

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**  
**ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**



**“Evaluación de rugosidad dentinaria y eliminación de smear layer utilizando diferentes acondicionantes dentinarios”**

**No. de registro**  
**2024-5**

**TESIS QUE PRESENTA**

**C.D. JUAN CARLOS OSUNA ARREDONDO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN ENDODONCIA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JESUS EDUARDO SOTO SAINZ**

**CULIACÁN, SINALOA, OCTUBRE 2024**



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



## **FINANCIAMIENTO**

Beca CONACYT: 1143630

## **DEDICATORIA**

A mis padres, mi hermano y mi futura esposa por apoyarme y ayudarme en todo momento en esta meta que me propuse.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi familia que siempre está para mi y impulsando mis sueños y ayudándome a ser una mejor persona y profesionista. Por ser una fuente de inspiración y apoyo incansable.**

**Agradezco a mi novia, prometida y futura esposa Kimberly por haber haberme acompañado estos años de estudio, aprendizaje, diversión y amor.**

**Agradezco a Dios haberme permitido vivir esta etapa. En la que pude conocer a mis Endohermanos que se volvieron una parte fundamental en mi vida. Por haber hecho que estos años con ustedes sean inolvidables y que sin duda volvería a repetir solo por volver a coincidir....una sola palabra....Heeeeeermanos!!**

**Y por último gracias a mí, por no haber dejado de luchar, por saber sufrir, agradecer y tomar las decisiones que me han traído hasta aquí.**

**Muchas gracias!!!**

**- Juan Carlos Osuna Arredondo**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2 MARCO TEORICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 DENTINA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1 CARACTERISTICAS MECANICAS DE LA DENTINA.....</b>	<b>4</b>
2.1.1.1 DUREZA.....	4
2.1.1.2 ELASTICIDAD.....	5
2.1.1.3 RESISTENCIA .....	5
<b>2.1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS.....</b>	<b>6</b>
2.1.2.1 MATRIZ ORGANICA.....	6
2.1.2.2 MATRIZ INORGANICA.....	6
<b>2.1.3 DENTINA RADICULAR.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 TRATAMIENTO DE CONDUCTOS .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 RESTAURACION POSTENDODONTICA.....</b>	<b>9</b>
2.3.1 TIPOS DE RESTAURACIONES.....	9
2.3.2 PREPARACION PARA ENDOPOSTE.....	11
<b>2.4 SMEAR LAYER.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1 ELIMINACION DEL SMAER LAYER .....</b>	<b>14</b>
2.4.1.1 ELIMINACION MECANICA .....	15
2.4.1.2 ELIMINACION QUIMICA.....	15
<b>2.4.2 SISTEMAS ACONDICIONANTES DE DENTINA.....</b>	<b>16</b>
2.4.2.1 ACIDO FOSFORICO.....	17
2.4.2.2 EDTA.....	17
2.4.2.2.1 USO DEL EDTA EN LA ENDODONCIA .....	18
2.4.2.2.2 TOXICIDAD Y BIOCOMPATIBILIDAD DEL EDTA.....	19
<b>2.4.3 ACTIVACION ULTRASONICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 MICROSCOPIO DE FUERZA ATOMICA (MFA).....</b>	<b>21</b>

2.5.1	USOS EN ODONTOLOGÍA.....	22
2.6	MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB) .....	22
2.6.1	USOS EN ODONTOLOGIA.....	23
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACION .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>27</b>
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	27
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	27
<b>6</b>	<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>28</b>
6.1	LUGAR Y OBTENCION DE LA MUESTRA .....	28
6.2	TIPO DE ESTUDIO .....	28
6.3	MUESTRA .....	28
6.3.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	28
6.3.1.1	CRITERIOS DE INCLUSION .....	28
6.3.1.2	CRITERIOS DE EXCLUSION .....	29
6.3.1.3	CRITERIOS DE ELIMINACION.....	29
6.4	METODOLOGIA .....	29
6.4.1	PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA .....	29
6.4.2	GRUPOS DE ESTUDIO .....	30
6.4.2.1	MFA.....	30
6.4.2.2	MEB .....	31
6.4.3	ANALISIS ESTADISTICO PARA EVALUAR RUGOSIDAD DENTINARIA EN AFM .....	33
6.4.4	ANALISIS ESTADISTICOS PARA EVALUAR ELIMINACION DE SMEAR LAYER EN MEB .....	33
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
7.1	RUGOSIDAD DENTINARIA.....	34
7.2	ELIMINACIÓN DE SMEAR LAYER .....	37
<b>8</b>	<b>DISCUSION .....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>47</b>

**10 BIBLIOGRAFIA ..... 48**

## RESUMEN

Un tratamiento de conductos tiene como fin, el mantener el órgano dental en cavidad oral mediante la preparación biomecánica y una obturación tridimensional del sistema de conductos radicular. Al momento de la instrumentación mecánica con limas endodónticas, las cuales raspan el tejido contaminado de la dentina radicular, se crea un capa de barrillo dentinario o “smear layer” el cual está compuesto del mismo tejido sano o contaminado que se encontraba adherido a las paredes del conducto radicular. Este se puede eliminar utilizando diferentes sustancias como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) o ácido fosfórico. Además, estas sustancias pueden llegar a provocar rugosidades en la dentina provocando mejor retención en la superficie. **Objetivo:** Comparar la eliminación del smear layer en el conducto radicular y la rugosidad dentinaria que producen diferentes agentes acondicionantes de dentina. **Materiales y métodos:** Para este estudio se utilizaron 28 caninos con ápice desarrollado, raíz recta y un solo conducto. Se seccionaron las coronas de los órganos dentarios para estandarizarlos a 16mm con la ayuda de un motor y un disco de diamante (Dremel 3000). Se colocó el acondicionante dentinario por 1min de acuerdo con el grupo correspondiente; Grupo 1: Ácido fosfórico 37 %; Grupo 2: EDTA 17 %; Grupo 3: EDTA con activación ultrasónica; Grupo 4 Control: Solución salina. N=24 se analizaron en Microscopio de Fuerza Atómica (MFA) y N=4 se analizaron en Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). **Conclusión:** El ácido fosfórico al 37% es el acondicionante que más elimina el smear layer, sin embargo, el EDTA con la ayuda de la activación ultrasónica supera al ácido fosfórico al 37%. El EDTA es el acondicionante que más provoca rugosidad en la superficie dentinaria, muy por encima de ácido fosfórico a diferencia de la remoción de smear layer el uso de activación ultrasónica no incrementa la rugosidad.

Palabras claves: *Ácido fosfórico, EDTA, smear layer, rugosidad, ultrasónica.*

## **ABSTRACT**

A root canal treatment aims to maintain the dental organ in the oral cavity through biomechanical preparation and a three-dimensional filling of the root canal system. During mechanical instrumentation with endodontic files, which scrape contaminated tissue from the root dentin, a smear layer is created. This smear layer is composed of the same healthy or contaminated tissue that was adhered to the walls of the root canal. This can be removed using different substances such as ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) or phosphoric acid. Additionally, these substances can cause roughness in the dentin, leading to a weakened surface. **Objective:** To compare the removal of the smear layer in the root canal and the dentin roughness produced by different dentin conditioning agents. **Materials and Methods:** For this study, 28 canines with developed apices, straight roots, and a single canal were used. The crowns of the dental organs were sectioned to standardize them to 16mm with the help of a motor and a diamond disc (Dremel 3000). The dentin conditioner was applied for 1 minute according to the corresponding group; Group 1: 37% Phosphoric Acid; Group 2: 17% EDTA; Group 3: EDTA with ultrasonic activation; Group 4 Control: Saline solution. N=24 were analyzed with an Atomic Force Microscope (AFM) and N=4 were analyzed with a Scanning Electron Microscope (SEM). **Conclusion:** Phosphoric acid at 37% is the conditioner that most effectively removes the smear layer, but EDTA with the help of ultrasonic activation surpasses 37% phosphoric acid. EDTA is the conditioner that causes the most roughness on the dentin surface, far more than phosphoric acid, and the use of ultrasonic activation does not affect these results.

*Keywords: Phosphoric Acid, EDTA, smear layer, roughness, ultrasonic.*

## INDICE DE TABLAS

<b>Valores de Ra por grupo.....</b>	<b>36</b>
<b>Smear layer en tercio cervical.....</b>	<b>40</b>
<b>Smear layer en tercio medio.....</b>	<b>41</b>
<b>Smear layer en tercio apical.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE FIGURAS

Valores de Rugosidad.....	37
Smear layer en tercio cervical.....	40
Smear layer en tercio medio.....	41
Smear layer en tercio apical.....	42

# 1 INTRODUCCION

El propósito principal del tratamiento endodóntico es conservar el diente en boca mediante una serie de procedimientos como preparación biomecánica y obturación de los conductos radiculares. La preparación biomecánica implica la eliminación de la dentina infectada y del tejido orgánico mediante la instrumentación e irrigación. Durante este procesos, los instrumentos endodónticos generan barrillo dentinario o smear layer, compuesto principalmente por fragmentos de dentina y/o tejido residual adherido a las paredes del conducto.

Al desobturar el conducto para la colocación de una restauración protésica, se forma una capa de smear layer compuesta por restos de dentina, cemento sellador y gutapercha, que se adhiere firmemente a la superficie de la dentina radicular, obstruyendo los túbulos dentinarios y dificultando la penetración del cemento, lo que afecta a la adhesión de los postes.

La eliminación de esta capa es esencial para el éxito del tratamiento endodóntico y protésico. Esto se logra mediante el uso de soluciones químicas durante la preparación del conducto, como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), combinaciones de EDTA y NaOCl, ácido cítrico y ácido ortofosfórico.

La introducción de dispositivos ultrasónicos dentales en endodoncia, combinados con sustancias acondicionantes, ha mejorado significativamente la capacidad de limpiar los conductos radiculares y eliminar la capa de smear layer de manera más efectiva que los métodos convencionales.

Es fundamental comprender el mecanismo mediante el cual el ultrasonido elimina la capa de smear layer, ya que está asociado con el fenómeno de cavitación, que ocurre cuando las presiones hidrodinámicas del irrigante desalojan el detritus adherido a la pared del conducto y generan un efecto de succión sobre el tejido orgánico liberado, arrastrando el detritus hacia la corriente principal del flujo del irrigante y expulsándolo del conducto.

Los beneficios de la limpieza de los conductos con ultrasonido se observan mejor cuando se utiliza para la irrigación final del conducto radicular. La técnica de irrigación ultrasónica ha demostrado ser la más beneficiosa al aumentar la eliminación de smear layer y mejorar la adhesión de los postes.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 DENTINA

La dentina es un componente mineralizado esencial de los dientes en términos de su peso y volumen, presenta una red distintiva de túbulos que varían en diámetro, abarcando un rango de 0.5  $\mu\text{m}$  a 1.5  $\mu\text{m}$ . Estos túbulos se extienden desde la cavidad de la pulpa hasta la superficie donde el esmalte y la dentina se unen (1). En su entorno, estos túbulos están rodeados por una región peritubular que muestra un alto grado de mineralización. Además, se encuentran inmersos en una matriz intertubular compleja, principalmente compuesta por colágeno tipo I. Esta matriz se configura como una estructura tipo andamio que alberga una combinación de cristales de hidroxiapatita y fluido dentinario. En conjunto, estos elementos definen la compleja composición y arquitectura de la dentina, desempeñando un papel crucial en la integridad y resistencia general de los dientes (2).

Se menciona la variabilidad en la cantidad y dimensiones de los túbulos, que se extienden a lo largo de la estructura dental. Estos túbulos, que comienzan con un diámetro de aproximadamente 0.8  $\mu\text{m}$  en la unión entre la dentina y el esmalte, experimentan un aumento gradual en su tamaño a medida que se adentran en la pulpa dental, llegando a alcanzar un diámetro de alrededor de 2.5  $\mu\text{m}$ , lo que equivale a un 22% del área total de la superficie de la dentina (3).

La estructura de la dentina está compuesta por una combinación específica de elementos en proporciones particulares. Aproximadamente el 70% de su peso corresponde a material inorgánico, alrededor del 20% a material orgánico y cerca del 10% a agua. El componente clave en la fracción inorgánica es la hidroxiapatita (4).

La parte orgánica de la dentina contiene diversas proteínas, siendo el colágeno tipo I la más prominente, acompañado de una proporción menor de colágeno de tipo V. Otras

proteínas no colágenas también desempeñan roles significativos, como la dentinofosfoproteína, la proteína de matriz de dentina I, la sialoproteína de dentina, la osteopontina, la osteocalcina y la sialoproteína ósea (5).

Además de estas proteínas, la dentina incluye proteoglicanos, cantidades limitadas de fosfolípidos y varios factores de crecimiento, como las proteínas morfogenéticas óseas (BMP), los factores de crecimiento similares a la insulina (IGF) y el factor de crecimiento transformante  $\beta$  (TGF- $\beta$ ). Estos factores de crecimiento son vitales durante la desmineralización de la dentina, ya que pueden estimular localmente la diferenciación de células especializadas (6).

### **2.1.1 CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE LA DENTINA**

La comprensión de las propiedades mecánicas de la dentina es de suma importancia, ya que nos proporciona información valiosa sobre su resistencia cohesiva, microdureza y módulo de elasticidad. Esto resulta fundamental para comprender cómo las fuerzas generadas durante la masticación se distribuyen y absorben en esta estructura dental. Asimismo, nos permite prever posibles cambios que la dentina podría experimentar debido a procedimientos de restauración, el proceso natural de envejecimiento y condiciones patológicas. (5)

Este conocimiento desempeña un papel crucial al seleccionar materiales restauradores que sean capaces de imitar las propiedades de la dentina. Al hacerlo, se puede llevar a cabo un tratamiento exitoso que garantice la integridad y funcionalidad de la estructura dental, lo que resulta esencial para la salud bucal a largo plazo. (3)

#### **2.1.1.1 DUREZA**

La dureza de un material se define como su capacidad para resistir deformaciones permanentes y está estrechamente vinculada con otras propiedades, como la

generación de tensiones y el módulo de Young, que mide la rigidez de un material en términos de deformación elástica bajo una carga aplicada. Esta relación entre la dureza, el módulo de elasticidad y la resistencia indica que, a medida que la dureza de un material aumenta, también lo hacen su resistencia y su capacidad para resistir deformaciones bajo carga, reflejando su comportamiento mecánico en condiciones de estrés. (7)

#### **2.1.1.2 ELASTICIDAD**

La elasticidad de la dentina desempeña un papel crucial al proporcionar flexibilidad al esmalte, que de otro modo sería frágil, permitiendo así soportar el impacto de la masticación sin sufrir fracturas. El colágeno en la dentina se asemeja a una barra de refuerzo de acero, mientras que los cristales mineralizados actúan como cemento. La combinación de estos componentes resulta en una estructura compuesta que exhibe una notable resistencia a la tracción, especialmente considerando su escala microscópica (8).

Además, la unión entre el esmalte y la dentina se caracteriza por un borde festoneado irregular que mejora el contacto y la adhesión entre ambos tejidos duros. Esta configuración irregular contribuye a mantener unidos estos dos componentes durante los diversos movimientos y fuerzas involucrados en el proceso de masticación, asegurando la integridad estructural del diente en su conjunto (7).

#### **2.1.1.3 RESISTENCIA**

La resistencia se define como el estado en el que dos superficies se mantienen unidas gracias a fuerzas o energías interfaciales que se basan en mecanismos químicos, mecánicos o ambos, con la ayuda de un adhesivo. En el campo de la odontología, la

adhesión involucra tres sustratos distintos: el material de restauración, el diente y el sistema adhesivo (9).

## **2.1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS**

La estructura química de la dentina se compone aproximadamente de 70% de materia inorgánica, principalmente cristales de hidroxiapatita, 10% de materia orgánica, mayormente fibras colágenas y 10% de agua. Aunque esta composición química general se aplica a la dentina, existen variaciones entre las diversas regiones de la estructura dental, así como entre la dentina que forma la corona y la que constituye la raíz (3).

### **2.1.2.1 MATRIZ ORGANICA**

La matriz orgánica de la dentina consta de diversos componentes, siendo el colágeno tipo 1 el más prevalente, seguido de los colágenos tipo 3, 4, 5 y 6 en proporciones menores y en circunstancias específicas. Además de los colágenos, se encuentran proteínas como la osteopontina, fosforina dentinaria (DPP), proteína de la matriz dentinaria I (DMPI) y la sialoproteína dentinaria (DSP), cada una desempeñando un papel crucial en la estructura y mineralización de la dentina. Los proteoglicanos, particularmente el condroitín 6-sulfato, también son componentes importantes de la matriz dentinaria. Asimismo, se han identificado en la matriz orgánica de la dentina proteínas del suero, como la albúmina, fosfolípidos y factores de crecimiento, que podrían estar implicados en los procesos de formación y desarrollo de la dentina (7)(10).

### **2.1.2.2 MATRIZ INORGANICA**

La estructura inorgánica de la dentina está constituida por cristales de hidroxiapatita, químicamente similares a los que se encuentran en el esmalte, el cemento y el hueso. A diferencia de los cristales del esmalte, los de la dentina son más pequeños y

delgados, de forma similar a los presentes en el tejido óseo, con dimensiones específicas. Estos cristales se organizan paralelamente a las fibras de colágeno en la matriz dentinaria, ocupando los espacios entre las fibras y también dentro de ellas (5).

Además de los cristales de hidroxiapatita, se detecta una variedad de componentes minerales, como fosfatos amorfos, carbonatos, sulfatos y oligoelementos como flúor, cobre, zinc, hierro y magnesio, cuyas cantidades varían. También se ha identificado la presencia de calcio vinculado a componentes de la matriz orgánica, que sirve como reservorio para la formación de los cristales de hidroxiapatita (7,10,11).

### **2.1.3 DENTINA RADICULAR**

La dentina radicular, localizada en la región cercana a la raíz del diente, se distingue por ciertas características particulares. Una de estas características es la mayor densidad de túbulos dentinarios en comparación con la dentina coronal, lo que resulta en una mayor sensibilidad a estímulos externos y una permeabilidad más notable. Además, la dentina radicular tiende a presentar una mineralización relativamente inferior en comparación con la dentina coronal, lo que le otorga una textura más suave y una resistencia mecánica disminuida (1,3,10).

Los túbulos dentinarios de la dentina radicular presentan una curvatura poco pronunciada y mientras más se acercan al ápice son cada vez más rectos, además que puede haber desde 12,000 hasta 24,000 por mm<sup>2</sup>.(7)

Otro aspecto importante es la presencia del cemento radicular, que recubre la superficie de la raíz y se fusiona con la dentina radicular. Esta capa de cemento proporciona un anclaje esencial para las fibras del ligamento periodontal, desempeñando un papel crucial en la estabilidad y la integridad de los dientes en su relación con el hueso alveolar. Además, la dentina radicular suele presentar una densidad de túbulos por área superficial menor en comparación con la dentina coronal, lo que contribuye a una sensibilidad reducida y una resistencia relativamente menor en esta región dental (3).

## **2.2 TRATAMIENTO DE CONDUCTOS**

También conocido como endodoncia, es un procedimiento dental que se realiza para tratar y salvar un diente que está gravemente dañado o infectado. Durante este tratamiento, el dentista o endodoncista elimina la pulpa del diente. Una vez que se elimina la pulpa infectada, el interior del diente se limpia, se desinfecta y se rellena. Este procedimiento es crucial para evitar la propagación de la infección y para prevenir la pérdida del diente (12).

Se deben tener en cuenta las propiedades biomecánicas del diente tratado y la posible necesidad de una restauración posterior, como la colocación de postes intrarradiculares, para garantizar la funcionalidad y la integridad estructural a largo plazo (13).

Durante un extenso período, se ha observado que, al realizar la instrumentación del conducto radicular, se forma una capa delgada de sedimento que recubre las superficies de las paredes del conducto preparado. Este depósito, conocido como smear layer, está compuesto por una combinación de sustancias inorgánicas y orgánicas, entre las que se incluyen residuos de procesos odontoblásticos y material necrótico. Esta capa de residuos se divide en una capa superficial que se adhiere a la pared del conducto, con un grosor aproximado de 1 a 2 micrómetros, y una capa más profunda que se introduce en los túbulos dentinarios hasta una profundidad de aproximadamente 40 micrómetros. Durante el proceso de instrumentación, los componentes de este smear layer pueden ser desplazados a distancias variables dentro de los túbulos dentinarios, como resultado de los movimientos rotatorios y de limado de los instrumentos utilizados en el procedimiento (14).

Por lo tanto, es de vital importancia llevar a cabo un tratamiento endodóntico minucioso y meticuloso, que incluya una preparación cuidadosa del conducto radicular mediante procedimientos de limpieza apropiados, junto con una restauración protésica de alta calidad. Estos enfoques combinados no solo garantizan la eliminación efectiva de los residuos presentes, sino que también contribuyen significativamente a preservar la

integridad a largo plazo del órgano dental, asegurando su funcionalidad y durabilidad óptimas (15).

## **2.3 RESTAURACION POSTENDODONTICA**

El objetivo principal al restaurar un diente que ha sido sometido a un tratamiento de conductos es recuperar su aspecto natural y sus propiedades físicas y biomecánicas de manera que se asemejen lo más posible a las de un diente sano y vital. Además de esto, la restauración protésica debe impedir que las bacterias vuelvan a colonizar el conducto que ha sido tratado, evitando así futuras infecciones (16). Es crucial que esta restauración coronal proporcione una protección efectiva y duradera al diente tratado, preservando su funcionalidad y su integridad estructural a lo largo del tiempo (17).

Al llevar a cabo restauraciones protésicas en dientes que han sido tratados con endodoncia, la probabilidad de sufrir fracturas y, por ende, el riesgo de perder el diente es sustancialmente mayor en comparación con los dientes que no han pasado por este tipo de tratamiento. Es esencial considerar esta mayor vulnerabilidad al realizar restauraciones en dientes endodonciados, ya que un enfoque cuidadoso y una elección adecuada de materiales pueden ayudar a minimizar el riesgo de posibles complicaciones y a preservar la funcionalidad a largo plazo de los dientes tratados (18).

### **2.3.1 TIPOS DE RESTAURACIONES**

Se ha documentado en la literatura un protocolo particularmente completo, presentado por Peroz y cols. que aborda de manera detallada el tratamiento de dientes sometidos a restauraciones. Este protocolo se distingue por establecer cinco clases clasificatorias, las cuales se basan en el número específico de paredes axiales que permanecen después de llevar a cabo el procedimiento correspondiente. Este enfoque

detallado y minucioso resulta de gran utilidad para los profesionales de la odontología, ya que les proporciona una guía clara y sistemática para abordar diferentes escenarios clínicos de restauración dental, permitiéndoles tomar decisiones informadas y precisas para garantizar resultados óptimos y duraderos. (19)

Este sistema de clasificación consta de cinco clases distintas:

- **Clase 1:** En esta categoría, los dientes tienen las cuatro paredes de la cavidad dentaria intactas, con un espesor de base superior a 1mm. En estos casos, no es necesario utilizar un poste, y se pueden aplicar diversas restauraciones finales según la elección del odontólogo.
- **Clase 2 y 3:** En estas categorías, los dientes presentan dos o tres paredes de la cavidad dentaria aún intactas. En tales situaciones, posiblemente se pueda realizar la restauración sin la necesidad de un poste. El uso de un núcleo adhesivo puede proporcionar la resistencia a la fractura requerida, evitando la inserción de un poste.
- **Clase 4:** Aquí, el diente tiene solo una pared de la cavidad restante. La adición de un núcleo de material tendrá un impacto mínimo o nulo en la resistencia a la fractura del diente sometido a tratamiento de conducto.
- **Clase 5:** En esta categoría, no quedan paredes de la cavidad dentaria. En tales casos, es imprescindible utilizar un poste para asegurar la retención del material del núcleo. La inclusión de una férula, caracterizada por un collar de corona de 360 grados, aumentará significativamente la resistencia a la fractura del diente. (19)

### **2.3.2 PREPARACION PARA ENDOPOSTE**

El uso de postes de fibra en el proceso de restauración de dientes que han sido sometidos a tratamientos endodónticos implica un mecanismo sofisticado de unión de los sistemas adhesivos a las delicadas paredes radicales del diente (20). Este mecanismo se basa esencialmente en una unión de naturaleza micromecánica. La formación de tags de resina, que son proyecciones microscópicas de resina entrelazadas con la estructura dentinaria, juega un papel crucial en la retención de los postes de fibra (21).

Se ha considerado que la eliminación minuciosa de la capa de smear layer y los residuos presentes en las paredes del conducto dentinario y en la porción inicial de los túbulos dentinarios es un paso crítico para lograr una capa híbrida resistente y duradera. Este proceso de limpieza minucioso prepara la superficie dentinaria de manera que sea receptiva al cemento de resina utilizado para fijar el poste de fibra. Al facilitar una unión efectiva entre el poste y la estructura dentinaria, se promueve una restauración dental robusta y confiable, lo que contribuye significativamente a la longevidad y la integridad funcional del diente tratado (22).

Ciertas investigaciones han evaluado los efectos de los selladores endodónticos o sus componentes en las fuerzas de unión de los agentes de cementación de resina. La etapa de preparación del espacio posterior típicamente se lleva a cabo con el uso de instrumentos rotatorios, y la eliminación cuidadosa y mecánica de la dentina que ha sido impregnada por el sellador de las paredes del canal durante esta fase se considera un paso crítico para lograr una retención óptima posterior. Este proceso de preparación minuciosa desempeña un papel vital en el fomento de una unión efectiva entre el sellador endodóntico y el agente de cementación de resina, lo que en última instancia contribuye de manera significativa a la estabilidad y longevidad de la

restauración dental. La consideración minuciosa de estos factores durante el procedimiento de preparación puede mejorar considerablemente la calidad y la resistencia de la unión entre los materiales utilizados, lo que a su vez tiene un impacto positivo en el resultado general del tratamiento (21)(23)(24).

De acuerdo con Wu y cols. se sugiere que el porcentaje del conducto que está cubierto con sellador se ve afectado por diferentes métodos de condensación. Se observó un mayor recubrimiento después de la condensación lateral en comparación con la condensación vertical. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes en las propiedades superficiales de la dentina del conducto y afectan la capacidad de penetración de los selladores y la gutapercha en los túbulos dentinarios. Estos resultados resaltan la importancia de considerar cuidadosamente los métodos de condensación durante los procedimientos endodónticos, con el fin de optimizar el sellado y la obturación del conducto, lo que a su vez puede influir en el éxito general del tratamiento (25)(26).

Los líquidos empleados para irrigar el conducto radicular abarcan una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,25% y agentes quelantes (27). Se considera que la estrategia más efectiva para eliminar los residuos orgánicos e inorgánicos presentes en el conducto radicular implica el uso alternado de NaOCl y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 17%, seguido de un último lavado con NaOCl para neutralizar el efecto del agente quelante (28).

Para retirar la gutapercha, los selladores y para preparar el espacio necesario para un poste prefabricado, con el uso de fresas para crear un espacio que permita una inserción pasiva del poste. Este enfoque mecánico se complementa con la limpieza del espacio preparado utilizando una solución acondicionante con el fin de eliminar la capa de smear layer y desmineralizar la dentina antes de proceder a la cementación del endoposte (29).

## **2.4 SMEAR LAYER**

Cada vez que se efectúa el corte de la dentina, ya sea utilizando instrumentos manuales o rotatorios, se produce la fractura de los tejidos mineralizados. Este proceso se repite al instrumentar las paredes del conducto con limas endodónticas. Como consecuencia de estas acciones, se forma una capa de residuos, conocida como smear layer, que se adhiere fuertemente a la superficie tratada, lo que dificulta su eliminación o enjuague de manera efectiva (30).

Esta acumulación de smear layer es un fenómeno común durante los procedimientos de preparación del conducto radicular en la endodoncia. El smear layer puede contener sustancias inorgánicas y orgánicas, incluyendo fragmentos de tejido dentinario y otros residuos. Debido a su adhesión firme, a menudo es necesario realizar pasos adicionales de limpieza y descontaminación para garantizar un tratamiento endodóntico efectivo y exitoso. El conocimiento y la gestión adecuada del smear layer son fundamentales para preservar la salud del diente tratado (31).

El smear layer que se encuentra durante los procedimientos endodónticos puede dividirse en dos áreas distintas. La primera área, que mide entre 1 y 2 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de espesor, está compuesta por materia orgánica y partículas de dentina. La segunda área se extiende más profundamente hasta los túbulos dentinarios, alcanzando una profundidad de entre 10 y 40  $\mu\text{m}$ , y está compuesta principalmente por fragmentos de dentina (32).

La composición y las características del smear layer pueden variar significativamente en función de diversos factores, como el sustrato específico del diente en el que se forma, el tipo de instrumento utilizado durante el procedimiento endodóntico y el método de irrigación implementado. Cabe mencionar que, en las etapas iniciales del proceso de instrumentación endodóntica, el smear layer tiende a exhibir un contenido orgánico relativamente alto, principalmente debido a la presencia de tejido pulpar, que

puede presentar una combinación de tejido necrótico o vital dentro del conducto radicular (33). Esta presencia de material orgánico adicional en el smear layer resalta la importancia de un enfoque meticuloso y preciso durante los procedimientos de limpieza y descontaminación para asegurar un tratamiento endodóntico efectivo y exitoso(34).

Se indica que la capa de esmalte irregular, amorfa, conocida como capa de smear layer, está unida a las paredes internas del conducto radicular. Esta capa se forma tanto durante el proceso de preparación biomecánica del conducto radicular como en el posterior espacio de preparación para la inserción de un endoposte. En su composición, se observa una capa superficial con un grosor que oscila entre 1 y 5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) que se adhiere débilmente a la estructura de la dentina. La presencia de esta capa de smear layer podría aumentar la probabilidad de que la microflora y las toxinas se encuentren en el interior del conducto, lo que a su vez puede reducir la efectividad del sellado del conducto (33,35).

El smear layer representa una obstrucción de los túbulos dentinarios, lo que resulta en una disminución de su permeabilidad. Por esta razón, es de vital importancia eliminar esta capa durante el procedimiento. Las paredes de la dentina suelen estar recubiertas por una capa más gruesa que contiene residuos ásperos, así como restos de sellador y gutapercha, lo cual puede dificultar la adhesión a la dentina del conducto radicular. Además, el smear layer puede volverse más maleable debido al calor generado por la fricción del instrumento utilizado (35,36).

#### **2.4.1 ELIMINACION DEL SMAER LAYER**

A pesar de que existe un debate en curso sobre el impacto de la capa de smear layer en la calidad de la preparación y obturación, varios investigadores han identificado que esta misma capa puede contener contaminantes y, en realidad, servir como protección para las bacterias que ya se encuentran en los túbulos dentinarios. Dadas estas preocupaciones, se podría considerar una medida prudente eliminar la capa de smear

layer en casos de conductos radiculares que están infectados, permitiendo así que los medicamentos penetren de manera efectiva en los túbulos dentinarios de estos dientes. Los esfuerzos dirigidos a la eliminación de la capa de smear layer han involucrado enfoques químicos, mecánicos e incluso el uso de tecnología láser (30,36,37)

La discusión en torno a si mantener o eliminar la capa de smear layer continúa siendo un tema de interés en la odontología, ya que existen argumentos a favor y en contra de ambas perspectivas. Los investigadores han explorado diversas estrategias para eliminar esta capa, y estas incluyen enfoques basados en productos químicos, procedimientos mecánicos y tecnología láser. La decisión de eliminarla o no puede depender de la situación clínica y la evaluación de riesgos, especialmente en casos de infección radicular (38).

#### **2.4.1.1 ELIMINACION MECANICA**

La utilización exclusiva de la instrumentación mecánica no logrará una eliminación total de las bacterias presentes en el sistema de conductos radiculares (39). Independientemente del método instrumental empleado, es probable que áreas extensas de las paredes del conducto radicular permanezcan sin tratar. Por consiguiente, diversas investigaciones han confirmado que el éxito en el tratamiento endodóntico se logra mediante la combinación de la instrumentación mecánica junto con la aplicación de distintas soluciones de irrigación (40–42).

#### **2.4.1.2 ELIMINACION QUIMICA**

El resultado exitoso de un procedimiento endodóntico se ve influido no solo por la precisión y efectividad de la preparación del conducto radicular, sino también por la elección adecuada del irrigante utilizado durante el proceso. Por lo tanto, comprender en profundidad tanto los métodos de preparación como los tipos de irrigantes

disponibles resulta crucial para asegurar un pronóstico favorable del tratamiento en cuestión. La selección cuidadosa y el uso adecuado de los irrigantes pueden contribuir significativamente a la desinfección y limpieza del conducto radicular, lo que a su vez promueve la salud a largo plazo del diente tratado (6,43).

La función del irrigante resulta fundamental, ya que juega un papel protagonista en la adecuada preparación de la superficie de la dentina. Para lograr una eliminación confiable de las bacterias del sistema de conductos, se requiere la acción complementaria de agentes desinfectantes y acondicionadores dentinarios (41).

Con el propósito de optimizar la erradicación de microorganismos, la expansión y conformación mecánica de un conducto radicular requieren de una irrigación adecuada y suficiente. El irrigante ideal en endodóntico se caracteriza por su capacidad antimicrobiana, baja toxicidad y una excelente biocompatibilidad con los tejidos bucales. Asimismo, debe demostrar eficacia en la limpieza de las paredes del conducto radicular y en la remoción del smear layer (39).

#### **2.4.2 SISTEMAS ACONDICIONANTES DE DENTINA**

En el campo de la endodoncia es altamente perjudicial no eliminar correctamente el smear layer (44). Esto se debe a que el smear layer actúa como una barrera física que obstaculiza la adhesión y penetración efectiva del sellador en los túbulos dentinarios. Por lo tanto, es esencial utilizar soluciones de irrigación que sean capaces de abordar tanto los componentes orgánicos como inorgánicos del smear layer durante y después del proceso de instrumentación endodóntica. El hipoclorito de sodio (NaOCl) y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) son ampliamente reconocidos por sus propiedades bactericidas, solventes y quelantes, lo que los convierte en elecciones comunes para eliminar el smear layer. La clorhexidina, debido a su efectividad antibacteriana de larga duración mediante la unión a la dentina, también es un irrigante popular. Sin embargo,

no disuelve los componentes orgánicos ni elimina la smear layer, como logran el NaOCl y el EDTA (45,46).

#### **2.4.2.1 ACIDO FOSFORICO**

El ácido fosfórico es un agente ácido fuerte ampliamente utilizado en procedimientos de odontología conservadora. Se ha observado que este compuesto tiene la capacidad de eliminar eficazmente el smear layer de la dentina radicular. Se demostró que una concentración del 10% de ácido fosfórico logró una eliminación parcial del smear layer, mientras que una concentración del 32% permitió su eliminación total (36,40).

La eliminación exitosa del smear layer es crucial para garantizar una adhesión óptima y una unión duradera durante los procedimientos restauradores. Además, el uso cuidadoso y preciso del ácido fosfórico puede facilitar la preparación adecuada de la dentina radicular, lo que es esencial para el éxito a largo plazo de los tratamientos endodónticos y protésicos (47,48).

#### **2.4.2.2 EDTA**

Estas sustancias químicas desmineralizantes tienen la capacidad de disolver la parte inorgánica del smear layer que se forma durante el proceso de preparación del conducto radicular (38). Cuando se aplican en la dentina, penetran a través de los túbulos dentinarios y provocan una descalcificación tanto en la dentina peritubular como en la intertubular. Este efecto de desmineralización contribuye a una mayor limpieza de las paredes del conducto radicular (49).

La solución de EDTA al 17% se presenta como un agente de acondicionamiento con un pH neutro y propiedades que reducen la tensión superficial. Esto facilita la limpieza y preparación de los conductos radiculares al impregnar por completo las paredes del conducto. La acción quelante del EDTA sobre el calcio disuelve por completo el smear layer, reaccionando con los iones de calcio de la dentina y formando un quelato de calcio soluble. Investigaciones han revelado que el EDTA puede desmineralizar la dentina a una profundidad de 20-30  $\mu\text{m}$  en tan solo 5 minutos (34,35).

En la práctica, la combinación de EDTA y NaOCl es comúnmente utilizada para la irrigación endodóntica, con el objetivo de lograr la desmineralización y desprotección. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso prolongado de EDTA junto con NaOCl puede causar una excesiva desmineralización, generando una superficie de dentina erosiva (50).

Algunos investigadores han propuesto que alternar el uso de EDTA y NaOCl representa un enfoque efectivo para eliminar el smear layer. En sus estudios, compararon la eficacia de varias sales de EDTA para eliminar el smear layer, y encontraron que todas las sales de EDTA evaluadas fueron capaces de eliminar el smear layer de los dos tercios coronales de los conductos radiculares (2,51).

#### **2.4.2.2.1 USO DEL EDTA EN LA ENDODONCIA**

La hidroxiapatita, que constituye la parte principal de la materia inorgánica de la dentina, es esencialmente una estructura formada por cristales de hexafluorocálcico dihidratado. Además del calcio, la dentina también contiene trazas de otros iones metálicos, aunque en cantidades mucho menores. Cuando se aplica un agente quelante en una superficie dentinaria, este agente retira los iones de calcio, lo

que hace que la dentina sea más susceptible a desintegrarse. Uno de los agentes más notables en la remoción de iones de calcio es el EDTA (52).

Actualmente, la adhesión a la dentina juega un papel crucial en la práctica de la odontología conservadora y restauradora. Se reconoce que cualquier estrategia de adhesión a la dentina debe considerar cómo manejar la capa de frotis que resulta de la acción de los instrumentos rotatorios sobre el esmalte y la dentina. En los sistemas adhesivos en los que se requiere la eliminación de esta capa, se recurre a un acondicionador de dentina que incluye ácido fosfórico o EDTA (53).

#### **2.4.2.2 TOXICIDAD Y BIOCMPATIBILIDAD DEL EDTA**

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) ha demostrado ser un agente eficaz en la remoción del smear layer durante el tratamiento endodóntico (54). Al utilizar limas finas para su aplicación, se logra una penetración más profunda en el conducto, lo que aumenta la probabilidad de que el EDTA se escape a través del foramen apical hacia los tejidos periapicales. Anteriormente, se consideraba que este escape provocaba una acción descalcificante e irritativa en el hueso periapical, con una recuperación en un período corto de tiempo (55).

Sin embargo, estudios más recientes han revelado que el EDTA puede permanecer activo en el conducto hasta 5 días después de su uso, lo que sugiere que su presencia prolongada podría tener efectos más significativos de los que se pensaba anteriormente. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente el enjuague de los conductos con una solución de NaOCl 5.25% después del uso de EDTA para asegurar una eliminación completa del agente de los tejidos periapicales y minimizar cualquier posible irritación o efecto adverso. Este enjuague adicional ayuda a garantizar que el EDTA no permanezca en el conducto, lo que podría afectar negativamente el proceso de curación y el pronóstico general del tratamiento endodóntico (54,56).

A pesar de su uso generalizado, actualmente no hay datos suficientes que detallen la capacidad específica de descalcificación del ácido fosfórico en la dentina radicular, ni se cuenta con una comparación directa de su eficacia en relación con otros agentes quelantes como el EDTA y el ácido cítrico (52).

Dada la importancia de la preparación adecuada de la dentina radicular en los procedimientos de restauración y tratamiento endodóntico, es esencial profundizar en la comprensión de los efectos y la eficacia de los agentes químicos utilizados en estos contextos. Una mayor investigación sobre las capacidades de descalcificación y las características de adhesión de los diferentes agentes puede contribuir en gran medida a mejorar las prácticas clínicas y optimizar los resultados de los tratamientos (57,58).

### **2.4.3 ACTIVACION ULTRASONICA**

La activación ultrasónica del irrigante se ha convertido en una técnica esencial en la práctica endodóntica debido a su capacidad para mejorar significativamente la limpieza y desinfección del conducto radicular. Al crear movimientos fluidos dentro del conducto, el ultrasonido ayuda a romper la capa de smear layer, y lo elimina eficazmente de las paredes del conducto (59). Esta acción es crucial ya que el smear layer puede actuar como una barrera que interfiere con la adhesión de los selladores y, por lo tanto, puede comprometer el éxito a largo plazo del tratamiento (60).

Además de su capacidad para eliminar el smear layer, la activación ultrasónica del irrigante también mejora la penetración del líquido en los túbulos dentinarios, lo que permite una limpieza más profunda y completa. Esto es especialmente importante en áreas de difícil acceso o en conductos curvos donde la irrigación convencional puede ser insuficiente. La acción ultrasónica también se ha asociado con una mayor eficacia en la eliminación de bacterias y biofilm que residen en los túbulos dentinarios, lo que

contribuye a un entorno más estéril para la posterior obturación del conducto radicular (61,62).

En resumen, la activación ultrasónica del irrigante ha demostrado ser una estrategia valiosa para mejorar la calidad y la eficacia del tratamiento endodóntico al promover una limpieza más profunda y una desinfección más completa del sistema de conductos radiculares. Su implementación adecuada y oportuna puede jugar un papel clave en la optimización de los resultados del tratamiento y en la mejora de la supervivencia a largo plazo de los dientes tratados endodónticamente (63,64).

## **2.5 MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (MFA)**

Un microscopio de fuerza atómica es un tipo de microscopio que permite observar la topografía de una superficie con una resolución extremadamente alta, a nivel de átomos y moléculas. Funciona mediante el uso de una pequeña punta extremadamente fina en su extremo llamada cantilever, la cual se desplaza sobre la superficie de la muestra (65).

La punta del cantilever está tan cerca de la superficie que puede detectar las fuerzas de interacción entre los átomos de la punta y los átomos de la muestra. Cuando la punta del cantilever se mueve sobre la muestra, las fuerzas de interacción (como las fuerzas de Van der Waals, fuerzas electrostáticas, y fuerzas de contacto) causan deflexiones en el cantilever. La información de las deflexiones del cantilever se utiliza para construir una imagen tridimensional de la superficie de la muestra (66).

Las principales ventajas del MFA son su alta resolución para visualizar detalles a escalas nanométricas, puede funcionar en diferentes ambientes como vacío, líquidos o aire, y además no requiere preparación especial de las muestras a diferencia de otros tipos de microscopios (66).

El MFA se utiliza en diversos campos, tales como biología, nanotecnología o electrónica. En el campo de la odontología se utiliza especialmente en la investigación y desarrollo de materiales dentales y en el estudio de la biología dental

### **2.5.1 USOS EN ODONTOLOGÍA**

El MFA se utiliza para estudiar la morfología y la topografía de las superficies dentales a nivel nanométrico. Esto incluye la evaluación de la superficie del esmalte y la dentina, permitiendo una mejor comprensión de su estructura y cómo esta afecta la adhesión y la resistencia. Los materiales de restauración dental, como las resinas compuestas, los selladores y los cementos, pueden ser analizados con AFM para investigar su rugosidad superficial y comportamiento bajo diferentes condiciones (67).

Además, permite el análisis detallado del desgaste de los materiales dentales y los dientes naturales. Puede medir los cambios en la topografía de la superficie después de la exposición a diferentes condiciones, como el cepillado o la masticación. También puede ser utilizado para detectar cambios a nivel nanométrico en la estructura dental que son indicativos de enfermedades como la caries o la erosión dental, antes de que sean visibles con métodos tradicionales. Entre otros usos que pueden ser de suma importancia para la investigación a nivel odontológico (67).

### **2.6 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB)**

El microscopio electrónico de barrido (MEB) es un tipo de microscopio que utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen altamente detallada de la superficie de una muestra. Es una herramienta fundamental en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería debido a su capacidad para proporcionar imágenes con gran profundidad de campo y alta resolución (68).

El MEB emite un haz de electrones que son enfocados y dirigidos hacia la muestra mediante una serie de lentes electromagnéticas, cuando los electrones del haz primario golpean la superficie de la muestra, varias señales se generan debido a las interacciones entre los electrones y los átomos. Las señales recogidas se transforman en una imagen (68).

Las principales ventajas del MEB son que nos permite visualizar detalles extremadamente pequeños, además que proporciona imágenes con una gran cantidad de área simultáneamente, lo que es útil para muestras con topografías complejas. También este microscopio tiene la capacidad de proporcionar información sobre la composición elemental de la muestra mediante la detección de rayos X característicos (68).

Las muestras para SEM deben ser conductoras o recubiertas con una capa conductora (generalmente de oro o carbono) para evitar la acumulación de carga eléctrica. Esto es crucial para obtener imágenes claras y evitar distorsiones (69).

### **2.6.1 USOS EN ODONTOLOGIA**

El uso del MEB permite obtener imágenes tridimensionales detalladas de las superficies, lo que facilita el análisis de materiales dentales y el estudio de la forma y características de la dentina y la cuantificación de los túbulos dentinarios, así como la superficie del esmalte y el cemento radicular. Además, es posible la evaluación y comparación de la preparación biomecánica de las paredes del conducto radicular tras el uso de instrumentos manuales o rotatorios en endodoncia, el análisis de los efectos de distintas soluciones de irrigación sobre la dentina y la observación de la microestructura del biofilm, entre otros estudios (70).

La versatilidad del MEB permite realizar observaciones de las muestras a diferentes niveles de aumento (71).

### 3 ANTECEDENTES

Tsenova-Ilieva y cols. Compararon el efecto de varios protocolos de irrigación sobre la rugosidad de la dentina radicular, con respecto al tiempo de aplicación, concentración y activación ultrasónica. Utilizando imágenes 3D tomadas con el microscopio de fuerza atómica (MFA) para obtener los valores de rugosidad (Ra) provocada por los acondicionantes. Obtuvieron como resultado utilizando 10 muestras por grupo (n=80) que todos los irrigantes aumentaron la rugosidad de la dentina del conducto radicular en comparación con el grupo control, además que el uso de los irrigantes por tiempo más prolongado, así como la activación ultrasónica provocaron mayor rugosidad en las muestras de dentina radicular (72).

De Deus y cols. Evaluaron los cambios que sufre la dentina al exponerse a acondicionantes dentinarios durante diferentes periodos de tiempo y con la ayuda de imágenes tomadas de manera continua con el microscopio de fuerza atómica (MFA), pudieron observar en tiempo real la superficie de la dentina. Y por medio de una escala visual obtuvieron los resultados que el ácido cítrico fue el irrigante que más afectó la dentina, seguido del EDTA 17% y por último el EDTAC 17% (73).

Torabinejad y cols. estudiaron los niveles de eliminación de smear layer en 48 dientes mandibulares y maxilares de una sola raíz. Por medio de imágenes del Microscopio electrónico de barrido (MEB). realizó una evaluación por medio de una escala visual para determinar la limpieza de los túbulos dentinarios, dando como resultado que el EDTA al 17% y MTAD, tuvieron diferencia significativa en la limpieza del smear layer comparado con el (74).

Martinelli y cols. En 40 dientes humanos unirradiculares evaluó diferentes soluciones acondicionantes. Por medio del uso de imágenes tomadas con el Microscopio electrónico de barrido (MEB), llegaron a los resultados que en el grupo del EDTA 17% en la mayoría de las muestras existe una capa residual en el tercio medio de la raíz. En el tercio apical se observó más número de túbulos dentinarios obstruidos por el

barro dentinario. Los grupos ácido cítrico 10% y 25% mostraron mayor efectividad en la remoción del smear layer, con mejores resultados en el grupo ácido cítrico 25% (75).

Prado y cols. Realizaron estudios en el microscopio electrónico de barrido (MEB) tomando micrografías y usando el método de Takeda para puntuar los niveles de smear layer que existe en la dentina radicular previo a la colocación del poste. Evaluó los acondicionantes en 38 dientes utilizando diferentes irrigantes como EDTA 17%, ácido cítrico 10%, ácido ortofosfórico 37% en solución y en gel por 30 segundos, 1 y 3 minutos. Se demostró en los resultados que el ácido fosfórico fue el que mejores resultados tuvo en 1 min, mientras que al dejar cualquier sustancia por un tiempo de 3 min todos tuvieron un efecto deseado (76).

Kandil y cols. Evaluaron la eliminación del smear layer utilizando diferentes irrigantes como el NaOCl 2.5%, ácido málico 7%, EDTA 17%, MTAD y solución salina como grupo control. Por medio del microscopio electrónico de barrido se obtuvieron micrografías a un aumento de 1000x, las cuales se clasificaron según los criterios de eliminación de smear layer. Teniendo como resultado que el ácido málico 7% obtuvo los mejores resultados de limpieza, seguido del EDTA 17% y después el MTAD (41).

#### **4 JUSTIFICACION**

La rehabilitación postendodóntica es una parte fundamental para el éxito de un tratamiento integral, ya que al darle al diente más estructura para poder llevar a cabo un mejor sellado tanto radicular como coronal nuestro índice de éxito a largo plazo es más alto.

Al realizar la desobturación para la colocación del endoposte producimos el smear layer que nos afecta en la adhesión del sistema adhesivo con la dentina radicular, ya que mantiene obstruidos los túbulos dentinarios.

En estos casos la remoción de smear layer toma un papel muy importante ya que además de dentina también estamos eliminando restos de gutapercha y de cemento sellador, lo que hace que el smear layer sea más difícil de eliminar.

Por esto a nuestra consideración es necesario evaluar diferentes sistemas acondicionantes como ácido fosfórico al 37% y EDTA al 17% con y sin el uso de activación ultrasónica para poder comparar su efecto en la eliminación del smear layer y los niveles de rugosidad que producen en la dentina radicular. Y así tener un éxito más predecible en la retención de los postes de fibra de vidrio.

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eliminación de smear layer y la rugosidad de la dentina radicular utilizando diferentes sistemas acondicionantes en la preparación para postes radiculares

### **5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Comparar la eliminación del smear layer con las diferentes soluciones acondicionantes.
- Comparar la rugosidad dentinaria con las diferentes soluciones acondicionantes.
- Comparar el uso de la activación ultrasónica en la eliminación de smear layer y rugosidad dentinaria

## **6 MATERIALES Y METODOS**

### **6.1 LUGAR Y OBTENCION DE LA MUESTRA**

Clínica de Exodoncia de la Universidad Autónoma de Sinaloa

### **6.2 TIPO DE ESTUDIO**

- Prospectivo
- Transversal
- Experimental
- Comparativo

### **6.3 MUESTRA**

- 28 caninos con raíz recta, mayor a 15mm, sin caries ni fracturas, un solo conducto y ápice desarrollado. En diversas clínicas de practica privada y hospitales en Culiacán, Sinaloa.

#### **6.3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN**

##### **6.3.1.1 CRITERIOS DE INCLUSION**

- Sin caries extensas
- Sin fracturas

- Raíz recta
- Raíz mayor a 15mm

#### **6.3.1.2 CRITERIOS DE EXCLUSION**

- Caries extensas
- Raíz con curvatura
- Raíz menor a 15mm
- Fracturas radiculares

#### **6.3.1.3 CRITERIOS DE ELIMINACION**

- Fracturas de la raíz durante el estudio
- Limas fracturadas durante el estudio
- Conducto no permeable

### **6.4 METODOLOGIA**

#### **6.4.1 PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA**

Se utilizaron 28 caninos, los cuales se desinfectaron con hipoclorito al 1% por 12 horas. Posteriormente se les realizó un raspado y alisado radicular con cureta Gracey 3/4 (Hu-Friedy). Las muestras se almacenaron en un vaso con solución.

Las muestras se estandarizaron seccionando con un disco de diamante y pieza de baja velocidad, para lograr una sección radicular de 15mm de longitud.

El tratamiento de conductos se realizó a una longitud de trabajo de 14mm y utilizamos lima k #10 para realizar la permeabilidad del conducto para posteriormente realizar la preparación biomecánica con el sistema Protaper Next hasta la lima X3 (30.08), entre cada lima irrigando con 3ml de NaOCl al 5.25%. El protocolo de irrigación final se realizó con 3 ciclos de 3ml de NaOCl al 5.25% con activación ultrasónica por 20 segundos, posteriormente se usó agua destilada para eliminar los restos de NaOCl y para terminar 3 lavados 3ml de EDTA al 17%. La obturación se realizó con técnica de cono único y cemento AH Plus (Dentsply).

La desobstrucción del conducto se realizó con fresas Gates Glidden 1,2,3 y 4, a una longitud de 9mm.

#### **6.4.2 GRUPOS DE ESTUDIO**

- Grupo 1: Acido grabador 37% en 3 ciclos de 20 segundos cada uno
- Grupo 2: EDTA 17% en 3 ciclos de 20 segundos cada uno
- Grupo 3: EDTA 17 con activación ultrasónica en 3 ciclos de 20 segundos cada uno.
- Grupo 4: Solución salina en 3 ciclos de 20 segundos cada uno

##### **6.4.2.1 MFA**

24 caninos fueron seccionados para obtener una muestra de dentina radicular de 5x5mm. Cada muestra fue pulida con disco de diamante y posteriormente con una lija de grano 2000.

Las muestras se montaron en cubos de acrílico dejando expuesta la cara que pertenece al interior del conducto y se les colocó el acondicionante según su grupo de estudio.

Posteriormente cada muestra se lavó con agua bidestilada y se conservó hasta su estudio. El cual se realizó utilizando el equipo Nanosurf Easyscan2 System (Imagen 1), y puntas Ni<sub>2</sub>Si<sub>3</sub> (Contact-AG) en el cantiléver. Con las imágenes analizadas con el MFA se obtendrán los valores de “Desviación media aritmética del perfil (Ra)” el cual nos dice cuánto se desvía cada punto del perfil con respecto a la línea media.

#### **6.4.2.2 MEB**

Se utilizaron 4 caninos a los cuales se les colocó el acondicionante dentinario directamente según su grupo de estudio y finalmente se lavó con agua bidestilada y se secó con puntas de papel.

Para el corte longitudinal de la raíz, se realizaron surcos en la superficie radicular externa vestibular y lingual con la ayuda de un disco de diamante de doble cara con pieza de baja velocidad sin penetrar al conducto radicular. Luego se partieron las muestras de la raíz con la ayuda de un cincel en 2 partes, teniendo así 8 mitades.

Después se realizó la deshidratación de las muestras por medio de protocolo de alcoholes al 25%, 40%, 50%, 75%, 80%, 95% y 100% por 30min cada concentración y finalmente posteriormente se colocó en una incubadora a 37°C por 24h.

Para realizar las tomas en el MEB previamente se realizó el baño en oro o sputtering con el equipo Spi-Module Sputter Coater (Imagen 2)

La toma de las micrografías se realizó a 2000x a 5kV con el Microscopio Electrónico de Barrido JSM-6510 (Imagen 3).

La cantidad de barrillo dentinario que permaneció en la superficie del conducto radicular o en los túbulos dentinarios se clasifico de acuerdo con los siguientes criterios y valores de una escala analógica visual (EAV).

- 1: Ausencia de smear layer, orificio de los túbulos dentinarios esta permeable.
- 2: El área del conducto está cubierta por una capa fina de smear layer, la apertura del túbulo dentinario es visible.
- 3: El área del conducto está cubierta por una capa irregular de smear layer, la apertura del túbulo dentinario es apenas visible.
- 4: Toda el conducto está cubierta por una capa irregular y homogénea de smear layer
- 5: Una capa gruesa y no homogénea de smear layer cubre toda la pared del conducto.

9 profesionales en el área de endodoncia realizaron la evaluación de las muestras asignando un valor a cada imagen obtenida con el MEB.



**Figura 1:** Microscopio de Fuerza Atómica (MFA) Nanosurf Easyscan2 System



**Figura 2:** Microscopio Electrónico de Barrido JSM-6510



**Figura 3:** Microscopio Electrónico de Barrido JSM-6510

#### **6.4.3 ANALISIS ESTADISTICO PARA EVALUAR RUGOSIDAD DENTINARIA EN AFM**

Se utilizó la prueba estadística Kruskal Wallis y Dunn para corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre los valores de Ra de los grupos, usando el software GraphPad Prism 8.0.2.

#### **6.4.4 ANALISIS ESTADISTICOS PARA EVALUAR ELIMINACION DE SMEAR LAYER EN MEB**

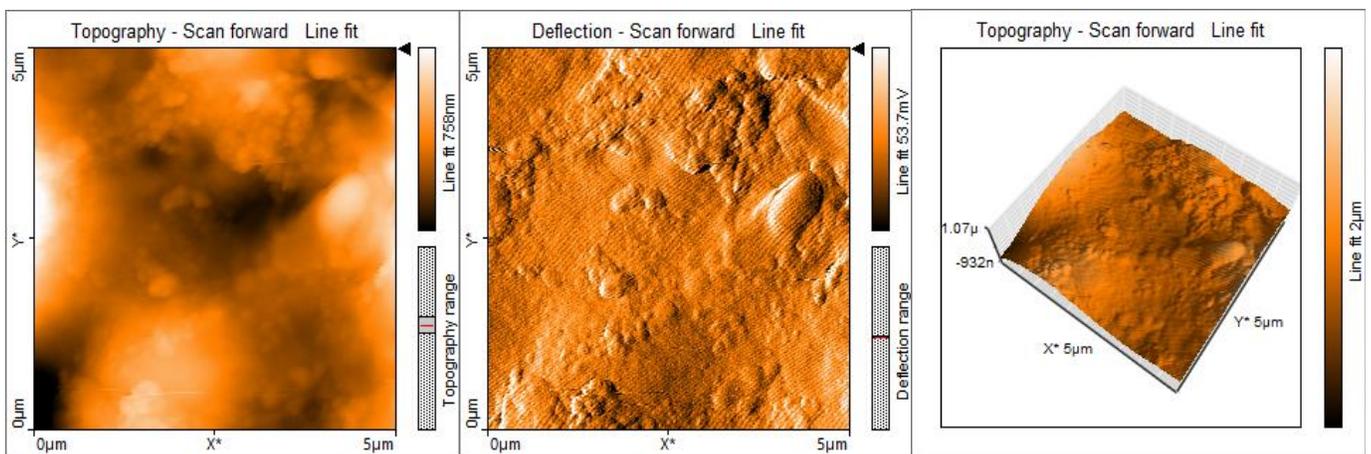
Este se realizó con el Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos, por medio del software GraphPad Prism 8.0.2.

## 7 RESULTADOS

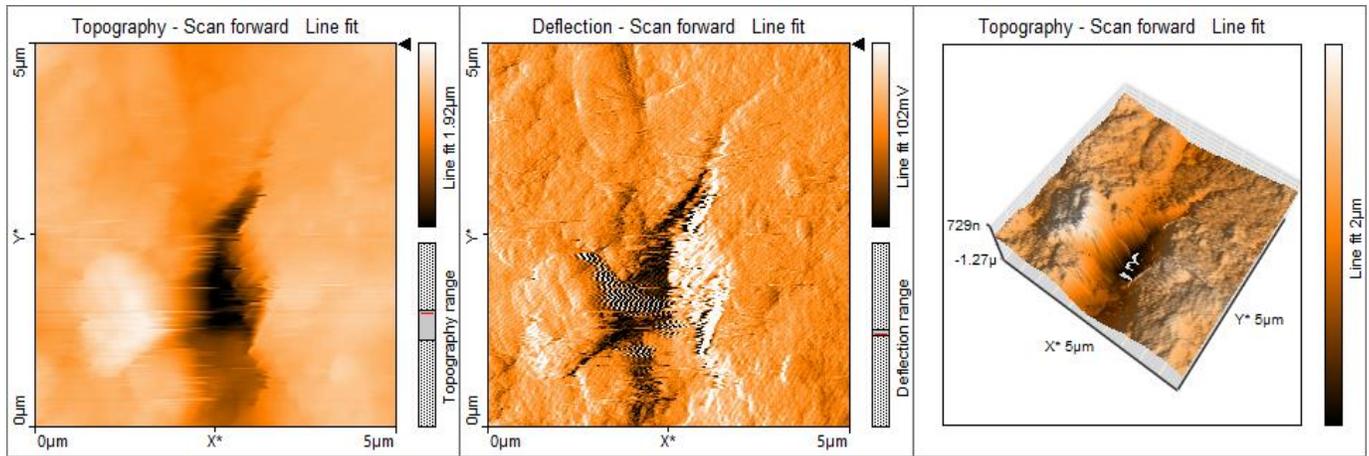
### 7.1 RUGOSIDAD DENTINARIA

Con el análisis estadístico de los valores de Ra obtenidos con las imágenes tomadas con el MFA (Tabla 1), dio como resultado que la dentina radicular expuesta a los diferentes acondicionantes por 1 minuto, tuvo un grado de rugosidad mayor con el grupo de EDTA 17% con activación ultrasónica con 240.7 ( $\alpha < 0.05$ ) (Imagen 4). El segundo acondicionante dentinario que más afecto a la dentina fue el EDTA 17% con 236.1 (Imagen 5). Después tenemos al ácido fosfórico al 37% con 113.8 (Imagen 6) y por último el grupo de control con solución salina el cual tuvo valores de 82.45 (Imagen 7).

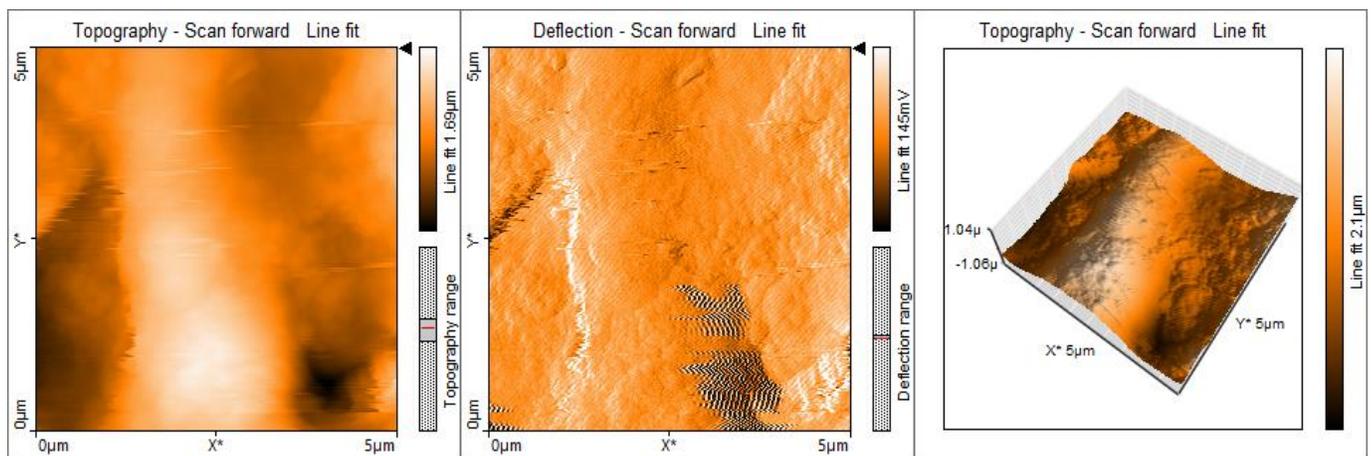
El EDTA 17% con la activación ultrasónica y EDTA 17% mostraron una diferencia significativa ( $\alpha < 0.05$ ) con respecto al grupo control y entre los 2 grupos con poca diferencia en los valores de rugosidad dentinaria que provocan (Grafica 1). Obteniendo que el uso de la activación ultrasónica no es un factor determinante que aumente la rugosidad dentinaria que provocan los acondicionantes.



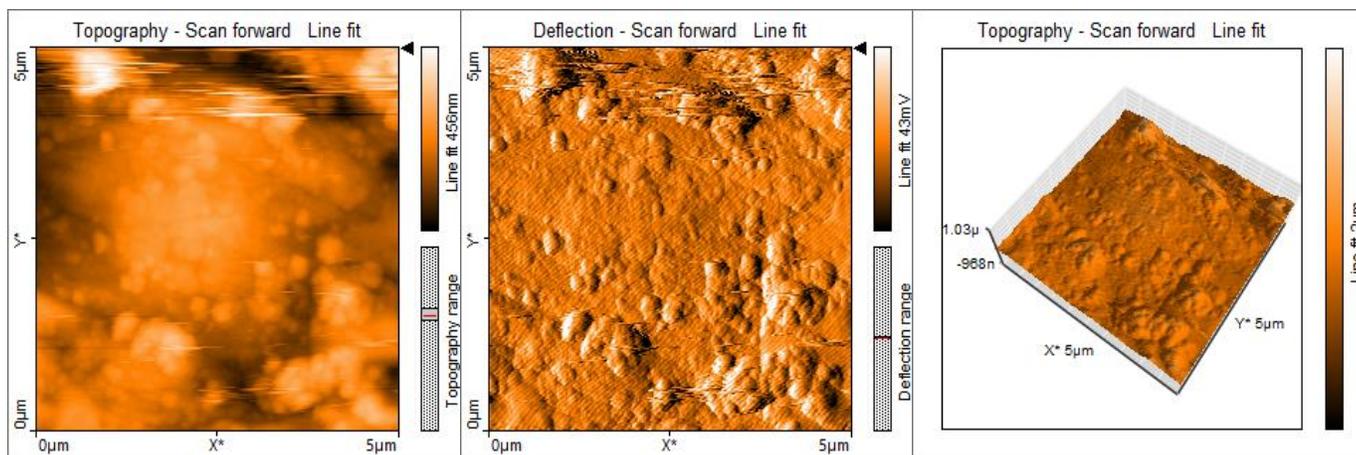
**Figura 4:** Análisis de muestra correspondiente al Grupo 1 utilizando el Microscopio de Fuerza Atómica (MFA). Imágenes obtenidas en campos de 5x5µm en vista 2D y 3D, obteniendo valores Ra de 113.8.



**Figura 5:** Análisis de muestra correspondiente al Grupo 2 utilizando el Microscopio de Fuerza Atómica (MFA). Imágenes obtenidas en campos de 5x5 μm en vista 2D y 3D, obteniendo valores Ra de 236.1.



**Figura 6:** Análisis de muestra correspondiente al Grupo 3 utilizando el Microscopio de Fuerza Atómica (MFA). Imágenes obtenidas en campos de 5x5 μm en vista 2D y 3D, obteniendo valores Ra de 240.7.

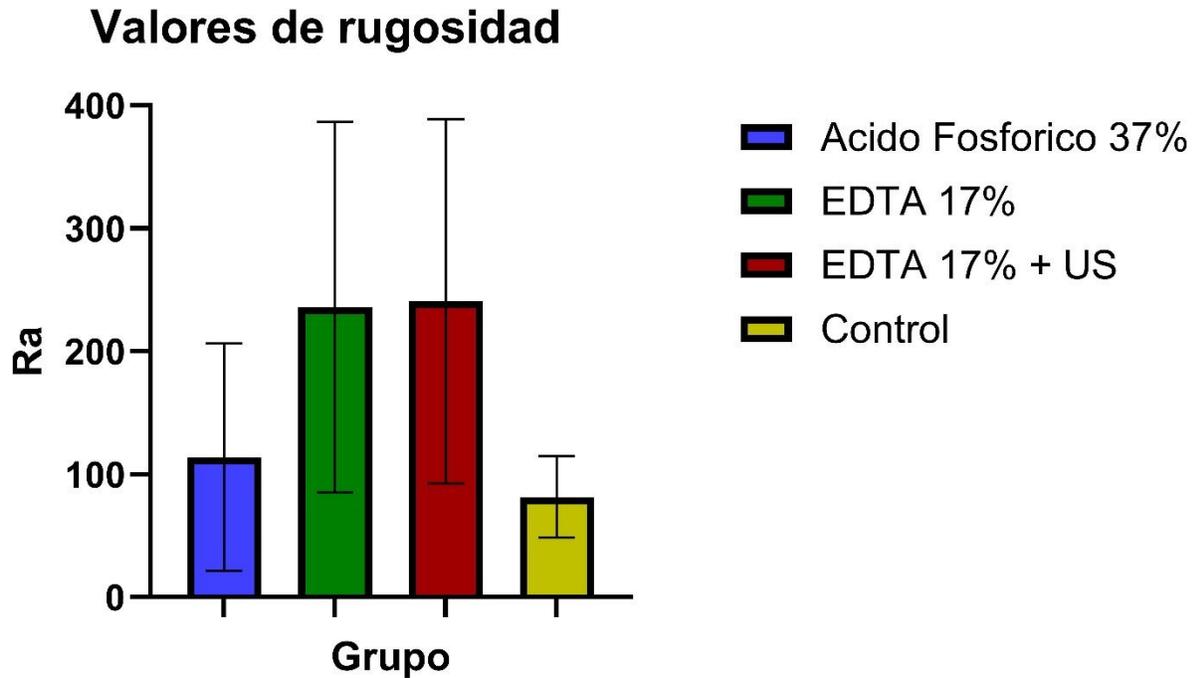


**Figura 7:** Análisis de muestra correspondiente al Grupo 4 utilizando el Microscopio de Fuerza Atómica (MFA). Imágenes obtenidas en campos de 5x5µm en vista 2D y 3D, obteniendo valores Ra de 82.4.

## VALORES DE RA POR GRUPO

Grupo	Promedio	Desviación estándar	Significancia
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO 37%</b>	113.8	±92.5	No
<b>EDTA 17 %</b>	236.1	±150.6	Si
<b>EDTA 17 % + US</b>	240.7	±148.1	Si
<b>CONTROL</b>	82.45	±32.8	---

**Tabla 1:** Valores obtenidos con el análisis estadístico Kruskal Wallis y Dunn, teniendo como resultado que el acondicionante que más rugosidad provoca es el EDTA 17% con activación ultrasónica ( $P = <0.0001$ ).



**Figura 8:** Grafico con los valores de Ra, existiendo una diferencia significativa ( $\alpha < 0.05$ ) en los grupos 2 y 3 respecto al grupo control.

## 7.2 ELIMINACIÓN DE SMEAR LAYER

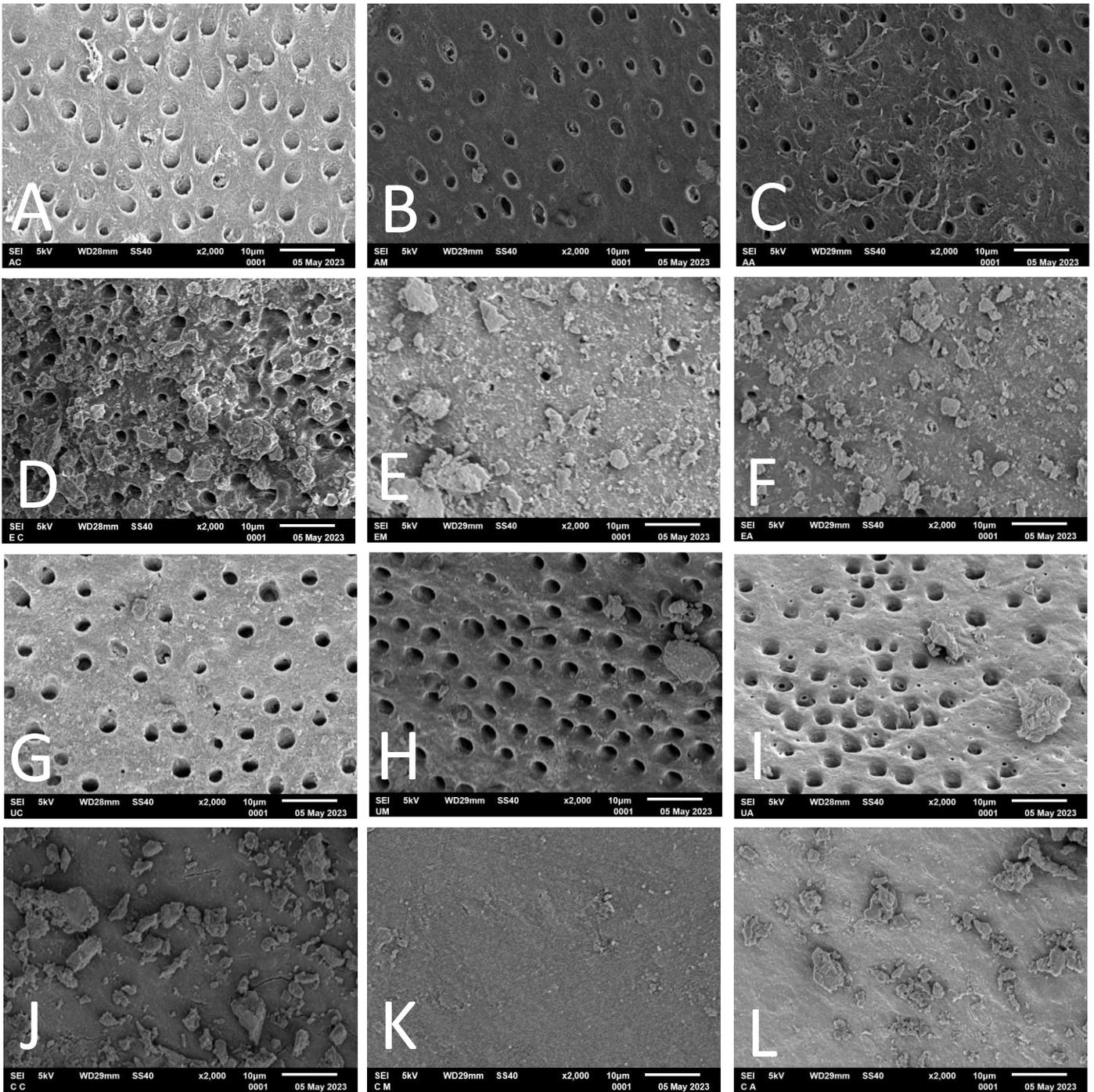
Con los valores obtenidos de la evaluación de las imágenes tomadas con el MEB (Imagen 8) se observó una eliminación mayor de smear layer en el grupo de EDTA 17% con activación ultrasónica esto en los 3 tercios del conducto radicular (cervical, medio y apical)

En el tercio cervical el EDTA 17% con activación ultrasónica obtuvo valores de eliminación de smear layer con la EAV de 1.78 ( $P = < 0.0001$ ), seguido del ácido fosfórico 37% con 1.89. Con valores mucho más altos y muy parecidos al grupo control

con relación a la eliminación de smear layer está el EDTA 17% con 3.72, por último, el grupo control con 4.5 (Tabla 2).

En el tercio medio del conducto radicular igualmente el acondicionante que mejores resultados tuvo eliminando smear layer fue el EDTA 17% con activación ultrasónica con 1.44, después el ácido fosfórico 37% con valores de 1.72, seguido del grupo de EDTA 17% con 3.56 y por último el grupo control con 4.11 (Tabla 3).

Por último, en el tercio apical el EDTA al 17% con activación ultrasónica volvió a tener los valores más altos de eliminación de smear layer 1.94. El ácido fosfórico 37% fue el segundo acondicionante con 2.00, seguido el EDTA 17% con 3.33 y como ultimo el grupo control de solución salina con 4.22 (Tabla 4).



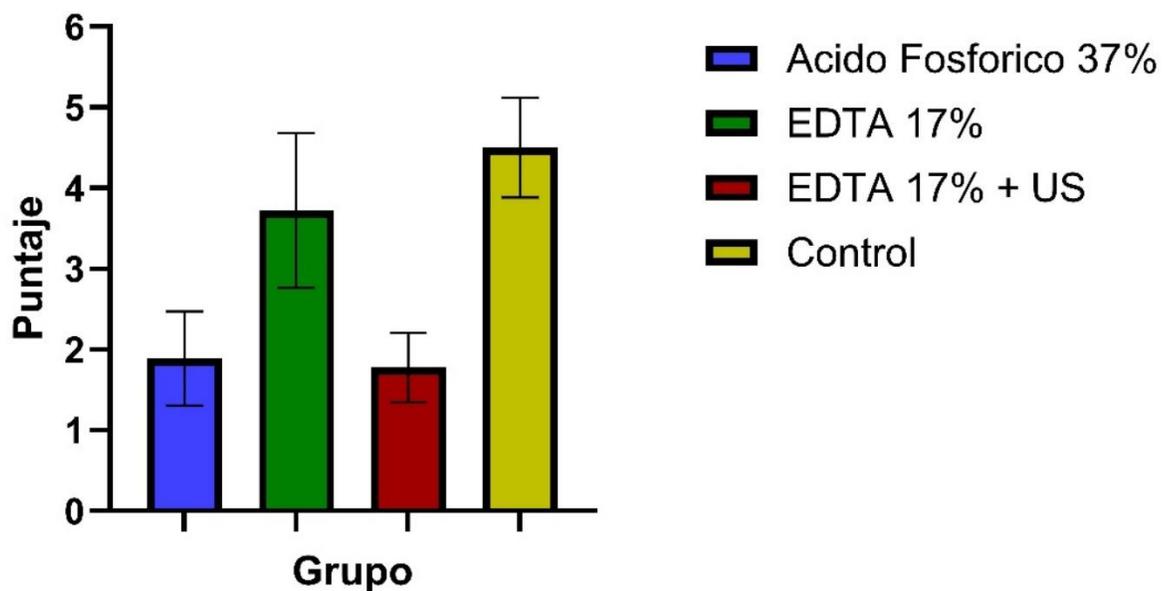
**Figura 9:** Eliminación de smear layer con diferentes acondicionantes dentinarios. A) Ácido fosfórico 37% tercio cervical, B) Ácido fosfórico 37% tercio medio, C) Ácido fosfórico 37% tercio apical, D) EDTA 17% tercio cervical, E) EDTA 17% tercio medio, F) EDTA 17% tercio apical, G) EDTA 17% con activación ultrasónica tercio cervical, H) EDTA 17% con activación ultrasónica tercio medio, I) EDTA 17% con activación ultrasónica tercio apical, J) solución salina tercio cervical, K) solución salina tercio medio, L) solución salina tercio apical.

## SMEAR LAYER EN TERCIO CERVICAL

Grupo	Promedio	Desviación estándar	Significancia
<b>ACIDO FOSFORICO 37%</b>	1.89	0.58	Si
<b>EDTA 17 %</b>	3.72	0.96	No
<b>EDTA 17 % + US</b>	1.78	0.43	Si
<b>CONTROL</b>	4.5	0.62	---

**Tabla 2:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control ( $P = <0.0001$ ).

### Eliminación de smear layer en tercio cervical



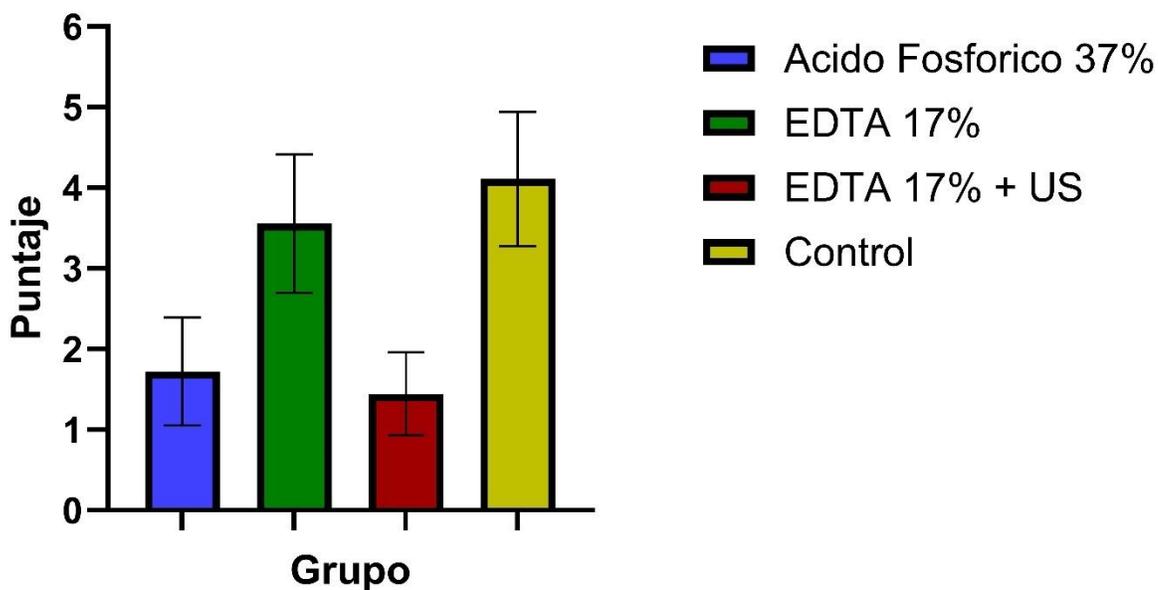
**Figura 10:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control.

### SMEAR LAYER EN TERCIO MEDIO

Grupo	Promedio	Desviación estándar	Significancia
ACIDO FOSFORICO 37%	1.72	0.67	Si
EDTA 17 %	3.56	0.86	No
EDTA 17 % + US	1.44	0.51	Si
CONTROL	4.11	0.83	---

**Tabla 3:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control ( $P = <0.0001$ ).

### Eliminacion de smear layer en tercio medio



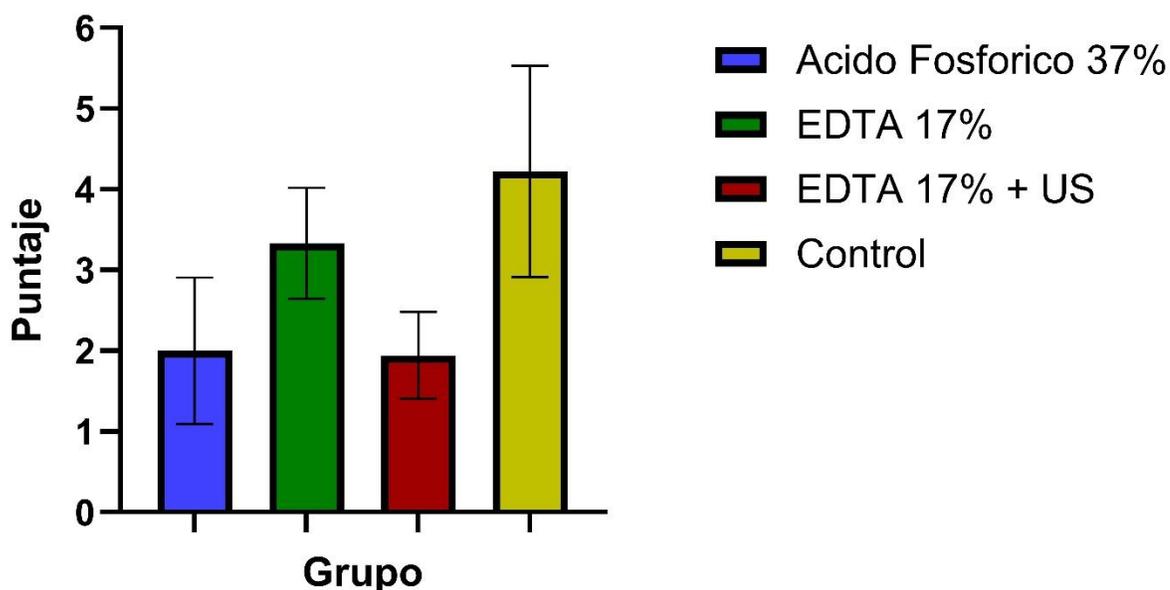
**Figura 11:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control.

### SMEAR LAYER EN TERCIO APICAL

GRUPO	Promedio	Desviación estándar	Significancia
ACIDO FOSFORICO 37%	2.00	0.91	Si
EDTA 17 %	3.33	0.69	No
EDTA 17 % + US	1.94	0.54	Si
CONTROL	4.22	1.31	---

**Tabla 4:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control ( $P = <0.0001$ ).

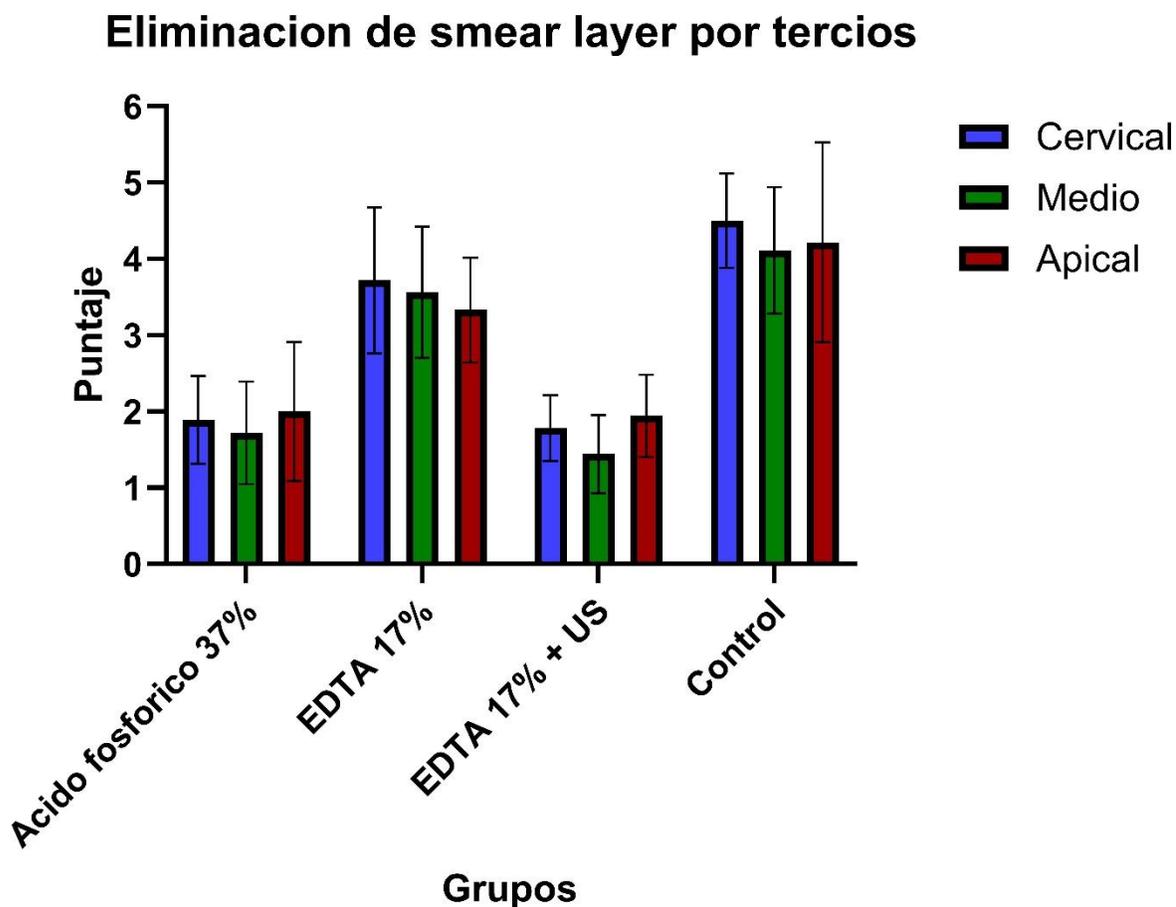
### Eliminación de smear layer en tercio apical



**Figura 12:** Valores obtenidos con el análisis estadístico ANOVA de una vía, el EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37% teniendo diferencia significativa en relación con el grupo control.

La activación ultrasónica tuvo un efecto muy importante con los valores del EDTA 17% usado como acondicionante dentinario en la eliminación de smear layer a lo largo de conducto radicular, se puede observar en el grupo sin activación del acondicionante gran cantidad de smear layer obstruyendo los túbulos dentinarios, impidiendo su permeabilidad.

Existió diferencia significativa en los grupos de EDTA 17% con activación ultrasónica y el ácido fosfórico 37%, en relación con los valores obtenidos con el grupo control.



**Figura 12:** Comparación de la eliminación por tercios de los diferentes grupos de estudio.

### Eliminación de smear layer por grupo

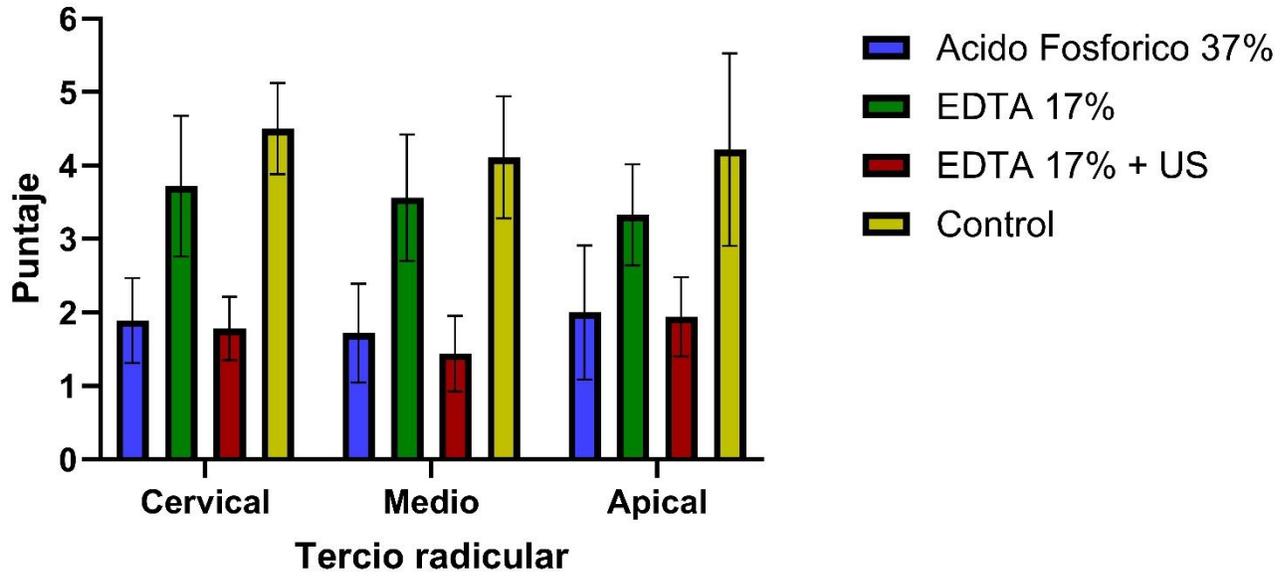


Figura 13: Comparación de la eliminación de smear layer entre los diferentes grupos de estudio.

## 8 DISCUSION

Hay pocos autores que han utilizado MFA para observar la topografía superficial de la dentina radicular, y coincidimos otros autores que es de gran ayuda ya que permite realizar escaneos repetitivos de una misma muestra además que las características de la superficie del área examinada pueden determinarse cuantitativamente con alta precisión matemática (77,78)

Nuestros resultados en relación con la rugosidad dentinaria provocada por los acondicionantes dentinarios coinciden con los descrito por Tsenova-Ilieva y cols (2022) que mencionan que todos los irrigantes probados aumentaron la rugosidad de la dentina radicular observado en MFA (72).

En nuestro estudio se observó que el EDTA al 17% con o sin activación ultrasónica por su efecto quelante fue la sustancia que mas rugosidad provoco en la dentina al igual que la investigación realizada por Tartari y cols (2013) (79).

Contrastando con lo también mencionado por Tsenova-Ilieva y cols. (2022) no obtuvimos resultados significativos que el uso de activación ultrasónica con los acondicionantes dentinarios aumente la rugosidad que estos provocan en la dentina radicular (72).

Otro punto para considerar en nuestra investigación es la eliminación de smear layer, teniendo resultados que el ácido fosfórico al 37% fue quien mejor elimino la capa de

smear layer de los túbulos dentinarios evaluados por medio de MEB y que coinciden con Prado y cols. (2011) (80).

Además también nuestros resultados coinciden con varios autores obteniendo que el EDTA 17% el cual tiene buenos resultados eliminando el smear layer los cuales combinados con la activación ultrasónica mejora considerablemente siendo incluso mejor que el ácido fosfórico al 37% (41,75,81)

También Yamada y cols. mencionan que no está establecido el tiempo de contacto óptimo que se debe mantener una solución irrigante en los conductos radiculares para la eliminación del smear layer sugirieron que 1min de EDTA es suficiente, coincidiendo con el tiempo que se usó en nuestro estudio, sin embargo otros autores recomiendan hasta 15min para obtener resultados óptimos (82).

Al contrario a lo mencionado anteriormente otros autores llegaron a la conclusión que la activación ultrasónica de los irrigantes no aumentaba la eliminación del smear layer (83,84)

## 9 CONCLUSION

En relación con la rugosidad dentinaria que provocaron los acondicionantes concluimos que el EDTA es el que mas afecta la superficie dentinaria, muy por encima de ácido fosfórico y que el uso de activación ultrasónica no afecta en estos resultados.

Hablando de la eliminación de smear layer los grupos 1 y 3 tuvieron resultados muy parecidos y muy por encima del grupo 2 y del grupo control. Con lo que concluimos que el ácido fosfórico al 37% es el acondicionante que más elimina el smear layer, pero que el EDTA con la ayuda de la activación ultrasónica supera al ácido fosfórico al 37%.

## 10 BIBLIOGRAFIA

1. Ivancik J, Arola DD. The importance of microstructural variations on the fracture toughness of human dentin. *Biomaterials*. 2013;34(4):864–74.
2. Garberoglio R, Becce C, Genova S. ENDODONTICS Editor: Samuel Seltzer Smear layler removal by root canal irrigants A comparative scanning electron microscopic study. Vol. 78. 1994.
3. Fuentes Fuentes M V. Propiedades mecánicas de la dentina humana. *Av Odontoestomatol*. 2004;20(2):79–83.
4. Atesci AA, Avci CB, Tuglu MI, Ozates Ay NP, Eronat AC. Effect of Different Dentin Conditioning Agents on Growth Factor Release, Mesenchymal Stem Cell Attachment and Morphology. *J Endod* [Internet]. 2020;46(2):200–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.10.033>
5. Cohen S, Hargraeves K. *Vias de la Pulpa*. ISBN. 2011. 1082 p.
6. Abu Zeid S, Bastawy H, Mokeem Saleh A. Natural extracts as biological smear layer removing agents: A literature review. Vol. 11, *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*. Wolters Kluwer (UK) Ltd.; 2021. p. 589–600.
7. Gómez de Ferraris CM. *Histología y embriología bucodental*. Editor Médica Panam. 2002;2da Edició:482.
8. Ivica A, Zehnder M, Mateos JM, Ghayor C, Weber FE. Biomimetic Conditioning of Human Dentin Using Citric Acid. *J Endod*. 2019;45(1):45–50.
9. Journal DM, July R, October A. Calculation of Bonding Models for Average Stress and Plastic Area in Dentine Bonding Systems Deformation Zone Size Kunio WAKASA , Masao YAMAKI and Akira MATSUI1 Department of Dental Materials , Hiroshima University School of Dentistry , Kasumi 1 chome , M. 1995;14(2).
10. de Ferraris MEG, Muñoz AC. *Histologia, Embriologia E Ingenieria Tisular* [Internet]. Editorial Médica Panamericana; 2009. Available from: <https://books.google.com.mx/books?id=->

11. Chiego D. Histología y Embriología. 2014. 253 p.
12. Tobon D. Fundamentos de odontología. Manual básico de endodoncia. Vol. 1 ed, Corporación para investigaciones biológicas. 2003. p. 7–20.
13. Canalda C, Brau E. Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas. Elsevier. 2019. p. 388.
14. Hepburn B. Rehabilitación posendodóntica.
15. Bassols JMC, Caban J. Reconstrucción de dientes endodonciados [Internet]. Pues; 2005. Available from: <https://books.google.com.mx/books?id=zIB4AAAACAAJ>
16. Meyenberg K. Meyenberg.pdf. Eur J Esthet Dent. 2013;8(2):238–62.
17. MANNOCCI F, BHUVA B, STERN S. Restoring teeth following root canal re-treatment. Endod Top. 2008;19(1):125–52.
18. KISHEN A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. Endod Top. 2006;13(1):57–83.
19. Peroz I, Blankenstein F, Lange K-P, Naumann M. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review. Quintessence Int [Internet]. 2005;36(9):737–46. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16163877>
20. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF. Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: a confocal microscopic study. J Prosthet Dent. 2001 Mar;85(3):284–91.
21. Schwartz RS, Murchison DF, Walker WA 3rd. Effects of eugenol and noneugenol endodontic sealer cements on post retention. J Endod. 1998 Aug;24(8):564–7.
22. Tjan AH, Nemetz H. Effect of eugenol-containing endodontic sealer on retention of prefabricated posts luted with adhesive composite resin cement. Quintessence Int. 1992 Dec;23(12):839–44.

23. Kielbassa AM, Attin T, Hellwig E. Diffusion behavior of eugenol from zinc oxide-eugenol mixtures through human and bovine dentin in vitro. *Oper Dent.* 1997;22(1):15–20.
24. Mayhew JT, Windchy AM, Goldsmith LJ, Gettleman L. Effect of root canal sealers and irrigation agents on retention of preformed posts luted with a resin cement. *J Endod.* 2000 Jun;26(6):341–4.
25. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* 2000 Jul;33(4):340–5.
26. Doğan H, Qalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod.* 2001 Sep;27(9):578–80.
27. Boone KJ, Murchison DF, Schindler WG, Walker WA 3rd. Post retention: the effect of sequence of post-space preparation, cementation time, and different sealers. *J Endod.* 2001 Dec;27(12):768–71.
28. Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Effects of eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod.* 2001 Jun;27(6):411–4.
29. Someya T, Kasahara M, Takemoto S, Hattori M. Retention force of fiber-reinforced composite resin post on resin composite for core buildup -Effects of fiber orientation, silane treatment and thermal cycling. *Dent Mater J.* 2021 Sep;40(5):1264–9.
30. Abuhaimed TS, Neel EAA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. *Biomed Res Int.* 2017;2017.
31. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, et al. State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater [Internet].* 2011;27(1):1–16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.016>
32. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod.* 1984;10(10):477–83.
33. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - A review. *Int Endod J.* 2010;43(1):2–15.

34. Ma R, Liu Z, Zhu C lian. A comparative study of root smear layer removal using different pH EDTA salts. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. 2003;12(3):197–9.
35. Khalighinejad N, Feiz A, Faghihian R, Swift EJ. Effect of dentin conditioning on bond strength of fiber posts and dentin morphology: A review. *Am J Dent*. 2014;27(1):3–6.
36. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2002;94(6):658–66.
37. Aguilar-Mendoza JA, Rosales-Leal JI, Rodriguez-Valverde MA, Cabrerizo-Vilchez MA. Effect of acid etching on dentin wettability and roughness: Self-etching primers versus phosphoric acid. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater*. 2008 Jan;84(1):277–85.
38. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod*. 2006;32(5):389–98.
39. Kara Tuncer A. Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules. *J Endod* [Internet]. 2015;41(2):257–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2014.10.014>
40. Morgental RD, Singh A, Sappal H, Kopper PMP, Vier-Pelisser FV, Peters OA. Dentin inhibits the antibacterial effect of new and conventional endodontic irrigants. *J Endod*. 2013;39(3):406–10.
41. Kandil HE, Labib AH, Alhadainy HA. Effect of different irrigant solutions on microhardness and smear layer removal of root canal dentin. *Tanta Dent J* [Internet]. 2014;11(1):1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tdj.2014.03.001>
42. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: Comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci*. 2004;112(4):353–61.
43. Laser U, Con UEH, Josefina S, Marrugo P, Claudia M, Fernández M, et al. Remoción Del Barrillo Dentinario Durante La Preparación De Diversas Combinaciones . Investigador Principal. 2015;1–90.
44. Antonini Pimenta Cláudia Valéria de Sousa Resende Penido Roberval de Almeida Cruz José Bento Alves in Pedodontics R, Professor - A, Professor A, de Almeida Cruz R. *Pediatric Dentistry*

- Pediatric Dentistry Morphology of the dentin on primary molars after the application of phosphoric acid under different conditions. Vol. 24, Braz Oral Res. 2010.
45. Buchalla W, Lennon ÁM, Becker K, Lucke T, Attin T. Smear layer and surface state affect dentin fluoride uptake. Arch Oral Biol. 2007 Oct;52(10):932–7.
  46. Caba-Paulino CE, Manfredi GGP, Zangrando MSR, Damante CA, Passanezi Sant'Ana AC, Aguiar Greghi SL, et al. The concentration of citric acid as dental root conditioner influences the behavior of fibroblasts from human periodontal ligament. Arch Oral Biol. 2020 Oct 1;118.
  47. Faghihian R, Swift EJ. Comparison of postoperative effect of ondansetron and midazolam on nausea and vomiting for children receiving dental treatment under general anesthesia View project [Internet]. 2014. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/262926992>
  48. Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2019 Aug;107(6):2121–31.
  49. Marending M, Paqué F, Fischer J, Zehnder M. Impact of Irrigant Sequence on Mechanical Properties of Human Root Dentin. J Endod. 2007;33(11):1325–8.
  50. Çalt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. J Endod. 2002;28(1):17–9.
  51. De D, Conservadora O, Bucofacial YP, Reoyo Rodríguez M, Enrique Á, Barbero G, et al. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE ODONTOLOGÍA Influencia del tipo de acondicionamiento de la dentina en el cementado de postes de fibra: estudio mecánico, morfológico y de microfiltración MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA PRESENTADA POR. 2019.
  52. Segura Egea JJ, Jiménez Rubio-Manzanares A, Llamas Cadaval R, Jiménez Planas A. El ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) y su uso en endodoncia. Endodoncia (Mex). 1997;15(2):90–7.
  53. Muana HL, Nassar M, Dargham A, Hiraishi N, Tagami J. Effect of smear layer removal agents on

- the microhardness and roughness of radicular dentin. *Saudi Dent J.* 2021 Nov 1;33(7):661–5.
54. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L<sup>-1</sup> citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J.* 2000 Jan;33(1):46–52.
  55. Saikaew P, Sattabanasuk V, Harnirattisai C, Chowdhury AFMA, Carvalho R, Sano H. Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance. *Jpn Dent Sci Rev.* 2022 Nov;58:59–66.
  56. Dog H. Effects of Chelating Agents and Sodium Hypochlorite on Mineral Content of Root Dentin. 2001;9–11.
  57. 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 May;41(5):418–23.
  58. Osorio R, Yamauti M, Osorio E, Ruiz-Requena ME, Pashley D, Tay F, et al. Effect of dentin etching and chlorhexidine application on metalloproteinase-mediated collagen degradation. *Eur J Oral Sci.* 2011;119(1):79–85.
  59. Kalantar Motamedi MR, Mortaheb A, Zare Jahromi M, Gilbert BE. Micro-CT Evaluation of Four Root Canal Obturation Techniques. *Scanning.* 2021;2021:6632822.
  60. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J.* 2022 May;55 Suppl 3(Suppl 3):588–612.
  61. Yang R, Han Y, Liu Z, Xu Z, Liu H, Wei X. Comparison of the efficacy of laser-activated and ultrasonic-activated techniques for the removal of tricalcium silicate-based sealers and gutta-percha in root canal retreatment: a microtomography and scanning electron microscopy study. *BMC Oral Health.* 2021 May;21(1):275.
  62. Padoin K, Bohrer TC, Ceolin LG, Bier CAS, Rosa RA da, Morgental RD. Does ultrasonic activation improve the bond strength and root canal filling quality of endodontic sealers? *Braz Dent J.* 2022;33(3):28–37.
  63. Liu C, Li Q, Yue L, Zou X. Evaluation of sonic, ultrasonic, and laser irrigation activation systems

to eliminate bacteria from the dentinal tubules of the root canal system. *J Appl Oral Sci.* 2022;30:e20220199.

64. Arul B, Suresh N, Sivarajan R, Natanasabapathy V. Influence of volume of endodontic irrigants used in different irrigation techniques on root canal dentin microhardness. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 2021;32(2):230–5.
65. García A, Kikut Cruz K. Microscopía de fuerza atómica como herramienta en la investigación de asfaltos. *Infraestruct Vial.* 2020;22(40):20–7.
66. Fernández MPC. Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) [Internet]. Universidad de Burgos. 2023. Available from: <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-de-fuerza-atmica-afm>
67. López Jiménez L. Aplicaciones de la microscopia de fuerza atómica en la investigación odontológica [Internet]. Universitat de Barcelona. Universitat de Barcelona; 2014. Available from: <http://www.tdx.cat/handle/10803/290987>
68. Fischer ER, Hansen BT, Nair V, Hoyt FH, Dorward DW. Scanning electron microscopy. *Curr Protoc Microbiol.* 2012 May;Chapter 2:Unit 2B.2.
69. Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Monticelli F, Goracci C, Ferrari M. Ultrasound Effects after Post Space Preparation: An SEM Study. *J Endod.* 2006;32(6):549–52.
70. Valenzuela Martínez LA. Aplicación del microscopio electrónico de barrido en endodoncia. Universidad de Guadalajara; 2014.
71. Fernández MPC. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) [Internet]. Universidad de Burgos. 2020. Available from: <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido-meb#:~:text=El Microscopio electrónico de barrido,gran parte de la muestra.>
72. Tsenova-Ilieva I, Simeonova S, Karova E. Atomic force microscopy study on the effect of different irrigation regimens on the surface roughness of human root canal dentin. *Niger J Clin Pract.* 2022 Mar;25(3):261–6.

73. De-Deus G, Paciornik S, Pinho Mauricio MH, Prioli R. Real-time atomic force microscopy of root dentine during demineralization when subjected to chelating agents. *Int Endod J*. 2006;39(9):683–92.
74. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson W Ben, Bozhilov K, et al. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod*. 2003 Mar;29(3):170–5.
75. Martinelli S, Strehl A, Mesa M. Soluciones de EDTA y ácido cítrico en la remoción del barro dentinario. *Acta odontol venez*. 2012;52–63.
76. Prado M, Gusman H, Gomes BPFA, Simão RA. Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod*. 2011 Feb;37(2):255–8.
77. Hu X, Ling J, Gao Y. Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness. *J Endod*. 2010 Jun;36(6):1064–7.
78. Tsenova-Ilieva I, Karova E. Application of Atomic Force Microscopy in Dental Investigations. *Int J Sci Res*. 2020;9:1319–26.
79. Tartari T, Duarte Junior AP, Silva Júnior JOC, Klautau EB, Silva E Souza Junior MH, Silva E Souza Junior P de AR. Etidronate from medicine to endodontics: effects of different irrigation regimes on root dentin roughness. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(5):409–15.
80. Prado M, Gusman H, Gomes BPFA, Simão RA. Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod*. 2011 Feb;37(2):255–8.
81. Diaz-Amanca EL, Velásquez-Huamán Z. ¿Representará alguna mejora el uso del ultrasonido en la remoción del barrillo dentinario? *Rev Estomatológica Hered*. 2014;22(3):179.
82. 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(4):137–42.
83. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Schuller C, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *Int Endod J*.

2022 Aug;52(8):1210–7.

84. 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 Jul;35(7):582–9.