotary instrumentation using as irrigating solution NaOCl at 2.5%. In addition, Hüslman et al. (4) showed significant differences in smear layer removal, comparing endodontic handpieces and hand instruments and irrigation with different NaOCl concentrations. On the other hand, Ahlquist et al. (30) and Tucker et al. (31) did not find differences in smear layer removal using NaOCl as irrigating solution. These discrepancies are probably explained by the different instrument designs used.

The use of the NaOCl with different acid solutions did not show important differences in the amount of smear layer removed with both instrumentation techniques used, in agreement with Liolios et al. (29)

References

1. Weine FS, Kelly RF, Bray KE. Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. *J Endod* 1976;2:298–303.
2. Bolanos OR, Sinai IH, Gonsky MR, Srinivasan RA. Comparison of engine and air-driven instrumentation methods with hand instrumentation. *J Endod* 1988;14:392–6.
3. Hülsmann M, Stryga F. Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. *J Endod* 1993;19:141–5.
4. Hülsmann M, Rimmelin C, Schäfers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod* 1997;23:301–6.
5. Bertrand MF, Pizzardini P, Muller M, Medioni E, Rocca JP. The removal of the smear layer using the Quantec system. A study using the scanning electron microscope. *Int Endod J* 1999;32:217–24.
6. Hülsmann M, Schade M, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2001;34:538–46.
7. Hülsmann M, Gressman G, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2003a;36:358–66.
8. Hülsmann M, Herbst U, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2003b;36:748–56.
9. Schäfer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2002;35:514–21.
10. Versumer J, Hülsmann M, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using Profile. 04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2002;35:37–46.
11. Schäfer E, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2003;36:208–17.
12. Prati C, Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S. Appearance of the root canal walls after preparation with NiTi rotary instruments: a comparative SEM investigation. *Clin Oral Invest* 2004;8:102–10.
13. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T. Tissue dissolving capacity and antimicrobial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;94:756–62.
14. Garberoglio R, Becce C. Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:359–67.
15. Ferrer Laque CM, Gonzalez Lopez S, Navajas Rodriguez de Mondelo JM. Mechanical instrumentation of the root canals. A study using SEM and computerized image analysis. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol* 1996;39:111–7.
16. Ayad MF. Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear-layer on human dentin. *J Prosthet Dent* 2001;85:67–72.
17. Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod* 1983;9:289–92.
18. Calt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *J Endod* 2000;26:459–61.
19. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L-1 citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J* 2000;33:46–52.
20. O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JA. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod* 2000;26:739–43.
21. Cerviño Vázquez M, Martín Biedma B, Varela Patiño P, et al. Estudio comparativo de la acción de distintos irrigantes en Endodoncia. *Rev Eur Odont Estomatol* 2002;14:275–80.
22. Gogos C, Stavrianos C, Kolokouris I, Papadoyannis I, Economides N. Shear bond strength of AH 26 root canal sealer to dentine using three dentine bonding agents. *J Dent* 2003;31:321–6.
23. Hayashi M, Takahashi Y, Hirai M, Iwami Y, Imazato S, Ebisu S. Effect of endodontic irrigation on bonding of resin cement to radicular dentin. *Eur J Oral Sci* 2005;113:70–6.
24. Olmos JL, Cárdenas ML, Dilascio PI. Irrigación de la dentina radicular, "in vivo", con hipoclorito de sodio y quelantes. Estudio con microscopio electrónico de barrido. *Endodoncia* 2000;18:207–14.
25. Wayman BE, Koop WM, Pinerio GJ, Lazzari EP. Citric and lactic acids as root canal irrigant in vitro. *J Endod* 1979;5:258–65.
26. Scelza MF, Daniel RL, Santos EM, Jaeger MM. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *J Endod* 2001;27:741–3.
27. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod* 1996;22:27–29.
28. Ferrer Laque CM, Gonzalez Lopez S, Navajas Rodriguez de Mondelo JM. The area of dentinal diffusion at the time of the manual preparation of root canals. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol* 1996;39:103–9.
29. Liolios E, Economides N, Parisis-Messimeris S, Boutsoukis A. The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int Endod J* 1997;30:51–7.
30. Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J. The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J* 2001;34:533–7.
31. Tucker DM, Wenckus CS, Benkover SK. Canal wall planning by engine-driven nickel-titanium instruments, compared with stainless-steel hand instrumentation. *J Endod* 1997;23:170–3.

Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine

M. Pérez-Heredía¹, C. M. Ferrer-Luque¹, M. P. González-Rodríguez¹, F. J. Martín-Peinado² & S. González-López¹

¹Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada; and ²Department of Edaphology and Agricultural Chemistry, School of Sciences, University of Granada, Spain

Abstract

Pérez-Heredía M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP, Martín-Peinado FJ, González-López S. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine. *International Endodontic Journal*, 41, 418–423, 2008.

Aim To evaluate and compare *ex vivo* the decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine.

Methodology Two 2-mm-thick slices were cut from the coronal third of the root of 10 human incisors. Each slice was sectioned into two equal parts. Specimens were assigned to one of four groups ($n = 10$) for immersion in 20 mL of either 15% EDTA, or 15% citric acid, 5% phosphoric acid or 2.5% NaOCl, for three time periods (5, 10 and 15 min). The concentration of Ca^{2+} extracted from the dentine was measured by atomic absorption spectrophotometry. The amount of calcium extracted was analysed using the Kruskal–Wallis test for global comparisons and the Mann–Whitney *U*-test for pairwise comparisons.

Results In the three time periods, 15% EDTA and 15% citric acid extracted the largest amount of calcium, with no significant differences between them. The 2.5% NaOCl solution extracted insignificant amounts of calcium, whereas 15% EDTA extracted 86.72% of the calcium in the first 5 min, and 15% citric acid and 5% phosphoric acid had a similar pattern of calcium removal (77.03% and 67.08% in first 5 min, respectively).

Conclusions Solutions of 15% EDTA, 15% citric acid and 5% phosphoric acid decalcify root dentine, with most calcium extracted during the first 5 min of action. The efficacy of 15% citric acid and 15% EDTA solutions was significantly greater than that of 5% phosphoric acid solution at each time period (5, 10 and 15 min).

Keywords: citric acid, decalcification, EDTA, phosphoric acid, sodium hypochlorite, spectrophotometry.

Received 7 April 2007; accepted 5 November 2007

Introduction

Many authors have concluded that the smear layer created during root canal preparation should be

removed from the dentine surface of the canal wall. The following reasons have been cited: smear layer harbours bacteria and can be detrimental to effective disinfection of dentinal tubules by preventing sodium hypochlorite, calcium hydroxide and other intracanal medicaments from penetrating dentinal tubules (Clark-Holke *et al.* 2003, Shahravan *et al.* 2007); and its total removal improves the adaptation of filling materials to the root canal (Karagoz-Kucukay & Bayirli 1994, Sen *et al.* 1995), increases the bond strength of

Correspondence: Professor Carmen María Ferrer-Luque, Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada, Campus de Cartuja, Colegio Maximo s/n, 18071, Granada, Spain (Tel.: +34 958249655; fax: +34 958240908; e-mail: cferrer@ugr.es).

resin-based endodontic sealers to root dentine (Economides *et al.* 1999, Saleh *et al.* 2002, Gogos *et al.* 2003); and reduces apical and coronal microleakage with most sealers currently used for canal filling (Cobankara *et al.* 2002, Economides *et al.* 2004, Khayat & Jahanbin 2005).

Removal of the smear layer requires the use of irrigants that can dissolve both organic and inorganic components. Different irrigants have been recommended to remove the inorganic component of root dentine, e.g. EDTA solutions at a concentration of 15–17% and pH of 7–8 (Garberoglio & Becce 1994, Calt & Serper 2000, Di Lenarda *et al.* 2000, O'Connell *et al.* 2000), citric acid at a concentration of 5–50% (Ferrer Luque *et al.* 1993, Garberoglio & Becce 1994, Di Lenarda *et al.* 2000, Haznedaroglu 2003) and phosphoric acid at different concentrations and applied in different ways (Garberoglio & Becce 1994, Ayad 2001, Perez-Heredia *et al.* 2006). Sodium hypochlorite (NaOCl) solutions are used as the main irrigation agent for removing the organic component because of their bactericidal power and capacity to dissolve organic matter and necrotic tissue (Inaba *et al.* 1996, Zehnder *et al.* 2002). NaOCl is a halogenated compound used as a nonspecific proteolytic agent capable of removing magnesium and carbonate ions (Sakae *et al.* 1988). Baumgartner & Mader (1987) and Baumgartner & Cuenin (1992) suggested that its use may expose inorganic material, which would prevent greater dentine dissolution, or may leave a smear layer of mineralized tissue, which would increase the Ca/P ratio on the dentine surface.

Some reports (Hennequin & Douillard 1995, Doğan & Çalt 2001, Scelza *et al.* 2003, Ari & Erdemir 2005) have demonstrated that the mineral content of root dentine is modified by the use of EDTA and citric acid solutions to remove the inorganic component from instrumented canals alongside the use of sodium hypochlorite to remove the organic component.

Phosphoric acid, used daily in conservative dentistry, is a strong acid capable of removing the smear layer from root dentine. Ayad (2001) obtained partial smear layer removal with a 10% concentration of this acid and total removal with a 32% concentration. Garberoglio & Becce (1994) compared 17% EDTA, 3% EDTA and a combination of 24% phosphoric acid plus 10% citric acid for root canal cleaning and obtained similar results amongst the three solutions. A recent study (Perez-Heredia *et al.* 2006) alternated aqueous solutions of 2.5% sodium hypochlorite with demineralizing solutions of 15% citric acid, 15% EDTA

or 5% phosphoric acid, reporting the efficacy of these agents to remove the smear layer during root canal preparation. However, there are no data on the decalcifying capacity of phosphoric acid in root dentine or on its efficacy in comparison with EDTA and citric acid solutions.

The hypothesis tested in this study was that there are no differences in decalcifying capacity of solutions of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and that 2.5% sodium hypochlorite does not extract calcium from root canal dentine; in three immersion time periods.

The objective of this study was to assess, using atomic absorption spectrometry, the decalcifying capacity of solutions of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite in three immersion time periods.

Materials and methods

Tooth selection

Ten maxillary central incisors, extracted for periodontal reasons from patients within an age range of 40–60 years, were stored in distilled water with thymol crystals until use. Patients were informed that the teeth would be used in this study applying the relevant ethical criteria: all patients consented.

Root canal preparation

Crowns were removed at the cemento-enamel junction level using an Accutom-50 diamond cutter (Accutom Hard Tissue Microtome, Struers, Ballerup, Denmark) under copious water cooling. Root cementum was removed from the root surface using a fine-grained diamond bur (Perio-Set, Intensive, Grancia, Switzerland) at low speed and under low water cooling.

Root canals were instrumented under constant water cooling with Peeso burs no. 4 to 6, (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) using a contra-angle handpiece. After each instrument change, root canals were irrigated with 5 mL of distilled water.

Two 2-mm-thick transverse sections were obtained from the coronal third of each root with an Accutom 50 automatic pre-programmed machine (Accutom Hard Tissue Microtome). Each slice was then divided in two equal halves, obtaining a total of four sections of each root (S1, S2, S3 and S4).

Sections were weighed using a HM 202 precision balance (A&D Engineering Inc., San Jose, CA, USA),

equalizing their weight with disks of 600-grit silicon-carbide paper (WS 18-B Struers, Ballerup, Denmark), which were always applied to the same central surface to avoid altering the geometry of the disks. Sections were then labelled and stored in flasks with distilled water at room temperature until use.

Sections of the same root (S1, S2, S3 and S4) had approximately the same weight, geometry and degree of calcification, allowing comparison of the decalcifying capacity of the four irrigation solutions by testing them on comparable specimens.

The 40 specimens obtained were divided into four experimental groups ($n = 10$) for treatment with different irrigation solutions – group 1 : 15% EDTA, pH 7; group 2 : 15% citric acid, pH 1.6; group 3 : 15% phosphoric acid, pH 1.02; group 4 : 2.5% sodium hypochlorite, pH 11.9. The pH of each solution was determined by using a pH meter equipped with Micro PH 2000 electrode (Crisol, Alella, Spain). The accuracy of the pH meter was ≤ 0.01 .

The 2.5% sodium hypochlorite solution was prepared by diluting 10% hypochlorite solution (Panreac, Barcelona, Spain) four times in distilled water; the 15% citric acid solution by dissolving 30 g of monohydrated acid (Panreac) in distilled water to a volume of 200 mL; the 15% EDTA solution by dissolving 30 g of disodium EDTA (Panreac) in distilled water to a volume < 200 mL, favouring dissolution with the addition of sodium hydroxide (NaOH) and adding 2 mol L^{-1} hydrochloric acid (HCl) to obtain a pH of 7; and the 5% phosphoric acid solution by dissolving 10 g of phosphoric acid (Panreac) in distilled water to a volume of 200 mL. All solutions were homogenized by constant stirring at $18\text{--}21^\circ\text{C}$ using a magnetic multi-stirrer.

Initially, 20 mL of each solution was prepared as a blank to determine calcium levels without exposure to specimens. Each specimen was immersed in 20 mL of irrigant solution for three immersion times ($t_1 = 5$ min, $t_2 = 10$ min and $t_3 = 15$ min). Every 5 min, 5 mL of irrigant solution was extracted with a graduated pipette, which was then placed in hermetically sealed and labelled glass vessels.

Spectrometer examination

Three extracts were obtained from each sample and measured in a SpectrAA 220 FS atomic absorption spectrometer (Varian Iberica SL, Madrid, Spain) using an air/acetylene mixture as fuel for the flame. The spectrometer was calibrated using solutions of 2, 5 and

10 ppm of Ca^{2+} as reference pattern. The concentration of the original Ca^{2+} solution was 1000 ppm (Merck Inc., Whitehouse, NJ, USA). Values for extracts were expressed in mg L^{-1} (ppm).

The mg of Ca^{2+}/g (29) and the percentage mg Ca^{2+}/g extracted in each time period were calculated as follows:

$$\text{mg Ca}^{2+}/\text{g} = (\text{ppm Ca}^{2+}) \times (10^{-3} \text{L/mL}) \times V/P$$

(V, volume; P, weight of the specimen in mg)

% mg $\text{Ca}^{2+}/\text{g} = \text{mg Ca}^{2+} \times 100/\text{total mg Ca}^{2+}$. This value expresses the % Ca increase in each time interval with respect to the total Ca^{2+} extracted.

Statistical analysis

First, a full-factorial regression model of repeated measures was used to assess the significance of the interaction between two factors (type of irrigation solution and immersion time in irrigation solution) for the extracted calcium data (mg Ca^{2+} and % Ca^{2+}). The Kolmogorov–Smirnov test was used to assess the distribution of the extracted calcium data. Because results for each group did not follow a normal distribution, variables were analysed using a nonparametric test. The amount of calcium extracted (mg Ca^{2+} and % mg Ca^{2+}) by different irrigating solutions and in different immersion times was analysed using the Mann–Whitney *U*-test (pairwise comparisons) and the Kruskal–Wallis test (global comparisons). The level of statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results

Full-factorial regression analysis of the influence of the type of irrigation solution (15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid or 2.5% NaOCl) and of the time of immersion in solution (5, 10 or 15 min) revealed a statistically significant interaction between these two factors in the amount of calcium extracted ($P = 0.003$) and in the percentage of calcium extracted ($P < 0.001$). Table 1 shows the amount of calcium extracted (mg Ca^{2+}) for each type of irrigant solution and immersion time. After a 5-min immersion in irrigant solution, 15% EDTA had extracted the greatest amount of Ca^{2+} , followed by 15% citric acid and 5% phosphoric acid, with a negligible amount of Ca^{2+} extracted in 2.5% sodium hypochlorite. The differences amongst solutions were significant ($P < 0.05$) except in the comparison between 15% EDTA and 15% citric

Table 1 Amount of calcium extracted (mg Ca²⁺) as a function of irrigating solution and immersion time*

Irrigating solution ($\bar{x} \pm SD$)	Immersion time		
	5 min	10 min	15 min
15% EDTA	0.085 ± 0.029 ^{b,1}	0.094 ± 0.028 ^{b,2}	0.098 ± 0.028 ^{b,3}
15% citric acid	0.075 ± 0.019 ^{b,1}	0.093 ± 0.024 ^{b,2}	0.099 ± 0.027 ^{b,3}
5% phosphoric acid	0.035 ± 0.015 ^{c,1}	0.046 ± 0.020 ^{c,2}	0.052 ± 0.023 ^{c,3}
2.5% NaOCl	0.009 ± 0.004 ^{a,1}	0.015 ± 0.004 ^{a,2}	0.019 ± 0.004 ^{a,3}

*In the full-factorial regression model, *P* values were <0.001 (for irrigating solution), <0.001 (for immersion time) and 0.003 (for irrigating solution × immersion time interaction).

Read vertically, the same letters indicate absence and different letters presence of significant differences.

Read horizontally, the same numbers indicate absence and different numbers presence of significant differences.

acid (*P* = 0.820). After a 10-min immersion, there was no significant difference (*P* = 0.821) between the amounts of Ca²⁺ extracted by 15% EDTA and 15% citric acid, but these were significantly greater than the amounts extracted by 2.5% NaOCl and 5% phosphoric acid. After a 15-min immersion, there was again no significant difference (*P* = 0.623) between the amounts of Ca²⁺ extracted by 15% EDTA and 15% citric acid but these were significantly greater than the amounts extracted by 2.5% NaOCl and 5% phosphoric acid. The global comparison amongst times shows statistically significant differences (*P* < 0.001) in the calcium extracted amongst the three immersion periods and amongst the four irrigation solutions. Table 2 shows the % calcium extracted during the three time periods. The most rapid decalcification rate was with 15% EDTA, which extracted 86.72 ± 7.49% of the calcium during the first 5 min, 10.02 ± 6.35% between 5 and 10 min, and 5.75 ± 4.19% between 10 and 15 min. A similar behaviour was shown by 5% citric acid and 5% phosphoric acid, which extracted 77.03 ± 11.98% and 67.08 ± 9.89% during the first 5 min of immersion. No significant differences were found (*P* = 0.241) in the % calcium extracted by 2.5% NaOCl between the 5-min and 10-min immersions.

Discussion

The efficacy of agents used to remove smear layer and demineralize and soften root dentine during root canal treatment has been examined by various means, including microhardness measurements, micro-radiographic assessments, spectrometry studies (Verdelis et al. 1999, Doğan & Çalt 2001, Scelza et al. 2003, Machado-Silveiro et al. 2004, Ari & Erdemir 2005, Gonzalez-Lopez et al. 2006) and, especially, electron microscopy studies (Ferrer Luque et al. 1993, Calt & Serper 2000, Di Lenarda et al. 2000, O’Connell et al. 2000, Ayad 2001, Haznedaroglu 2003, Perez-Heredia et al. 2006). The decalcifying efficacy of these acid and chelating agents depends on the root length, application time, diffusion in the dentine and, especially, the solution pH (Sen et al. 1995, Doğan & Çalt 2001, Serper & Calt 2002). The use of a neutral pH of around 7.3 is recommended for EDTA solutions (Serper & Calt 2002). Citric acid has shown to be effective at pH values of 0.8–1.9 (Hennequin & Douillard 1995, Haznedaroglu 2003). In the present study, the amount of extracted Ca²⁺ increased with time in all solutions and no significant differences were found between 15% EDTA and 15% citric acid. These findings are consistent

Table 2 Percentage of calcium extracted (mg Ca²⁺) as a function of irrigating solution and immersion time*

Irrigating solution ($\bar{x} \pm SD$)	Immersion time		
	5 min	5–10 min	10–15 min
15% EDTA	86.72 ± 7.49 ^{b,1}	10.02 ± 6.35 ^{b,2}	3.08 ± 3.01 ^{b,3}
15% citric acid	77.03 ± 11.98 ^{b,c,1}	17.23 ± 9.46 ^{b,c,2}	5.75 ± 4.19 ^{b,3}
5% phosphoric acid	67.08 ± 9.89 ^{b,1}	22.30 ± 7.25 ^{c,2}	10.64 ± 4.29 ^{c,3}
2.5% NaOCl	43.43 ± 14.15 ^{a,1}	34.04 ± 7.99 ^{a,1}	22.56 ± 7.97 ^{a,2}

*In the full-factorial regression model, *P* values were 0.446 (for irrigating solution), <0.001 (for immersion time) and <0.001 (for irrigating solution × immersion time interaction).

Read vertically, the same letters indicate absence and different letters presence of significant differences.

Read horizontally, the same numbers indicate absence and different numbers presence of significant differences.

with previous results using 10% and 20% citric acid and 17% EDTA solutions (Scelza *et al.* 2003, Gonzalez-Lopez *et al.* 2006). However, in all three immersion times studied, the decalcifying capacity of 15% EDTA and 15% citric acid solutions was higher than that of the 5% phosphoric acid solution (Table 1). The reason for these differences may be that the concentration of phosphoric acid was lower than that of the EDTA and citric acid solutions. Thus, a higher extraction of Ca^{2+} ions could be expected if higher concentrations of phosphoric acid were used. Decalcification may also be higher at a specific pH, as in the case of citric acid solution at pH 1.1 (Hennequin & Douillard 1995). However, higher concentrations of phosphoric acid could cause reprecipitation of hydroxyapatite from the calcium phosphate solutions formed by the initial dissolution of root dentine. The formation of new calcium phosphate complexes would reduce the extraction of calcium ions from exposed root dentine (Marshall *et al.* 1993). An effective irrigation solution must also be able to remove the inorganic component from dentine, and a recent study (Perez-Heredia *et al.* 2006) demonstrated that the combined use of 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite solutions is adequate to remove the smear layer from the root canal. In this study, the % Ca^{2+} extracted was higher during the first 5 min of immersion in all solutions, with the highest percentage (86.72%) extracted with 15% EDTA solution. These results are in agreement with the report by Cergneux *et al.* (1987) of total removal of the smear layer after using a 15% EDTA solution for 4 min. Other studies demonstrated that the highest amount of Ca^{2+} ions is extracted during the first 3 min of immersion in a 17% EDTA solution (Scelza *et al.* 2003, Gonzalez-Lopez *et al.* 2006) and during the first 5 min in a 10% citric acid solution (Machado-Silveiro *et al.* 2004). After 5 min, the decalcification progressively reduced, and significant differences were found between the 10-min and 15-min immersion periods (Table 2). These results agree with those obtained by Gonzalez-Lopez *et al.* (2006) using the same methodology and could be explained in relation to the acid and chelating solutions studied, by an increase in the organic material exposed on root dentine surfaces after action of the demineralizing agents. The organic matrix of dentine may act as a limiting factor in the dissolution of the inorganic component, thus reducing the decalcifying action of chelating agents over time (Inaba *et al.* 1996, Verdelis *et al.* 1999, Doğan & Çalt 2001). In the present study, a 2.5% sodium hypochlorite solution had a small decalcifying effect. The extraction of Ca^{2+} ions was

significantly lower than achieved with the acid and chelating solutions assessed. It has been reported that treatment with sodium hypochlorite causes mineral accumulation in human root dentine (Inaba *et al.* 1996). Sodium hypochlorite dissolves organic material and exposes inorganic material, thereby avoiding a greater dissolution of root dentine and it leaves a smear layer of mineralized tissue (Baumgartner & Mader 1987, Baumgartner & Cuenin 1992). It has been demonstrated that the use of 2.5% sodium hypochlorite as irrigation solution, either alone or combined with a 17% EDTA solution, significantly increases the Ca/P ratio of root dentine (Doğan & Çalt 2001). In this study, 2.5% sodium hypochlorite solution obtained a higher percentage of calcium ion extraction during the first 5 min followed by a slow decrease in the extraction rate, with no significant differences between the 5-min (43.43%) and 10-min (34.04%) immersion times. Changes in hydroxyapatite re-crystallization after sodium hypochlorite treatment (Perdigao *et al.* 2000) may be responsible for the decrease in calcium and phosphorus found in root dentine (Ari & Erdemir 2005). Furthermore, in removing the organic component from dentine, sodium hypochlorite also eliminates mineralization inhibitors and increases the porosity of residual dentine (Sakae *et al.* 1988, Inaba *et al.* 1996). Passage of Ca^{2+} ions into the irrigation solution would explain the decalcification results obtained with 2.5% sodium hypochlorite solution in the present study.

Conclusions

Within the limitations of the present study, it can be concluded that the use of solutions of 15% EDTA, 15% citric acid or 5% phosphoric acid produces root dentine decalcification, mainly during the first 5 min of action. The efficacy of 15% EDTA and 15% citric acid solutions was significantly higher than that of 5% phosphoric acid solution in all three immersion periods studied. It was also observed that 2.5% sodium hypochlorite solution is capable of extracting small amounts of calcium from root dentine.

References

- Ari H, Erdemir A (2005) Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *Journal of Endodontics* **31**, 187–9.
- Ayad MF (2001) Effects of rotary instrumentation and different etchants on removal of smear layer on human dentin. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **85**, 67–72.

- Baumgartner JC, Cuenin PR (1992) Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *Journal of Endodontics* **18**, 605–12.
- Baumgartner JC, Mader CL (1987) A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics* **13**, 147–57.
- Calt S, Serper A (2000) Smear layer removal by EGTA. *Journal of Endodontics* **26**, 459–61.
- Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J (1987) The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation. *International Endodontic Journal* **20**, 228–32.
- Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM (2003) Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *Journal of Dentistry* **31**, 275–81.
- Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH (2002) A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *International Endodontic Journal* **35**, 979–84.
- Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O (2000) Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *International Endodontic Journal* **33**, 46–52.
- Doğan H, Calt S (2001) Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *Journal of Endodontics* **27**, 578–80.
- Economides N, Liolios E, Kolokouris I, Beltes P (1999) Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *Journal of Endodontics* **25**, 123–5.
- Economides N, Kokorikos I, Kolokouris I, Panagiotis B, Gogos C (2004) Comparative study of apical sealing ability of a new resin-based root canal sealer. *Journal of Endodontics* **30**, 403–5.
- Ferrer Luque CM, Gonzalez Lopez S, Navajas Rodriguez de Mondelo JM (1993) Estudio con microscopia electrónica de barrido de la acción de distintos irrigantes en la preparación de conductos radiculares. *Revista Europea de Odonto-Estomatología* **6**, 313–20.
- Garberoglio R, Becce C (1994) Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology* **78**, 359–67.
- Gogos C, Stavrianos C, Kolokouris I, Papadoyannis I, Economides N (2003) Shear bond strength of AH-26 root canal sealer to dentin using three dentine bonding agents. *Journal of Dentistry* **31**, 321–6.
- Gonzalez-Lopez S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolanos-Carmona V (2006) Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *Journal of Endodontics* **32**, 781–4.
- Haznedaroglu F (2003) Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* **96**, 340–4.
- Hennequin M, Douillard Y (1995) Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *Journal of Clinical Periodontology* **22**, 550–7.
- Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J (1996) Effect of sodium hypochlorite treatment on remineralization of human root dentine *in vitro*. *Caries Research* **30**, 218–24.
- Karagoz-Kucukay I, Bayirli G (1994) An apical leakage study in the presence and absence of the smear layer. *International Endodontic Journal* **27**, 87–93.
- Khayat A, Jahanbin A (2005) The influence of smear layer on coronal leakage of Roth 801 and AH26 root canal sealers. *Australian Endodontic Journal* **31**, 66–8.
- Machado-Silveiro LF, Gonzalez-Lopez S, Gonzalez-Rodriguez MP (2004) Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *International Endodontic Journal* **37**, 365–9.
- Marshall GW Jr, Balooch M, Tench RJ, Kinney JH, Marshall SJ (1993) Atomic force microscopy of acid effects on dentin. *Dental Materials* **9**, 265–8.
- O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JA (2000) A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *Journal of Endodontics* **26**, 739–43.
- Perdigao J, Lopes M, Geraldelli S, Lopes GC, Garcia-Godoy F (2000) Effect of a sodium hypochlorite gel on dentin bonding. *Dental Materials* **16**, 311–23.
- Perez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, Gonzalez-Rodriguez MP (2006) The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *Journal of Endodontics* **32**, 993–7.
- Sakae T, Mishima H, Kozawa Y (1988) Changes in bovine dentin mineral with sodium hypochlorite treatment. *Journal of Dental Research* **67**, 1229–34.
- Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Orstavik D (2002) The effects of dentin pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *International Endodontic Journal* **35**, 859–66.
- Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P (2003) Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics* **95**, 234–6.
- Sen BH, Wesselink PR, Turkun M (1995) The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *International Endodontic Journal* **28**, 141–8.
- Serper A, Calt S (2002) The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *Journal of Endodontics* **28**, 501–2.
- Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F (2007) Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics* **33**, 96–105.
- Verdelis K, Eliades G, Oviir T, Margelos J (1999) Effect of chelating agents on the molecular composition and extent of decalcification at cervical, middle and apical root dentin locations. *Endodontics and Dental Traumatology* **15**, 164–70.
- Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T (2002) Tissue-dissolving capacity and antimicrobial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* **94**, 756–62.

