

Endodoncia

A C T U A L



Análisis bioinformático
y proteómico de los
mecanismos adaptativos
del *Enterococcus faecalis*
a nanopartículas de plata
y su posible papel en la
resistencia cruzada a
antibióticos e irrigantes
endodónticos

Eficacia de dos protocolos de
limpieza en la eliminación de
cementos biocerámicos y AH
Plus: análisis por micro-CT

Estudio comparativo de las
propiedades fisicoquímicas y
térmicas de las gutaperchas
TotalFill BC Points®, Hygenic
Coltene® y ZenFlex Kerr™

\$150.00 M.N.
\$ 18.00 USD

ISSN 1870-5855
www.latindex.com
www.imbiomed.com

TU RUTINA DIARIA MERECE UN **CUIDADO EXPERTO**





1) Pasta Original White Ayuda a eliminar manchas de forma eficaz y fortalecer los dientes. **2) Pasta Sensivital+** Manejo y cuidado de la hipersensibilidad dentinaria en solo 3 días. **3) Pasta Anticaries** Pasta con 1000 ppm de flúor ayuda a prevenir la caries.

NUEVA IMAGEN MISMA FÓRMULA

3) Pasta PAROEX® Prevención, tratamiento y control de la enfermedad periodontal. Con **CLORHEXIDINA 0.12% ó 0.06%.**



Perla Acevedo

PRESIDENTA

Idalia Rodríguez

VICEPRESIDENTE

Janeth Murillo

SECRETARIO PROPIETARIO

Elma Vega

SECRETARIO PROPIETARIO

Eduardo Aseff

SECRETARIO SUPLENTE

Enrique Chagollán

SECRETARIO SUPLENTE

Verónica Díaz

TESORERA

Larissa Zavala

PROTESORERA

FUNDADOR Y EDITOR HONORARIO

C.D.E.E. José Luis Jácome Musule†

EDITOR

Dr. Marco A. Ramírez Salomón

editoresamecee@gmail.com

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Gabriel Alvarado Cárdenas

Dr. María Eugenia López Villanueva

Dra. Elma María Vega Lizama

C.D.E.E. Ana Luisa Herrera Ojeda

CONSEJO EDITORIAL

C.D.E.E. Germán Valle Amaya

C.D.E.E. Eugenio Moreno Silva

Dr. Luis R. García Aranda

C.D.E.E. Enrique Padilla Gutiérrez

DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA AMECEC

Torres Adalid #205, int. 103. Col. Del Valle,

Alc. Benito Juárez. C.P. 03100, México, CDMX

Tel.: 55-55-43-75-85

Correo-e: editoresamecee@gmail.com

Directorio

DIRECTOR GENERAL

Édgar Molina Miranda

DIRECTOR CREATIVO

Ricardo Hernández Soto

DIRECTOR DE OPERACIONES

Leonor Martínez

EDITOR FUNDADOR

Lic. Juan Manuel Robles†

DIRECTOR EDITORIAL

Malinali Galván Rodríguez

DIRECTOR COMERCIAL

José Javier Canseco

javier@odontologiaactual.com

NEWSLETTER

Jacqueline Menchaca Dávila

GERENTE ADMINISTRATIVO

Maricarmen Ata

CONTABILIDAD

Rubén Chávez

Endodoncia Actual. Año. 21. Núm. 2. Julio 2026. Es una revista cuatrimestral editada por Editorial Digital, S.A. de C.V. Boulevard A. López Mateos núm. 1384, 1er. piso, Col. Santa María Nonoalco, C.P. 03910. Tels. 5611 2666/ 5615 3688. CDMX. Editor responsable: Édgar Molina Miranda. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2004-o71515352800-102. ISSN:1870-5855. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Permiso SEPOMEX: PP091134. Licitud de Título y Contenido otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación en trámite. El contenido de los artículos y ensayos publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la postura de los editores. La editorial se reserva el derecho de hacer los cambios que considere necesarios para sus fines de publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio impreso o electrónico del contenido sin previa autorización por parte de los editores. Suscripción anual \$400.00. Suscripción para el extranjero USD 125.00. Precio de venta al público \$150.00.

www.odontologiaactual.com

Endodoncia Actual está indizada en IMBIOMED y LATINDEX, su versión a texto completo se encuentra en:

www.imbiomed.com

Mensaje del presidente de la AMECEC



Estimados socios, representantes de nuestras filiales y apreciada comunidad endodóntica:

El pasado 29 de mayo tuve el alto honor de rendir protesta como Presidente de la Mesa Directiva AMECEC 2026-2028, asumiendo con profundo compromiso la responsabilidad de conducir a nuestra Asociación durante los próximos dos años. Agradezco la confianza depositada en esta Mesa Directiva, la cual trabajará con responsabilidad, transparencia y un firme compromiso con el fortalecimiento académico, científico e institucional de nuestra organización.

Este es también un momento oportuno para expresar mi más sincero reconocimiento al Dr. Jaime Gonzalo Barahona Baduy y a los integrantes de la Mesa Directiva 2024-2026, quienes, con liderazgo, dedicación y visión institucional, realizaron un trabajo ejemplar durante su bienio. Gracias a su esfuerzo, hoy recibimos una Asociación fortalecida, con importantes proyectos consolidados y con bases firmes para continuar creciendo. A nombre de la AMECEC, reciban nuestra felicitación y gratitud por su valiosa contribución al desarrollo de la Endodoncia mexicana.

Con la misma convicción, hemos iniciado y los preparativos del **LV Congreso Nacional de Endodoncia AMECEC**, que se celebrará del **26 al 29 de mayo de 2027** en el **Centro Internacional de Convenciones de Puerto Vallarta, Jalisco**. Este encuentro tendrá un significado muy especial, pues celebra-

remos **55 años de trabajo continuo**, distinguidos por la seriedad institucional, la excelencia académica y el compromiso permanente con el avance científico de nuestra especialidad. Será una ocasión para reunir nuevamente a la comunidad endodóntica nacional e internacional y refrendar el prestigio que nuestra Asociación ha construido a lo largo de más de cinco décadas.

La educación continua seguirá siendo uno de los pilares de esta administración. Por ello, además de invitarlos desde ahora a formar parte de nuestro Congreso Nacional, los exhorto a participar activamente en las conferencias académicas del programa SAVE, que se llevan a cabo cada segundo martes de mes. Estos espacios representan una valiosa oportunidad para mantenernos actualizados, compartir experiencias y fortalecer nuestra práctica clínica mediante el intercambio del conocimiento científico más reciente.

Sin embargo, ninguna asociación crece únicamente a través de sus actividades académicas. Su verdadera fortaleza reside en las personas que la conforman. Por ello, uno de los principales objetivos de esta Presidencia será fortalecer el vínculo con nuestras filiales y con cada uno de nuestros socios activos. Deseamos escuchar sus ideas, conocer sus inquietudes y construir, juntos, nuevos proyectos que beneficien a toda la comunidad endodóntica.

Las puertas de la AMECEC permanecerán abiertas para quienes deseen participar activamente en la vida institucional de nuestra Asociación. Aspiramos a integrar progresivamente a más socios en comités, comisiones y futuras mesas directivas, convencidos de que las instituciones se fortalecen cuando forman nuevos líderes y generan oportunidades para servir.

Uno de los retos más importantes de esta gestión será acercar generaciones. La experiencia de quienes han construido la historia de la AMECEC constituye un patrimonio invaluable; al mismo tiempo, la visión, la creatividad y el entusiasmo de las nuevas generaciones representan el impulso que dará forma a nuestro futuro. Nuestro compromiso es disminuir la brecha generacional, promover el respeto mutuo y encontrar el equilibrio que permita conservar nuestras raíces mientras impulsamos nuevas ideas, nuevas formas de participación y una renovación institucional permanente.

"Las instituciones trascienden cuando son capaces de honrar su historia, fortalecer su presente y preparar a quienes habrán de conducir su futuro. Ese será el compromiso de esta Presidencia con la AMECEC y con cada uno de sus socios."

Reciban un cordial saludo y mi más sincero agradecimiento por la confianza, el compromiso y el orgullo de pertenecer a esta gran Asociación.

Perla Acevedo

CDEE. Perla Noemí Acevedo Rivera

PRESIDENTE

Asociación Mexicana de Endodoncia, Colegio de Especialistas en Endodoncia, A.C.

Mesa Directiva 2026-2028

Contenido

4

CONSEJO DIRECTIVO 2024 – 2026

12

Análisis bioinformático y proteómico de los mecanismos adaptativos del *Enterococcus faecalis* a nanopartículas de plata y su posible papel en la resistencia cruzada a antibióticos e irrigantes endodónticos

Oscar Lozano González, Marco Felipe Salas Orozco, Idania de Alba Montero, Facundo Ruiz, Nuria Patiño Marín

24

Eficacia de dos protocolos de limpieza en la eliminación de cementos biocerámicos y AH Plus: análisis por micro-CT

José Diego Castro-García, Ángel Rodrigo Vargas-López, María Verónica Méndez-González, Dante Arteaga-Martínez, José Arturo Garrocho-Rangel

32

Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de las gutaperchas TotalFill BC Points®, Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™

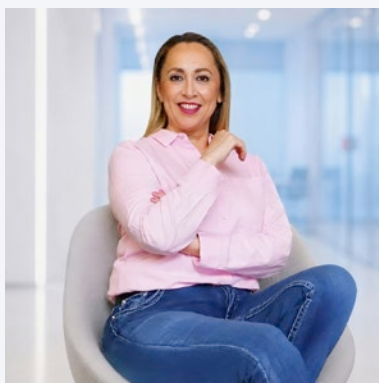
Rebeca Mejía Haro, Valeria Rangel Fernández, María Verónica, Méndez González, Karla Patricia Navarrete Olvera, Vladimir Alonso, Escobar Barrios, Mariana Gutiérrez Sánchez

40

Recubrimiento pulpar directo con Biodentine en incisivo central permanente joven: reporte de caso clínico

Yoela Ludivina García Llanes, Claudia Lisette Saavedra-Martínez, Dulce Martha Fuchen-Ramos.

CONSEJO DIRECTIVO 2024 – 2026



PERLA ACEVEDO

Presidenta



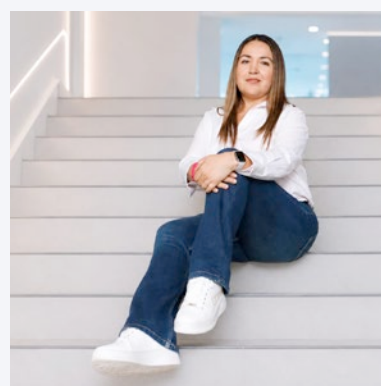
IDALIA RODRÍGUEZ

Vicepresidente



JANETH MURILLO

Secretario Propietario



ELMA VEGA

Secretario Propietario



EDUARDO ASEFF

Secretario Suplente



ENRIQUE CHAGOLLÁN

Secretario Suplente



VERÓNICA DÍAZ

Tesorera



LARISSA ZAVALA

Protesorera



**PUERTO
VALLARTA
2027**

LV CONGRESO ASOCIACIÓN MEXICANA DE ENDODONCIA 2027

*Ciencia que transforma,
experiencias que inspiran.*



PAQUETE CONGRESISTA INCLUYE



HABITACIÓN
CON DESAYUNO
BUFFET
INCLUIDO



TRANSPORTE
DE HOTEL SEDE
A CENTRO DE
CONVENCIONES



4 DÍAS
DE CONGRESO



INCLUYE
REFRIGERIO
EJECUTIVO



EVENTOS
SOCIALES



PARTICIPACIÓN
EN LA RIFA DE UN
MICROSCOPIO
MINI DELFÍN
DE FANTA



CONGELA **HOY** TU PRECIO
APARTA TU LUGAR CON SOLO

\$2,000 PESOS



Y EL RESTO EN
9 CÓMODAS
MENSUALIDADES



EXPO COMERCIAL

Conoce las últimas innovaciones,
tecnología y productos del sector dental.



HOTEL SEDE:
SHERATON BUGANVILIAS



ACTUALIZACIÓN
CIENTÍFICA DE
PRIMER NIVEL



NETWORKING
CON COLEGAS
DE TODO MÉXICO



PLAYA, CULTURA
Y LA MAGIA DE
PUERTO VALLARTA



CONVIVENCIA Y
EXPERIENCIAS
INOLVIDABLES



INSCRIPCIÓN Y PAGO AQUÍ
¡Asegura tu lugar desde hoy!



26 - 29 DE MAYO



CENTRO INTERNACIONAL
DE CONVENCIONES DE PUERTO VALLARTA

EL EVENTO MÁS IMPORTANTE DE ENDODONCIA

DR. ISAAC KABLY

DRA. EDEL ELIM DE LA FUENTE

DR. RAJIV G. PATEL



ENDOBAJA — 2026 —



SEPTIEMBRE

3 Y 4



ENSENADA

BAJA CALIFORNIA

HOTEL CORAL Y MARINA

ELEVANDO LA EXCELENCIA EN ENDODONCIA

www.cebc.org.mx





ENDOBAJA — 2026 —

HOSPEDAJE

	TARIFA REGULAR SIN IMPUESTOS	TARIFA ESPECIAL DE GRUPO SIN IMPUESTOS	TARIFA ESPECIAL DE GRUPO CON IMPUESTOS	TARIFA ESPECIAL DE GRUPO C/ DESAYUNO INCLUIDO P/2 PERS. CON IMPUESTOS
HABITACION ESTÁNDAR (2 CAMAS FULL)	\$ 316.00	\$ 140.00	\$ 158.20	\$ 188.20
JUNIOR SUITE (1 CAMA KING)	\$ 316.00	\$ 140.00	\$ 158.20	\$ 188.20
HABITACION ESTÁNDAR HANDICAP (2 CAMAS FULL)	\$ 328.00	\$ 145.00	\$ 163.85	\$ 193.85

 **SEPTIEMBRE
3 Y 4**  **ENSENADA**
BAJA CALIFORNIA
HOTEL CORAL Y MARINA

TARIFA VÁLIDA HASTA EL 5 DE JULIO 2026

www.cebc.org.mx 



ENDOBAJA — 2026 —

COSTOS

ESTUDIANTES	\$ 5,000
DOCENTES	\$ 5,500
SOCIOS CEBC	\$ 5,100
NO SOCIOS	\$ 6,000

 **SEPTIEMBRE
3 Y 4**  **ENSENADA**
BAJA CALIFORNIA
HOTEL CORAL Y MARINA

APARTA TU LUGAR

www.cebc.org.mx 







1 y 2 DE OCTUBRE SALÓN MONDÄN

PREVENTA

COSTOS

*HASTA EL 31 DE JULIO

SOCIOS AMECE - ADM	\$1800
NO SOCIOS	\$2200
ESTUDIANTES DE POSGRADO	\$1800
ESTUDIANTES LICENCIATURA	\$500

CONFERENCISTA
DR. SILVERIO JAFET VÁZQUEZ ALCARAZ


CONFERENCISTA
DR. JOHN TORRES NAVARRO


CONFERENCISTA
DRA. MERCEDES ELIZABETH ALEGRIA MUNDO


Transferencias:
CLABE: 014190655093501045
a nombre de Colegio de Endodoncia de Durango
Pago con tarjeta de crédito a **3 MSI**

Para pago en OXXO / Santander:
5579 0890 0390 7485

5

CONGRESO INTERNACIONAL DE ENDODONCIA DURANGO 2026 - 1 y 2 DE OCTUBRE

MAYOR INFORMACIÓN
618 144 97 68

  **Colegio de Endodoncia de Durango**

 **Vitesa**
 **imax**
 **FANTA**
 **Dentsply Sirona**
 **VIARDEN LAB**
 **Kerr**

 **MedUnion**
 **Odontología**
 **Promovago**
 **ZARC**

CONGRESO — INTERNACIONAL — DE ENDODONCIA

8 · 9 · 10 | OCTUBRE 2026 | MORELIA · MÉXICO



Hugo
Muñoz



GUATEMALA

Juan
Goncalves



VENEZUELA

Renato de Toledo
Leonardo



BRASIL

Juan Carlos
Paz



MÉXICO




GRAND CANTALAGUA
HOTEL
MORELIA

PROMOCIÓN VÁLIDA HASTA
EL 15 DE AGOSTO

\$2,999
— PESOS —

PATROCINADORES OFICIALES

odontum



ALODENT
Duponit Dental

MedUnion
SUPPLY

**Dentsply
Sirona**



ZARC



DEPÓSITO BANCARIO A NOMBRE:

Colegio de Endodoncistas
de Michoacán A.C.

Banco: Santander

Número de cuenta: 655 0949 6022

Clave Interbancaria: 0144 7065 5094 9602 24

Sucursal: 7850



INFORMES E INSCRIPCIONES AL WHATSAPP

Hugo Trujillo
4433 0220 12



TAMBIÉN CUALQUIER SOCIO
ACTIVO PUEDE INSCRIBIRTE



COLEGIO DE
ENDODONCISTAS
de Michoacán A.C.

CEMAC

CONGRESO INTERNACIONAL DE ENDODONCIA

8 • 9 • 10 OCTUBRE 2026

MORELIA • MEXICO



GRAND CANTALAGUA
HOTEL
MORELIA



JUEVES 8

MAÑANA ☀️
09:00 – 11:00



Hugo
Muñoz
GUATEMALA

11:00 – 11:30 **Acto**
11:30 – 12:00 **Receso** ☕

12:00 – 13:45
Hugo
Muñoz
GUATEMALA

13:45 – 15:45 **Receso** ☕

TARDE 🌅

15:45 – 17:45
Renato de Toledo
Leonardo
BRASIL

17:45 – 18:15 **Receso** ☕

18:15 – 20:00
Renato de Toledo
Leonardo
BRASIL



COCKTAIL DE BIENVENIDA

VIERNES 9

MAÑANA ☀️
09:30 – 11:30



Juan
Gonçalves
VENEZUELA

11:30 – 12:00 **Receso** ☕

12:00 – 13:45
Juan
Gonçalves
VENEZUELA

13:45 – 15:45 **Receso** ☕

TARDE 🌅

15:45 – 17:45 **FORO DE DISCUSIÓN** 🗣️

17:45 – 18:15 **Receso** ☕

18:15 – 20:00 **FORO DE DISCUSIÓN** 🗣️



CENA BAILE

SÁBADO 10

MAÑANA ☀️
09:30 – 11:30



Juan Carlos
Paz
MÉXICO

11:30 – 12:00 **Receso** ☕

12:00 – 13:45
Juan Carlos
Paz
MÉXICO

13:45 – 15:45 **Receso** ☕

Reuniendo a los expertos en
Endodoncia
en un espacio de conocimiento,
innovación y excelencia clínica

Informes:
4433022012



CONSTANCIA
DE ASISTENCIA



COCKTAIL
DE BIENVENIDA



CENA
BAILE



COFFEE
BREAK

Temática del Programa Académico



Hugo
Muñoz
GUATEMALA

“De la Biología a la Clínica”

Lo que la pulpa y el ligamento
nos dicen y a veces no entendemos.



Renato de Toledo
Leonardo
BRASIL

“Endodoncia Disruptiva”



Juan
Gonçalves
VENEZUELA

“Terapia Pulpal Vital, la Frontera entre la Restauradora y la Endodoncia”

“Manejo de Accidentes durante el Abordaje Endodóntico”



Juan Carlos
Paz
MÉXICO

“Diagnóstico y Tratamiento del Diente Estructuralmente Comprometido”

“Caries Profunda, Diagnóstico y Tratamiento”



GRAND CANTALAGUA
HOTEL
MORELIA

FRENTE AL CENTRO DE CONVENCIONES (CECONEXPO)

CONGRESO INTERNACIONAL DE ENDODONCIA

8 • 9 • 10 OCTUBRE 2026
MORELIA • MÉXICO



COLEGIO DE
ENDODONCISTAS
de Michoacán A.C.

TARIFA PREFERENCIAL

CÓDIGO DE RESERVA:
CEMAC2026

HABITACIÓN ESTÁNDAR



SENCILLA Y DOBLE
\$1,490.00

PERSONA EXTRA
\$250.00

HABITACIÓN PISO PLUS



SENCILLA Y DOBLE
\$1,790.00

PERSONA EXTRA
\$250.00

TARIFA POR NOCHE, INCLUYE IMPUESTOS.
NO INCLUYE ALIMENTOS. APLICAN RESTRICCIONES.



CONTÁCTANOS
(443) 186 4399



email. reservaciones@grandcantalagua.com



SERVICIOS E INSTALACIONES:

- ESTACIONAMIENTO CON COSTO
- ALBERCA
- GIMNASIO NUEVAS INSTALACIONES SIN COSTO
- RESTAURANTE
- TERRAZA PIZZA Y VINO
- BAR
- ROOM SERVICES LAS 24 HRS
- SERVICIO DE LAVANDERÍA
- JARDINES
- CANCHAS DE TENIS

GRAND CANTALAGUA HOTEL MORELIA

Av. Ventura Puente Esq. Av. Camelinas, Centro
de Convenciones, Col. Félix Ireta, 58070, Morelia, Mich.
www.grandcantalagua.com



44 33 02 20 12

EL HOTEL QUE LO TIENE TODO



**LA ASOCIACIÓN JALISCIENSE
DE ENDODONCIA**

TE INVITA A PARTICIPAR EN EL

SEGUNDO CONCURSO DE VIDEO CLÍNICO

DENTRO DEL MARCO DE LA

XLII REUNIÓN REGIONAL DE ENDODONCIA

**23 Y 24 OCTUBRE 2026
GUADALAJARA**

**¡NO PIERDAS LA OPORTUNIDAD
DE COMPARTIR TU EXPERIENCIA
EN UN FORO TAN IMPORTANTE!**

CONSULTA LAS BASES



XLII REUNIÓN REGIONAL DE ENDODONCIA

**23 Y 24 OCTUBRE 2026
GUADALAJARA**



**DR. ALBERTO
DÍAZ TUEME**

**DRA. NESSRIN
TAHA**

**DR. GUILLAUME
JOUANNY**

**HASTA EL
26 DE SEPTIEMBRE:**

**ODONTÓLOGO: \$5,000
ESTUDIANTE: \$4,600**

**DÍA DEL EVENTO:
GENERAL: \$6,000**



AJENDODONCIA23



**ASOCIACIÓN
JALISCIENSE DE
ENDODONCIA**



**HOTEL FIESTA
AMERICANA GRAND**

**DESPUÉS DEL
26 DE SEPTIEMBRE:**

**ODONTÓLOGO: \$5,500
ESTUDIANTE: \$5,000**

**¡ESCANEA PARA REGISTRARTE
E INSCRIBIRTE!**



Pantalla Táctil

**Corix® 70 Plus
Touch Screen***

Le ofrece
todo lo que
Ud. necesita para un
Óptimo Radiodiagnóstico
Intra-Oral, con la
Mayor Seguridad Radiológica



¿Seguridad Radiológica?

Si la Seguridad Radiológica,
como Operador de un equipo de Rayos-X,
es algo que desconoce o no le preocupa,
es mejor que lea en: www.corix.us
todos los detalles.



Corix® 70 Digital V3
Obtener imágenes
Radiográficas Intra-Orales
en un corto tiempo y con la
menor dosis de radiación
Ahora es posible!!!



***¡Calidad y
Economía!***

Los equipos
Corix® 70 Junior*
Le ofrecen:
Calidad, Economía y
Seguridad Radiológica



Lauro Villar No. 94-B, 02440, México, CDMX
Tels: +52 55 5394 1192 • +52 55 5394 1199
☎ 56 2571 9826 www.corix.us
🌐 <http://www.facebook.com/CORAMEXSA>
✉ sales@corix.us • repre.ventas@corix.us



* Disponible en versión de:
Pared (WM) y
Base Movil (MM)

Análisis bioinformático y proteómico de los mecanismos adaptativos del *Enterococcus faecalis* a nanopartículas de plata y su posible papel en la resistencia cruzada a antibióticos e irrigantes endodónticos

Bioinformatic and proteomic analysis of the adaptive mechanisms of *Enterococcus faecalis* to silver nanoparticles and their possible role in cross-resistance to antibiotics and endodontic irrigants

MEEE Óscar Lozano González

Facultad de Estomatología, doctorado en Ciencias Odontológicas,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

PhD Marco Felipe Salas Orozco

Facultad de Estomatología, doctorado en Ciencias Odontológicas,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

PhD Idania de Alba Montero

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

PhD Facundo Ruiz

Facultad de Estomatología, doctorado en Ciencias Odontológicas,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

PhD Nuria Patiño Marín

Facultad de Estomatología, doctorado en Ciencias Odontológicas,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Introducción

La persistencia bacteriana dentro del sistema de conductos radiculares representa uno de los principales factores asociados al fracaso del tratamiento endodóntico. Entre los microorganismos implicados, el *Enterococcus faecalis* ha sido identificado con frecuencia en infecciones endodónticas persistentes y en retratamientos endodónticos (1,2). Esta bacteria posee una notable capacidad para sobrevivir en ambientes adversos, incluyendo condiciones de alta alcalinidad, escasez nutricional y exposición a agentes antimicrobianos utilizados durante la desinfección del conducto radicular (1,3). Dichas características le permiten persistir en los túbulos dentinarios y formar biopelículas resistentes a los procedimientos de irrigación y medicación intracanal (4).

Las nanopartículas de plata han sido ampliamente investigadas como agentes antimicrobianos potenciales en odontología y endodoncia debido a su actividad bactericida de amplio espectro (5). Su mecanismo de acción incluye la generación de especies reactivas de oxígeno, la alteración de la membrana celular bacteriana y la interferencia con procesos metabólicos esenciales (6). Debido a estas propiedades, las nanopartículas de plata han sido propuestas como aditivos en irrigantes endodónticos, materiales de obturación y sistemas de liberación antimicrobiana (7,8).

No obstante, estudios recientes sugieren que las bacterias pueden desarrollar mecanismos adaptativos frente a nanopartículas metálicas tras exposiciones repetidas o subletales. Estos mecanismos pueden incluir la activación de bombas de eflujo multidroga, modificaciones en la envoltura celular, respuestas al estrés oxidativo y reorganización metabólica (9,10). Además, se ha reportado recientemente que la exposición a nanopartículas metálicas podría inducir resistencia cruzada a antibióticos y desinfectantes utilizados clínicamente (11–13).

Entre los mecanismos bacterianos asociados con esta resistencia cruzada destacan los sistemas de eflujo multidroga. Estas bombas de transporte transmembranal permiten la expulsión activa de compuestos tóxicos desde el interior celular hacia el exterior, reduciendo así la concentración intracelular de agentes antimicrobianos. Las bombas de eflujo pertenecen principalmente a las familias ABC (ATP-binding cassette), MFS (major facilitator superfamily), MATE (multidrug and toxic compound extrusion) y SMR (small multidrug resistance), y pueden transportar una amplia variedad de sustratos, incluyendo antibióticos, desinfectantes y compuestos metálicos (14). En *E. faecalis*, diversos sistemas de eflujo han sido descritos como determinantes clave en su capacidad para tolerar múltiples antimicrobianos y persistir en infecciones crónicas (15).

Resumen

El objetivo del presente estudio fue caracterizar los mecanismos adaptativos del *E. faecalis* frente a nanopartículas de plata (AgNPs) y evaluar su relación con la resistencia cruzada a antibióticos e irrigantes endodónticos. Se realizó un estudio mixto que incluyó un análisis bioinformático de 168 genomas clínicos humanos obtenidos de BV-BRC, así como un componente experimental in vitro y un análisis proteómico. El resistoma de sistemas de flujo fue identificado mediante anotación funcional y análisis de homología contra bases de datos especializadas. Experimentalmente, se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) y bactericida (CMB) antes y después de la inducción de resistencia mediante exposición progresiva a AgNPs. Asimismo, se evaluó la resistencia cruzada frente a amoxicilina, amoxicilina/ácido clavulánico, hipoclorito de sodio y clorhexidina.

Los resultados mostraron la presencia de un resistoma central altamente conservado, compuesto principalmente por sistemas de flujo multidroga y transportadores de metales. Tras la exposición a AgNPs, se observó un incremento en los valores de CMI y CMB, así como una mayor tolerancia a los antimicrobianos evaluados. El análisis proteómico evidenció un aumento en proteínas relacionadas con transporte, detoxificación de metales, estrés oxidativo, reparación del ADN y modificaciones estructurales celulares.

Estos hallazgos sugieren que la exposición a nanopartículas de plata puede inducir una respuesta adaptativa compleja en *E. faecalis*, favoreciendo un fenómeno de resistencia cruzada mediado por múltiples mecanismos celulares. Este fenómeno podría tener implicaciones clínicas relevantes en la eficacia de los protocolos de desinfección endodóntica.

Palabras clave: *Enterococcus faecalis*, Infecciones endodónticas, Bombas de flujo, Nanopartículas de plata, Resistencia cruzada.

Abstract

The objective of this study was to characterize the adaptive mechanisms of *E. faecalis* against silver nanoparticles (AgNPs) and to evaluate their relationship with cross-resistance to antibiotics and endodontic irrigants. A mixed study was conducted that included a bioinformatic analysis of 168 human clinical genomes obtained from BV-BRC, as well as an in vitro experimental component and a proteomic analysis. The efflux system resistome was identified by functional annotation and homology analysis against specialized databases. Experimentally, the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were determined before and after resistance induction by progressive exposure to AgNPs. Cross-resistance to amoxicillin, amoxicillin/clavulanic acid, sodium hypochlorite, and chlorhexidine was also evaluated.

The results showed the presence of a highly conserved core resistome, composed mainly of multidrug efflux systems and metal transporters. After exposure to AgNPs, an increase in MIC and MBC values was observed, as well as greater tolerance to the antimicrobials tested. Proteomic analysis showed an increase in proteins related to transport, metal detoxification, oxidative stress, DNA repair, and cellular structural modifications.

These findings suggest that exposure to silver nanoparticles may induce a complex adaptive response in *E. faecalis*, favoring a cross-resistance phenomenon mediated by multiple cellular mechanisms. This phenomenon could have relevant clinical implications for the efficacy of endodontic disinfection protocols.

Keywords: *Enterococcus faecalis*, Endodontic infections, Efflux pumps, Silver nanoparticles, Cross-resistance.

Comprender estos mecanismos es fundamental para evaluar el impacto potencial de la exposición crónica a nanopartículas metálicas en la microbiota endodóntica. En este contexto, los análisis genómicos poblacionales combinados con estudios experimentales pueden proporcionar información valiosa sobre la capacidad adaptativa de *E. faecalis* frente a nuevos agentes antimicrobianos.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el resistoma de sistemas de flujo en genomas aislados de muestras humanas de *Enterococcus faecalis* y evaluar la resistencia cruzada a nanopartículas de plata y antimicrobianos comúnmente utilizados en endodoncia.

Materiales y métodos

Selección de genomas

Los genomas de *Enterococcus faecalis* se obtuvieron del Bacterial and Viral Bioinformatics Resource Center (BV-BRC) (16). Inicialmente se identificaron 5,733 genomas. Se aplicaron criterios de inclusión estrictos: (1) genomas completos (excluyendo ensamblajes draft), (2) calidad y anotación estandarizada adecuada dentro de BV-BRC, y (3) aislamiento de origen humano. Tras el filtrado, se incluyeron 168 genomas completos clínicos.

Anotación e identificación de proteínas

La anotación funcional se realizó mediante el pipeline RASTtk integrado en BV-BRC. Las proteínas predichas se asignaron por homología de secuencia comparándolas contra PLFams, PGFams y bases especializadas en resistencia (CARD, NDARO y BacMet). Se consideraron asignaciones confiables aquellas con identidad ≥ 70 %, cobertura ≥ 70 % y E-value $\leq 1e-5$.

Matriz de presencia/ausencia y clasificación del resistoma

Se extrajeron proteínas asociadas a sistemas de flujo relacionados con resistencia a antibióticos, metales y biocidas. Se construyó una matriz binaria (1 = presencia, 0 = ausencia) de 168 genomas $\times$ 12 determinantes: transportadores ABC (LmrCD, EfrAB), MATE (NorM, MATE MDR), MFS (PmrA, MFS MDR transporter, TetL, FexA), SMR (YkkCD), ATPasas metálicas (CadA/ZntA, CopA) y CDF. La prevalencia se calculó como el porcentaje de genomas positivos. Se definió resistoma central (core) como proteínas presentes en ≥ 95 % de los genomas y resistoma accesorio como aquellas con prevalencia entre 5 % y 94 %.

Análisis de co-ocurrencia

La asociación entre proteínas se evaluó mediante el coeficiente Phi (ϕ), calculado a partir de tablas de contingencia 2 $\times$ 2 basadas en presencia/ausencia. El coeficiente varía entre -1 y +1, donde valores positivos indican co-ocurrencia, negativos exclusión y valores cercanos a cero independencia estructural. Los resultados se representaron mediante mapas de calor simétricos con escala de -1 a +1 para visualizar patrones de asociación dentro del resistoma clínico de *E. faecalis*.

Síntesis de nanopartículas de plata

Las nanopartículas de plata (AgNPs) se obtuvieron mediante un método de síntesis verde utilizando extracto acuoso de *Brickellia cavanillesii*. Se preparó el extracto con 10 g de hojas pulverizadas en 200 ml de agua destilada caliente, posteriormente filtrado y conservado a 4 °C. Para la síntesis, se mezclaron 10 ml del extracto vegetal con 100 mL de nitrato de plata 0.01 M. El pH se ajustó a 10–11 con hidróxido de amonio y la solución se agitó magnéticamente durante 30 minutos hasta observar la formación de las nanopartículas.

Caracterización de las AgNPs

La formación de las nanopartículas se confirmó por espectroscopia UV-Vis utilizando un equipo de Ocean Optics Inc. El tamaño hidrodinámico y el potencial zeta se midieron por triplicado con un Zetasizer Nano ZS de Malvern Instruments, a 25 °C. La morfología y tamaño promedio se analizaron por microscopía electrónica de transmisión (TEM) con un equipo de JEOL. El diámetro

medio se calculó midiendo 100 nanopartículas con el software ImageJ.

Determinación de CMI y CMB

La cepa *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 se cultivó en agar selectivo durante 24 h a 37 °C. Se preparó una suspensión bacteriana ajustada a 0.5 McFarland. Para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) y concentración mínima bactericida (CMB) de las AgNPs, se suplementaron placas de agar con diferentes concentraciones (de 65 a 520 μ g/mL). Las placas se inocularon con 200 μ L de la suspensión bacteriana y se incubaron 24 h a 37 °C. La CMI y CMB se establecieron según la ausencia de crecimiento visible.

Inducción de resistencia a AgNPs

Se utilizó una concentración subletal de 65 μ g/mL de AgNPs para inducir resistencia en *E. faecalis*. La bacteria fue subcultivada consecutivamente en agar suplementado con AgNPs durante cuatro pases. Posteriormente, la concentración se incrementó progresivamente hasta superar los valores iniciales de CMI y CMB.

Evaluación de antibióticos y desinfectantes

Se comparó la cepa resistente a AgNPs con la cepa control no expuesta. Se evaluaron amoxicilina, amoxicilina/ácido clavulánico, hipoclorito de sodio 5.25 % y clorhexidina 2 %. Las pruebas de CMI y CMB se realizaron mediante microdilución en caldo Mueller-Hinton en placas de 96 pozos, incubadas 24 h a 37 °C. La CMI se definió como la menor concentración sin turbidez visible, y la CMB como la menor concentración sin crecimiento en agar.

Análisis proteómico

Las bacterias resistentes (260 μ g/mL de AgNPs) y controles fueron cultivadas en triplicado. Las proteínas se extrajeron por lisis térmica y se separaron por electroforesis en gel al 12 % (Bio-Rad). Los geles se tiñeron con azul de Coomassie y se fraccionaron para análisis proteómico. Se analizaron 30 bandas de proteína en total. El análisis por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas fue realizado en Cinvestav-IPN utilizando sistemas de Waters Corporation y Thermo Fisher Scientific. Los datos se procesaron con Proteome Discoverer 1.4 contra una base de datos de *E. faecalis* (RefSeq). Las proteínas identificadas se clasificaron según su función biológica principal y se buscaron manualmente aquellas relacionadas con resistencia.

Resultados

Composición del resistoma de eflujo

En los 168 genomas clínicos humanos de *Enterococcus faecalis* se identificaron 12 proteínas asociadas a sistemas de eflujo implicados en resistencia a antibióticos, metales y biocidas.

Siete de estas proteínas presentaron prevalencias $\geq 95\%$ y fueron clasificadas como **resistoma central**. LmrCD, EfrAB y NorM estuvieron presentes en el 100 % de los genomas analizados. CadA/ZntA mostró una prevalencia de 99.4 %, mientras que PmrA, MFS MDR transporter y CDF se detectaron en el 97 % de los aislamientos. Estos resultados indican que la mayoría de las cepas humanas de *E. faecalis* poseen de manera constitutiva múltiples sistemas de eflujo con capacidad multidroga y tolerancia a metales.

Las cinco proteínas restantes presentaron prevalencias entre 5 % y 50 % y fueron clasificadas como **resistoma accesorio**. YkkCD se detectó en el 50 % de los genomas, MATE MDR en 26.7 %, CopA en 14.9 %, TetL en 12.5 % y FexA en 5.9 % (Tabla 1).

Tabla 1. Prevalencia y clasificación de proteínas de eflujo en *E. faecalis*

Proteína	Tipo de sustrato	Genomas positivos (n)	Prevalencia (%)	Categoría
LmrCD	Multidroga	168	100	Central
EfrAB	Multidroga	168	100	Central
NorM	Multidroga	168	100	Central
CadA/ZntA	Metales (Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+})	167	99.4	Central
PmrA	Multidroga	163	97.0	Central
MFS MDR transporter	Multidroga	163	97.0	Central
CDF	Metales (Zn^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+})	163	97.0	Central
YkkCD	Biocidas	84	50.0	Accesorio
MATE MDR	Multidroga	45	26.7	Accesorio
CopA	Metales (Cu^{+})	25	14.9	Accesorio
TetL	Tetraciclinas	21	12.5	Accesorio
FexA	Fenicoles	10	5.9	Accesorio

Análisis de co-ocurrencia del resistoma central

El heatmap correspondiente al resistoma central mostró co-presencia casi universal entre sus componentes, con variación mínima entre cepas (Figura 1). Dado que estas proteínas están presentes en el 97–100 % de los genomas, su asociación refleja principalmente fijación poblacional más que modularidad específica.

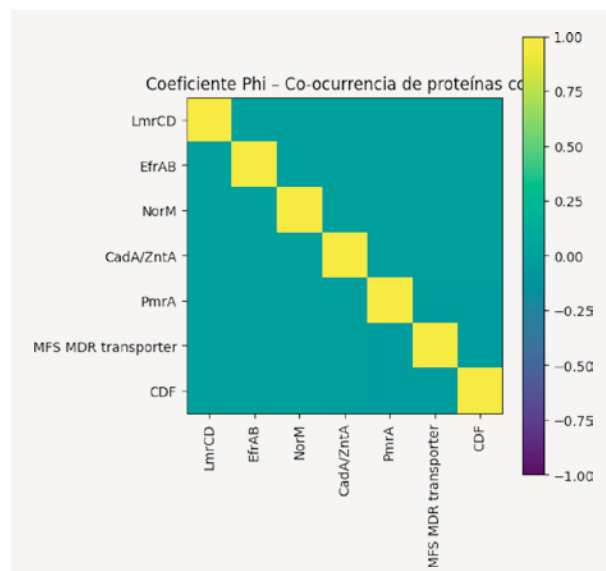


Figura 1. Heatmap de co-ocurrencia del resistoma central en 168 genomas clínicos humanos de *E. faecalis*.

Análisis de co-ocurrencia del resistoma accesorio

En contraste, el análisis del resistoma accesorio reveló patrones estructurales más definidos (Figura 2). La asociación positiva más fuerte se observó entre TetL y FexA ($\phi = 0.36$), lo que sugiere tendencia a co-ocurrencia en un mismo fondo genómico. También se detectaron asociaciones moderadas entre YkkCD y FexA ($\phi = 0.25$) y entre YkkCD y CopA ($\phi = 0.18$). Se identificó una correlación negativa leve entre YkkCD y MATE MDR ($\phi = -0.15$), indicando posible exclusión parcial o estrategias adaptativas alternativas.

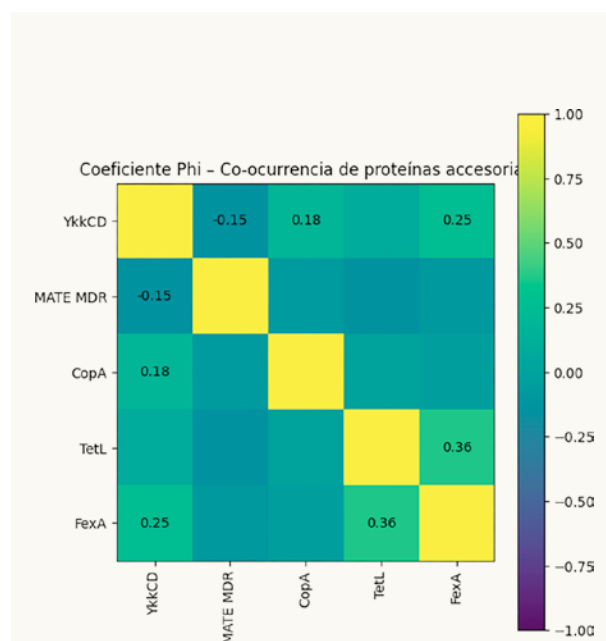


Figura 2. Heatmap de co-ocurrencia del resistoma accesorio en 168 genomas clínicos humanos de *E. faecalis*.

Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata

Las nanopartículas de plata (AgNPs) fueron obtenidas mediante un método de síntesis verde utilizando extracto de *Brickellia cavanillesii*. La formación de las nanopartículas se confirmó por espectroscopía UV-Vis, observándose un pico de resonancia de plasmones superficiales (SPR) alrededor de 410 nm. El análisis por microscopía electrónica de transmisión (TEM) mostró partículas predominantemente esféricas o cuasi-esféricas con un diámetro promedio aproximado de 8 nm. El análisis por dispersión dinámica de luz indicó un diámetro promedio (Z-average) de 63.33 nm y un índice de polidispersidad (PDI) de 0.439. El potencial zeta fue de -23.1 mV, lo que sugiere estabilidad coloidal moderada.

Cambios en la concentración mínima inhibitoria y bactericida

La concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB) iniciales de las AgNPs frente a *Enterococcus faecalis* fueron de 130 µg/mL y 260 µg/mL, respectivamente. Tras el proceso de inducción de resistencia, la CMI aumentó a 260 µg/mL y la CMB a 430 µg/mL. Al comparar la cepa resistente con la cepa control, se observaron valores de CMI y CMB consistentemente más altos en la cepa adaptada a AgNPs para todos los

antimicrobianos evaluados (Tabla 1), lo que sugiere un fenómeno de tolerancia cruzada.

Tabla 2. CMB de *E. faecalis* resistente a AgNPs y cepa control

Antimicrobiano	Cepa resistente	Cepa control
Amoxicilina	1.95 µg/mL	0.97 µg/mL
Amoxicilina + ácido clavulánico	0.97/0.24 µg/mL	0.48/0.12 µg/mL
Hipoclorito de sodio 5.25 %	6.5 µg/mL	1.6 µg/mL
Clorhexidina 2 %	0.625 µg/mL	0.312 µg/mL

Análisis global y focalizado de la clasificación funcional proteómica

Se generó una gráfica general que incluyó la clasificación funcional completa de todas las proteínas identificadas en las cepas de *Enterococcus faecalis* (control y resistente a nanopartículas de plata). En esta visualización se observó un incremento en el número total de proteínas detectadas en la cepa resistente en todas las categorías funcionales evaluadas, en comparación con la cepa control (Figura 3).

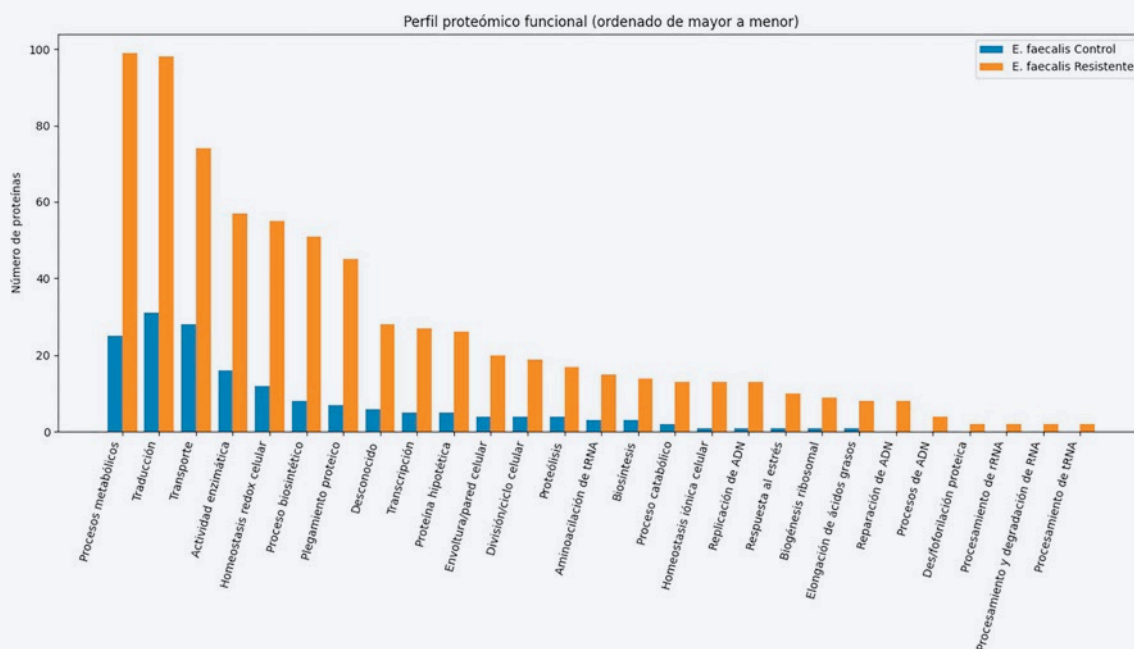


Figura 3. Perfil funcional proteómico global en *Enterococcus faecalis* control y resistente a nanopartículas de plata (AgNPs).

La figura 4 se centra exclusivamente en las clasificaciones funcionales relacionadas con los principales mecanismos de resistencia bacteriana asociados a los antimicrobianos evaluados. El análisis comparativo entre *Enterococcus faecalis* control y la cepa resistente a nanopartículas de plata (AgNPs) mostró un incremento generalizado en proteínas asociadas a mecanismos de resistencia a antibióticos y biocidas. La categoría con mayor diferencia fue Transporte (74 vs. 28), seguida de Procesos metabólicos (99 vs. 25), Actividad enzimática (57 vs. 16) y Homeostasis iónica celular (55 vs. 12), evidenciando una reorganización

funcional relacionada con sistemas de eflujo, adaptación metabólica y respuesta al estrés oxidativo. También se observaron aumentos en Envoltura/pared celular (20 vs. 4), Biosíntesis (51 vs. 8), Homeostasis iónica celular (13 vs. 1), Reparación de ADN (8 vs. 0) y Respuesta al estrés (10 vs. 1), lo que sugiere activación de mecanismos estructurales y adaptativos en la cepa resistente. En conjunto, estos resultados indican una expansión proteómica en categorías funcionales vinculadas directa e indirectamente con resistencia antimicrobiana.

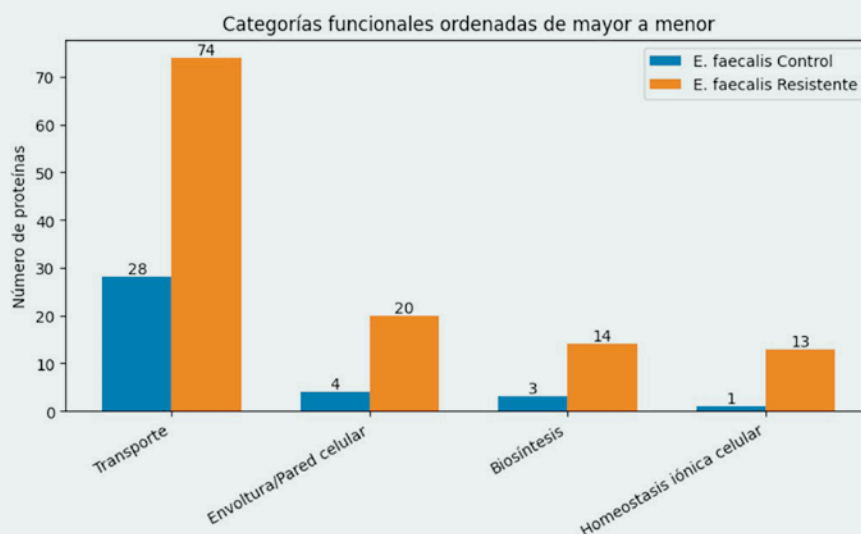


Figura 4. Categorías funcionales asociadas a mecanismos de resistencia a nanopartículas, antibióticos y biocidas evaluados en *Enterococcus faecalis* control y resistente a AgNPs.

Tabla 2. Proteínas asociadas con la respuesta a los antibióticos evaluados

Proteína	Cobertura (%)	N° proteínas	PM (kDa)
Proteína superfamilia metalo-β-lactamasa	20.19	18	23.12
Proteína fijadora de penicilina 1A	12.72	48	85.3
Proteína fijadora de penicilina	12.66	43	87.8
Proteína fijadora de penicilina C	9.84	33	81.7
Proteína familia PBP1A	7.43	34	79.3

En conjunto, las cepas de *E. faecalis* resistentes a nanopartículas de plata mostraron incremento en la tolerancia antimicrobiana acompañado de una reorganización proteómica amplia que involucró mecanismos de reparación del ADN, respuesta a estrés oxidativo, adaptación metabólica y sistemas de transporte multidroga.

Tabla 3. Proteínas que participan en la resistencia a nanopartículas de plata (AgNPs)

Proteína	Cobertura (%)	Nº de proteínas	PM [kDa]
Transporte			
Heavy metal translocating P-type ATPase	6,57	537	58
Copper transport protein CopZ	75	2	7,3
Copper homeostasis protein CutC	38,76	14	22,9
Multidrug efflux ABC transporter subunit EfrB	4,4	82	55,6
Multidrug efflux ABC transporter subunit EfrA	12,19	39	35,3
Estrés oxidativo			
NADH peroxidase	29,75	201	49,5
NADH oxidase	67,65	186	48,1
Thioredoxin [<i>Enterococcus faecalis</i> V583]	60,58	57	11,6
Peroxiredoxin	38,5	3	21,1
Superoxide dismutase	55,94	2	22,7
LysR family transcriptional regulator	8,11	42	29,8
Forma celular			
Rod shape-determining protein MreC	42,19	16	25,8
Cell cycle protein FtsW	8,1	11	44,1
Hypothetical protein EF0767	34,44	5	36,8
Reparación del ADN			
NAD-dependent DNA ligase	35,95	155	75,5
Recombinase RecA	14,08	1	37,4
Single-stranded-DNA-specific exonuclease RecJ	15,97	98	86,2
DNA mismatch repair protein MutS	2,7	58	96
Endonuclease MutS2	32,23	11	88,3
DNA mismatch repair endonuclease MutL	11,97	4	79,3

El análisis proteómico (Tabla 3) identificó proteínas asociadas con varios mecanismos celulares potencialmente relacionados con la tolerancia antimicrobiana. En la categoría de transporte, se detectaron proteínas implicadas en la homeostasis y expulsión de metales, como Heavy metal translocating P-type ATPase, CopZ y CutC, así como bombas de eflujo multidroga EfrA y EfrB. En la categoría de estrés oxidativo, se observaron enzimas antioxidantes como NADH oxidase, thioredoxin, superoxide dismutase, NADH peroxidase y peroxiredoxin, lo

que sugiere una respuesta activa frente al estrés redox. Asimismo, se identificaron proteínas relacionadas con la estructura celular, como MreC y FtsW, y múltiples proteínas implicadas en reparación del ADN, incluyendo DNA ligase, RecA, RecJ, MutS, MutS2 y MutL.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la resistencia observada en *Enterococcus faecalis* frente a nanopartículas de plata, antibióticos y desinfectantes puede explicarse por una respuesta adaptativa compleja que involucra varios mecanismos celulares. La información proteómica muestra que la bacteria activó proteínas relacionadas con detoxificación de metales, bombas de eflujo multidroga, defensa contra estrés oxidativo, reparación del ADN y cambios estructurales en la pared celular (17–19).

El análisis de co-ocurrencia del resistoma permitió identificar diferencias claras entre la organización genética del resistoma central y del resistoma accesorio en *Enterococcus faecalis*. En el caso del resistoma central, el heatmap mostró una co-presencia prácticamente universal entre sus componentes, con una variación mínima entre los genomas analizados. Dado que estas proteínas están presentes en el 97–100 % de las cepas, la asociación observada refleja principalmente una fijación poblacional de estos determinantes más que una interacción funcional específica entre ellos. Esto sugiere que los sistemas de eflujo multidroga y los transportadores asociados a homeostasis metálica incluidos en el resistoma central forman parte de la arquitectura basal del genoma de *E. faecalis*, proporcionando a la bacteria una capacidad intrínseca para tolerar diversos compuestos tóxicos. Esta característica podría contribuir a la notable capacidad de supervivencia de *E. faecalis* en ambientes hostiles, como el sistema de conductos radiculares durante las infecciones endodónticas persistentes (20,21).

En contraste con el resistoma central, el análisis del resistoma accesorio reveló patrones de asociación más estructurados, lo que sugiere una organización genética más dinámica y dependiente del contexto genómico. La asociación positiva más fuerte observada entre TetL y FexA ($\phi = 0.36$) indica una tendencia consistente a que ambos genes coexistan en los mismos genomas. TetL es una bomba de eflujo asociada a resistencia a tetraciclinas, mientras que FexA se relaciona con resistencia a fenicoles. La co-ocurrencia de estos genes podría reflejar la presencia de elementos genéticos móviles compartidos, como plásmidos o transposones, que transportan múltiples determinantes de resistencia. Este tipo de agrupamiento genético es común en bacterias y constituye uno de los principales mecanismos que facilitan la propagación de la resistencia antimicrobiana en poblaciones bacterianas (22).

Asimismo, se observaron asociaciones moderadas entre YkkCD y FexA y entre YkkCD y CopA. El sistema YkkCD pertenece a la familia SMR y se ha relacionado con la

expulsión de biocidas y compuestos tóxicos, mientras que CopA participa en la homeostasis de metales, particularmente cobre. Estas asociaciones sugieren posibles interacciones funcionales entre sistemas de resistencia a biocidas, metales y antibióticos, lo que podría reflejar fenómenos de co-selección. En ambientes donde las bacterias están expuestas simultáneamente a metales, desinfectantes o antibióticos, los genes que confieren tolerancia a estos compuestos pueden mantenerse juntos en el genoma porque la selección de uno favorece indirectamente la persistencia de los otros (23–25).

Uno de los mecanismos más importantes identificados fue la presencia de proteínas involucradas en la homeostasis y detoxificación de metales, como la ATPasa transportadora de metales pesados (P-type ATPase), la proteína CopZ y la proteína CutC. Estas proteínas participan en la eliminación de iones metálicos tóxicos del interior celular. Las nanopartículas de plata ejercen su efecto antimicrobiano principalmente liberando iones Ag^+ que interfieren con proteínas celulares, membranas y material genético. Sin embargo, cuando la bacteria expresa sistemas de transporte capaces de expulsar estos metales, la concentración intracelular del ion tóxico disminuye y la célula puede sobrevivir. Este mecanismo ha sido descrito previamente como una estrategia bacteriana para tolerar ambientes con metales pesados y podría explicar el incremento observado en la concentración mínima inhibitoria de nanopartículas de plata (26).

Otro hallazgo relevante fue la detección de bombas de eflujo multidroga, particularmente el transportador ABC EfrA/EfrB y otros transportadores de membrana. Estas proteínas funcionan como sistemas de expulsión que eliminan compuestos tóxicos del interior bacteriano. Aunque originalmente se describieron en el contexto de resistencia a antibióticos, actualmente se sabe que estas bombas pueden expulsar una amplia variedad de sustancias, incluyendo antibióticos, desinfectantes y compuestos metálicos. Por lo tanto, la activación de dichas bombas podría contribuir a la tolerancia cruzada observada en el presente estudio frente a amoxicilina, amoxicilina con ácido clavulánico y clorhexidina. Este fenómeno de resistencia cruzada ha sido reportado en diversas bacterias expuestas a biocidas o metales, donde la activación de bombas de eflujo multidroga reduce la acumulación intracelular de múltiples agentes antimicrobianos (27).

Las proteínas relacionadas con estrés oxidativo también estuvieron ampliamente representadas en el perfil proteómico. Entre ellas se identificaron superóxido dismutasa, peroxiredoxina, NADH oxidasa, NADH peroxidasa, proteínas de resistencia a hidroperóxidos y tioredoxina. Estas enzimas participan en la neutralización de especies reactivas de oxígeno (ROS), moléculas altamente reactivas que dañan proteínas, lípidos y ADN. Tanto las nanopartículas de plata como el hipoclorito de sodio ejercen parte de su actividad antimicrobiana mediante la generación de estrés oxidativo. La activación de estos sistemas antioxidantes permite a la bacteria reducir el daño causado por

dichas moléculas reactivas, aumentando su capacidad de supervivencia frente a los desinfectantes evaluados (28). El análisis también reveló la presencia de múltiples proteínas relacionadas con reparación del ADN, incluyendo RecA, MutS, MutL, RecJ y ligasas de ADN. Tales proteínas son esenciales para reparar daños genéticos causados por estrés químico u oxidativo. La activación de sistemas de reparación del ADN permite que las bacterias recuperen la integridad de su material genético después de la exposición a agentes antimicrobianos. En el caso de las nanopartículas de plata y el hipoclorito de sodio, ambos pueden provocar daño oxidativo en el ADN bacteriano, por lo que la activación de estos sistemas de reparación constituye un mecanismo importante para mantener la viabilidad celular (29).

Además, algunas proteínas detectadas están relacionadas con modificaciones estructurales de la pared celular, como la proteína de unión a peptidoglicano con dominio LysM, la proteína MreC y la proteína FtsW. Estas proteínas participan en la organización y síntesis del peptidoglicano, el principal componente de la pared celular bacteriana. Cambios en la estructura de la pared celular pueden reducir la penetración de agentes antimicrobianos, incluyendo antibióticos β -lactámicos y desinfectantes. Esto podría explicar parcialmente la mayor tolerancia observada frente a amoxicilina, ya que las modificaciones en la pared celular pueden disminuir la interacción entre el antibiótico y sus proteínas diana (30).

La amoxicilina es un antibiótico del grupo de los β -lactámicos que actúa interfiriendo con la síntesis de la pared celular bacteriana. Para crecer y sobrevivir, las bacterias necesitan construir continuamente esta pared, la cual les proporciona estructura y protección. La amoxicilina bloquea este proceso al unirse a enzimas llamadas proteínas fijadoras de penicilina (PBP), responsables de formar el peptidoglicano de la pared celular. Cuando el antibiótico se une a estas proteínas, la bacteria no puede completar adecuadamente su pared y termina muriendo. El ácido clavulánico se combina con la amoxicilina porque inhibe algunas enzimas bacterianas que pueden destruir el antibiótico antes de que actúe.

Entre las proteínas detectadas en el análisis se encuentran miembros de la superfamilia de metalo- β -lactamasas, enzimas capaces de inactivar antibióticos β -lactámicos como la amoxicilina. Estas enzimas destruyen el antibiótico rompiendo su anillo β -lactámico, que es la estructura esencial para su actividad antimicrobiana. Una vez que este anillo se rompe, el antibiótico pierde su capacidad de inhibir la síntesis de la pared celular. Además, muchas metalo- β -lactamasas no son inhibidas por el ácido clavulánico, por lo que la combinación amoxicilina-clavulanato puede perder eficacia cuando estas enzimas están presentes. Las proteínas fijadoras de penicilina, como PBP1A y PBP-C, también pueden participar en la resistencia bacteriana. Estas proteínas intervienen directamente en la formación de la pared celular, y algunas bacterias pueden modificar su estructura o producir

versiones adicionales de estas enzimas. Cuando esto ocurre, el antibiótico se une con menor eficacia y la bacteria puede continuar sintetizando su pared celular incluso en presencia del fármaco. En conjunto, mecanismos como la destrucción del antibiótico por ϕ -lactamasas y las modificaciones en las PBP pueden actuar simultáneamente, favoreciendo la supervivencia bacteriana (31).

Este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el análisis in vitro se realizó utilizando una sola cepa de referencia (*Enterococcus faecalis* ATCC 29212), lo que puede no reflejar completamente la variabilidad genética y fenotípica de cepas clínicas. Asimismo, el modelo experimental no reproduce completamente las condiciones del microambiente del sistema de conductos radiculares, como la presencia de biofilms maduros y la interacción con tejidos dentinarios. Finalmente, aunque el análisis proteómico permitió identificar proteínas asociadas a mecanismos de resistencia, no se realizaron estudios funcionales que confirmen directamente el papel de estas proteínas en la resistencia cruzada observada.

En este contexto, futuras investigaciones deberán enfocarse en evaluar estos mecanismos en modelos más complejos, incluyendo biofilms multiespecie y condiciones que simulen el microambiente del sistema de conductos radiculares. Asimismo, será relevante validar funcionalmente las proteínas identificadas mediante estudios de expresión génica y ensayos de inhibición específicos. Finalmente, se recomienda ampliar el análisis a cepas clínicas y explorar el impacto de la exposición a nanopartículas de plata en la transferencia horizontal de genes de resistencia.

Conclusión

En conjunto, los resultados sugieren que la resistencia cruzada observada en *E. faecalis* no depende de un único mecanismo, sino de una respuesta que involucra detoxificación de metales, expulsión activa de compuestos tóxicos, neutralización del estrés oxidativo, reparación del ADN y modificaciones estructurales de la envoltura celular.

Referencias bibliográficas

1. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, Owatz CB. *Enterococcus faecalis*: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *Journal of Endodontics*. 2006;32(2):93–8.
2. Siqueira Jr J, Rôças IN. Diversity of endodontic microbiota revisited. *Journal of Dental Research*. 2009;88(11):969–81.
3. Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D. Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. *International Endodontic Journal*. 2002;35(3):221–8.
4. Love R. *Enterococcus faecalis*—a mechanism for its role in endodontic failure. *International endodontic journal*. 2001;34(5):399–405.
5. Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*. 2009;27(1):76–83.
6. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2005;16(10):2346–53.
7. Afkhami F, Pourhashemi SJ, Sadegh M, Salehi Y, Fard MJ. Antibiofilm efficacy of silver nanoparticles as a vehicle for calcium hydroxide medicament against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Dentistry*. 2015;43(12):1573–9.
8. De Almeida J, Cechella BC, Bernardi AV, de Lima Pimenta A, Felipe WT, de Lima Pimenta A. Effectiveness of nanoparticles solutions and conventional endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Indian Journal of Dental Research*. 2018;29(3):347–51.
9. Salas-Orozco M, Niño-Martínez N, Martínez-Castañón GA, Méndez FT, Jasso MEC, Ruiz F. Mechanisms of resistance to silver nanoparticles in endodontic bacteria: a literature review. *Journal of Nanomaterials*. 2019;2019(1):7630316.
10. Niño-Martínez N, Salas Orozco MF, Martínez-Castañón GA, Torres Méndez F, Ruiz F. Molecular mechanisms of bacterial resistance to metal and metal oxide nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(11):2808.
11. Fernandes PE, Alves RBT, Pimentel-Filho N de J, Sá JPN de, Mantovani HC, Peña WEL, et al. Subinhibitory concentrations of silver nanoparticles and silver nitrate on the adaptive and cross-resistance to antibiotics on bovine mastitis pathogens. *Ciência Rural*. 2021;51:e20200672.
12. Mann R, Holmes A, McNeilly O, Cavaliere R, Sotiriou GA, Rice SA, et al. Evolution of biofilm-forming pathogenic bacteria in the presence of nanoparticles and antibiotic: Adaptation phenomena and cross-resistance. *Journal of Nanobiotechnology*. 2021;19(1):291.
13. Zhang S, Wang Y, Song H, Lu J, Yuan Z, Guo J. Copper nanoparticles and copper ions promote horizontal transfer of plasmid-mediated multi-antibiotic resistance genes across bacterial genera. *Environment International*. 2019;129:478–87.
14. Gaurav A, Bakht P, Saini M, Pandey S, Pathania R. Role of bacterial efflux pumps in antibiotic resistance, virulence, and strategies to discover novel efflux pump inhibitors. *Microbiology*. 2023;169(5):001333.
15. Shah D, Varahan S. *Enterococcus faecalis*. *Trends in Microbiology*. 2024;32(9):925–6.
16. Olson RD, Assaf R, Brettin T, Conrad N, Cucinell C, Davis JJ, et al. Introducing the bacterial and viral bioinformatics resource center (BV-BRC): a resource combining PATRIC, IRD and ViPR. *Nucleic Acids Research*. 2023;51(D1):D678–89.
17. Gilmore MS, Clewell DB, Ike Y, Shankar N. *Enterococci*: from commensals to leading causes of drug resistant infection [internet]. 2014.
18. Wei Y, Palacios Araya D, Palmer KL. *Enterococcus faecium*: evolution, adaptation, pathogenesis and emerging therapeutics. *Nature Reviews Microbiology*. 2024;22(11):705–21.
19. Van Tyne D, Gilmore MS. Friend turned foe: evolution of enterococcal virulence and antibiotic resistance. *Annual review of microbiology*. 2014;68(1):337–56.
20. Sanderson H, Gray KL, Manuele A, Maguire F, Khan A, Liu C, et al. Exploring the mobilome and resistome of *Enterococcus faecium* in a One Health context across two continents. *Microbial genomics*. 2022;8(9):000880.
21. Matle I, Atanda AC, Pierneef R, Magwedere K, Mafuna T. Resistome, mobilome, virulome analysis and phylogenomics of *Enterococcus faecalis* isolated from raw muscle foods of beef origin in Gauteng, South Africa. *Genomics*. 2023;115(6):110742. doi:10.1016/j.ygeno.2023.110742
22. Kim MB, Lee YJ. Characterisation of the CRISPR-Cas systems in *Enterococcus faecalis* from commercial broiler farm environments and its association with antimicrobial resistance. *British Poultry Science*. 2025;66(4):523–30. doi:10.1080/00071668.2025.2451268
23. Jack Donald L., Storms Michael L., Tchiew Jason H., Paulsen Ian T., Saier Milton H. A Broad-Specificity Multidrug Efflux Pump Requiring a Pair of Homologous SMR-Type Proteins. *Journal of Bacteriology*. El 15 de abril de 2000;182(8):2311–3. doi:10.1128/jb.182.8.2311-2313.2000
24. Tang Biao, Tang Yizhi, Zhang Ling, Liu Xiao, Chang Jiang, Xia Xiaodong, et al. Emergence of *fexA* in Mediating Resistance to Florfenicol in *Campylobacter*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2020;64(7):10.1128/aac.00260-20. doi:10.1128/aac.00260-20
25. Altimira F, Yáñez C, Bravo G, González M, Rojas LA, Seeger M. Characterization of copper-resistant bacteria and bacterial communities from copper-polluted agricultural soils of central Chile. *BMC Microbiology*. 2012;12(1):193. doi:10.1186/1471-2180-12-193
26. Shafeeq S, Yesilkaya H, Kloosterman TG, Narayanan G, Wandel M, Andrew PW, et al. The *cop* operon is required for copper homeostasis and contributes to virulence in *Streptococcus pneumoniae*. *Molecular Microbiology*. 2011;81(5):1255–70. doi:10.1111/j.1365-2958.2011.07758.x
27. Lee EW, Huda MN, Kuroda T, Mizushima T, Tsuchiya T. EfrAB, an ABC multidrug efflux pump in *Enterococcus faecalis*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2003;47(12):3733–8.
28. Kajfasz Jessica K., Mendoza Jorge E., Gaca Anthony O., Miller James H., Koselny Kristy A., Giambiagi-deMarval Marcia, et al. The *Spx* Regulator Modulates Stress Responses and Virulence in *Enterococcus faecalis*. *Infection and Immunity*. 2012;80(7):2265–75. doi:10.1128/iai.00026-12
29. Morita R, Nakane S, Shimada A, Inoue M, Iino H, Wakamatsu T, et al. Molecular Mechanisms of the Whole DNA Repair System: A Comparison of Bacterial and Eukaryotic Systems. *Journal of Nucleic Acids*. 2010;2010(1):179594. doi:10.4061/2010/179594
30. Egan AJF, Errington J, Vollmer W. Regulation of peptidoglycan synthesis and remodelling. *Nature Reviews Microbiology*. 2020;18(8):446–60. doi:10.1038/s41579-020-0366-3
31. Sethuvel DPM, Bakthavatchalam YD, Karthik M, Irulappan M, Shrivastava R, Periasamy H, et al. β -Lactam Resistance in ESKAPE Pathogens Mediated Through Modifications in Penicillin-Binding Proteins: An Overview. *Infectious Diseases and Therapy*. 2023;12(3):829–41. doi:10.1007/s40121-023-00771-8

NOVIEMBRE

4 AL 8 2026

WTC-CDMX

LA EXPOSICIÓN
DENTAL
**MÁS GRANDE
DEL MUNDO**
DE HABLA HISPANA



CONFERENCIAS
MAGISTRALES

EXPO **Amic**[®] Dental

Descarga nuestra app y prepara tu registro

REGISTRO PRÓXIMAMENTE

Evento privado. AMIC Dental se reserva el Derecho de Admisión

www.amicdental.mx



Descarga la App Oficial
de Expo AMIC Dental.



BeAmic[®] Dental



Queremos verte sonreír.



Sé de los primeros en descubrir las líneas de salud bucal y cuidado especializado y lleva lo mejor en cuidado bucal para complementar tus casos.

Disponible en:

AhKimPech®

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO



www.ahkimpech.com

©Derechos Reservados 2026, "Centro de Distribución Ahkimpech, S.A. de C.V."

Eficacia de dos protocolos de limpieza en la eliminación de cementos biocerámicos y AH Plus: análisis por micro-CT

Efficacy of two cleaning protocols in removing bioceramic cements and AH Plus: micro-CT analysis

ME José Diego Castro-García

MSc. Ángel Rodrigo Vargas-López

MSc. María Verónica Méndez-González

Ing. Dante Arteaga-Martínez

PhD. José Arturo Garrocho-Rangel

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estomatología,
Maestría en Endodoncia

Resumen

Introducción: la eliminación incompleta de los materiales de obturación durante el retratamiento puede comprometer la desinfección y el éxito del mismo. **Objetivo:** evaluar la eficacia de dos protocolos de limpieza en la eliminación de cementos biocerámicos analizados por micro-CT. **Materiales y métodos:** 104 raíces se aleatorizaron en cuatro grupos (EndoSequence BC Sealer, CeraSeal, Cemento experimental Kerr y AH Plus); cada grupo se dividió en dos subgrupos según el método de limpieza (SClean ó R1 ClearSonic). Se evaluó mediante micro-CT. **Resultados:** no se observó diferencia significativa en volumen de material residual. El 75 % del material se encontró en apical. El método SClean obtuvo mejor resultado ante EndoSequence. El mayor volumen residual fue AH Plus. La permeabilidad apical se recuperó en 86.5 %. **Conclusión:** no hubo diferencia significativa entre los métodos complementarios. Los cementos biocerámicos mostraron menos cemento residual con SClean.

Palabras clave: Biocerámicos, Limas endodónticas, Tratamiento endodóntico, Ultrasonido.

Abstract

Introduction: incomplete removal of filling materials during retreatment can compromise disinfection and retreatment success. **Objective:** to evaluate the efficacy of two cleaning protocols in removing bioceramic cements analyzed by micro-CT. **Materials and methods:** roots were divided into four groups (EndoSequence BC Sealer, CeraSeal, Kerr Experimental Cement, and AH Plus); each group was divided into two subgroups according to the complementary cleaning method (SClean or R1 ClearSonic). Micro-CT was used to evaluate the results. **Results:** no significant difference was observed in the volume of residual material. 75 % of the material was found apically. The SClean method performed better than EndoSequence. AH Plus had the highest residual volume. Apical patency was recovered in 86.5 %. **Conclusion:** there was no significant difference between the complementary methods. Bioceramic cements showed less residual cementum with SClean.

Keywords: Bioceramics, Endodontic files, Endodontic retreatment, Ultrasound.

Introducción

El objetivo principal del retratamiento endodóntico no quirúrgico (RnQ) es promover la eliminación completa de materiales de obturación, residuos y microorganismos a través de la irrigación, remodelación y limpieza del sistema de conductos radiculares. (1,2) La eliminación incompleta de los materiales de obturación puede ser un factor de importancia que compromete la desinfección, así como la pérdida de la permeabilidad de los túbulos dentinarios y el foramen apical. Se ha demostrado que la presencia de material de obturación puede alojar microorganismos resistentes al primer tratamiento y comprometer el éxito del RnQ. (3)

La introducción de cementos biocerámicos o cementos hidráulicos a base de silicato de calcio (HSC) ha traído grandes beneficios en el tratamiento endodóntico, tales como íntima adhesión a las paredes del conducto radicular, biocompatibilidad con los tejidos perirradiculares e inducir la formación de tejido mineralizado. La utilización de HSC como cementos intraconducto para el tratamiento de endodoncia se ha propuesto como una opción favorable, pero en casos de fracaso endodóntico, su eliminación aún es incierta. (4)

Por ello, se han planteado distintos protocolos complementarios para su eliminación, estos incluyen el uso de irrigación ultrasónica pasiva (PUI) la cual se basa en la transmisión de energía acústica desde un instrumento oscilante, la turbulencia y los fenómenos de cavitación

generados pueden ayudar al arrastre mecánico de materiales de obturación. (5) Por otro lado, se han desarrollado nuevos aditamentos ultrasónicos, que poseen una punta activa específicas para la eliminación de residuos en las paredes del conducto radicular. (6) Aunado a esto, la introducción de limas rotatorias específicas para los RnQ son instrumentos de finalización, los cuales buscan tocar la mayor parte de la superficie de las paredes radiculares con el fin de arrastrar el cemento adherido. (7) Todas estas nuevas herramientas han brindado una amplia gama de posibilidades para aumentar la eliminación de estos cementos biocerámicos. Por lo que, el objetivo de este estudio es evaluar la eficacia de dos protocolos de limpieza complementarios en la eliminación de cementos biocerámicos analizados mediante micro-CT.

Materiales y métodos

El presente estudio fue evaluado y aceptado por el Comité de Ética e Investigación de la Facultad de Estomatología, con la siguiente clave: CEI-FE-067-023.

Se recolectaron 104 dientes humanos, unirradiculares, donde se tomaron radiografías preoperatorias en dirección buco-lingual y mesio-distal para confirmar la presencia de un solo conducto, y una curvatura menor de 10° medida con el método Schneider. Con pieza de mano (Alta Vel. NSK Panamax 2) se decoronaron las muestras a nivel de la unión cemento-esmalte utilizando un disco de diamante refrigerado por agua para obtener una longitud estándar de 12 mm. Posterior a ello, se permeabilizó el conducto con una lima tipo K #10, la longitud de trabajo se determinó con lima tipo K #15 en el conducto hasta que la punta de la lima estuviera en el foramen apical y luego restando 1 mm. Los conductos radiculares se instrumentaron utilizando Limas TF Adaptive (Kerr Endodontics) hasta la lima SM2 de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Durante la instrumentación, los conductos se irrigaron con un 2.5 % de NaClO utilizando una aguja de calibre 27 (Vamasa) y una jeringa de 5 mL. Para eliminar la capa de barrillo dentinario, los conductos radiculares se irrigaron con 2 mL de 17 % de EDTA durante 1 min, seguido de una irrigación final con solución salina (1mL). Se almacenaron los dientes a 37°C.

Los dientes se dividieron mediante aleatorización simple en cuatro grupos (n=28) según el cemento de obturación y se obturaron con conos de gutapercha SSM2 (Kerr Endodontics) y el cemento endodóntico según el grupo seleccionado con técnica de cono único. Los selladores se prepararon según las instrucciones del fabricante. Se llevaron al conducto con puntas dispensadoras, posteriormente se llevó el cono de gutapercha recubierto de sellador. Se eliminó el exceso de gutapercha con un instrumento caliente y se realizó una compactación vertical fría. La cavidad de acceso se limpió con algodón ligeramente sumergido en alcohol al 90 % y se selló con Cavit (3M). Las muestras se mantuvieron en humedad relativa a 37 °C durante 15 días para permitir el fraguado completo del sellador.

El procedimiento del retratamiento se inició utilizando limas del sistema K3XF (30/04) (Kerr Endodontics) acoplado al motor Elements e-motion (Kerr Endodontics) operado en modo "K3XF". El instrumento se insertó en el conducto con 3 ciclos de entrada y salida de 4 mm utilizando un movimiento de cepillado en el trazo de extracción, el conducto se irrigó con un 2.5 % de NaClO, por un total de 5 mL de solución por muestra. Esta fase del retratamiento se consideró completo cuando no se observó material de relleno en el instrumento y se corroboró con radiografías bidimensionales.

Los dientes se dividieron mediante aleatorización simple en dos grupos según el método coadyuvante de desobturación (n=13) (Tabla 1). Los conductos se irrigaron con 2 mL de NaClO al 2.5 % con una punta SClean file 25/01 (Ramo Medical) acoplado al motor Elements e-motion (Kerr Endodontics) a 800 rpm y 1N de torque. La lima se colocó a longitud de trabajo con movimientos verticales de entrada y salida, 1 ciclo de 1 min. Posteriormente, el conducto se irrigó con NaClO al 2.5 % y se aspiró el irrigante restante en el conducto. Los conductos se irrigaron con 2 mL de NaClO 2.5 % utilizando un inserto R1 ClearSonic™ (Helse) acoplado a una unidad de ultrasonido (NSK) a 20 % de potencia, se colocó el R1 ClearSonic™ 1-2 mm desde la longitud de trabajo, donde se activó durante 2 ciclos de 30 s, y se retiró lentamente el R1 ClearSonic™ con movimientos continuos hacia arriba y hacia abajo para obtener los mejores resultados del proceso de activación. Se irrigó de nuevo con NaClO al 2.5 % y se aspiró el irrigante restante en el conducto.

Las muestras se conservaron en condiciones de humedad relativa hasta su análisis. Después de implementar los métodos de limpieza complementarios se registró si era posible recuperar la permeabilidad apical mediante una lima K #15 la cual debía salir 1 mm del foramen apical.

Se llevaron las muestras al Laboratorio Universitario de Microtomografía de Rayos X UNAM (Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla, Instituto de Geociencias) en donde se realizó el escaneo con el microtomógrafo Xradia Versa 510 en donde se colocaron en moldes de PVC de 1 in de diámetro para su escaneo a una energía de rayos X de 80 kV y una corriente de tubo de rayos X de 240 μ A. El tamaño de imagen fue de un tamaño de vóxel de 26.168 μ m. Después del escaneo, las imágenes se reconstruyeron en volúmenes 3D utilizando el software 3D Slicer, Versión 5.6.2 (www.slicer.org). En donde se realizó el seccionamiento del cemento endodóntico de acuerdo con el valor del voxel, y los resultados en volumen (cm³) y superficie de área (mm²) se registraron para su posterior análisis.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.) versión 20. Los datos del material residual de obturación se sometieron inicialmente a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), debido a que los

datos no mostraron una distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica Kruskal- Wallis, y finalmente una prueba post HOC Pairwise para múltiples comparaciones. Con un nivel de confianza del 95 % en todos los análisis. Un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

Tabla 1. Grupos de estudio

Cemento biocerámicos	Sistema de desobturación	Grupo
EndoSequence BC Sealer (n=26)	SClean (n=13)	A
	R1 ClearSonic (n=13)	B
CeraSeal (n=26)	SClean(n=13)	C
	R1 ClearSonic (n=13)	D
Cemento biocerámico experimental	SClean (n=13)	E
Kerr (n=26)	R1 ClearSonic (n=13)	F
AH plus (n=26)	SClean (n=13)	G
	R1 ClearSonic (n=13)	H

Resultados

Se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.) versión 20. Los datos del material residual de obturación se sometieron inicialmente a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk); debido a que los datos no mostraron una distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, y finalmente una prueba post hoc Pairwise para múltiples comparaciones. Con un nivel de confianza del 95 % en todos los análisis. Un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

Para ninguno de los cementos EndoSequence BC Sealer, CeraSeal, Experimental Kerr y el AH Plus, los resultados de la prueba paramétrica mostraron que no existe una diferencia entre los métodos complementarios de desobturación SClean y R1 ClearSonic para la eliminación del material intraconducto durante el retratamiento endodóntico no quirúrgico. (Figuras 1-4)

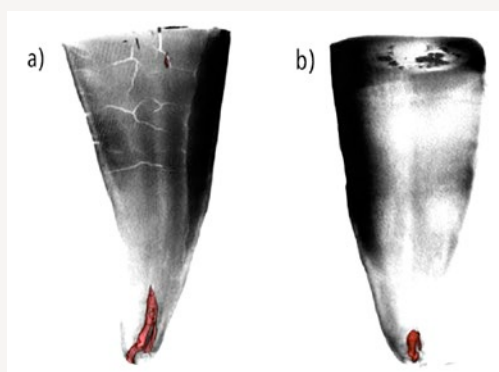


Figura 1. Reconstrucción y segmentación del cemento EndoSequence: a) SClean y b) R1 ClearSonic.

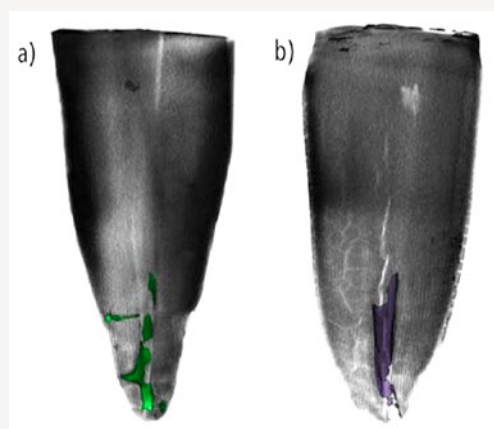


Figura 2. Reconstrucción y segmentación del cemento CeraSeal: a) SCClean y b) R1 ClearSonic.

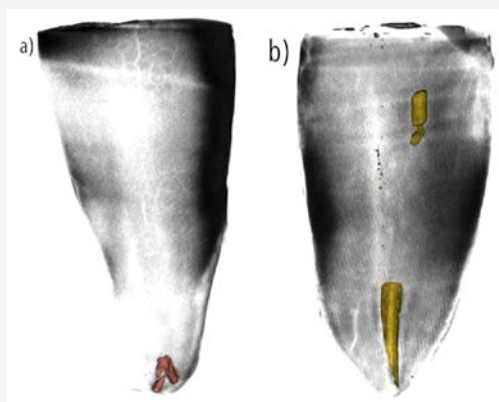


Figura 3. Reconstrucción y segmentación del cemento Kerr: a) SCClean y b) R1 ClearSonic.

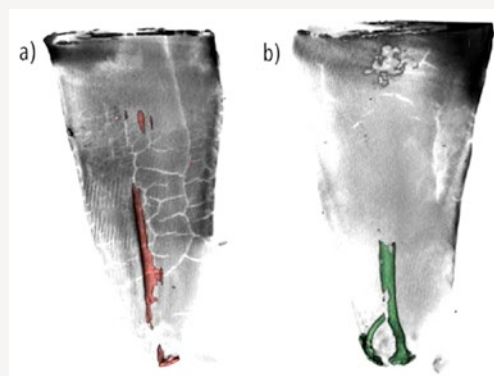


Figura 4. Reconstrucción y segmentación del cemento AH Plus: a) SCClean y b) R1 ClearSonic.

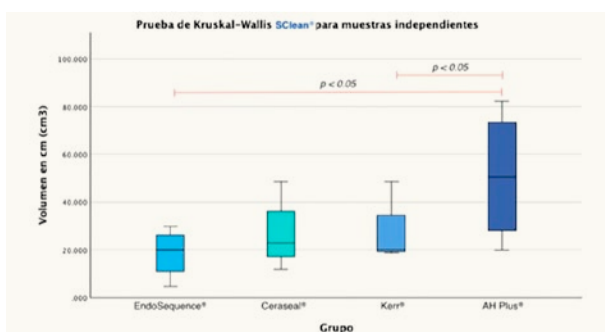
SClean

Los resultados de la prueba no paramétrica mostraron que existe una diferencia significativa al evaluar eficacia de eliminación del material de obturación de SClean entre los 4 cementos endodónticos tanto en volumen (cm³) como en superficie de área (mm²). (Tabla 2)

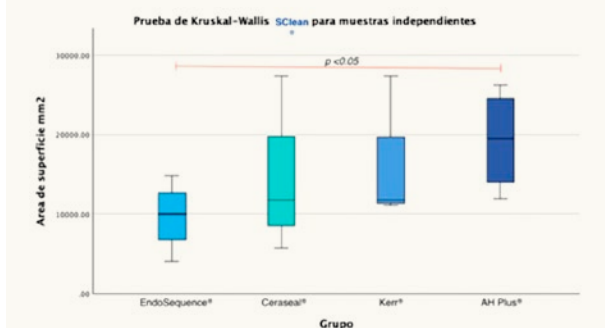
Tabla 2. Prueba no paramétrica de la eliminación de los cementos evaluados con el método SClean

Resumen de la prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de volumen (cm ³) es la misma en todos los grupos.	Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes.	.048	Se rechaza la hipótesis nula.
2	La distribución de área de superficie (mm ²) es la misma en todos los grupos.	Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes.	.022	Se rechaza la hipótesis nula.

El grupo de EndoSequence tiene significativamente menos volumen (cm³) en comparación al grupo de muestras obturadas con AH Plus (p .008). Así mismo el cemento Experimental Kerr tuvo significativamente menos volumen de material residual en comparación con el cemento AH Plus (p .037). Cuando se evaluó el área de superficie (mm²) solamente hubo una diferencia significativa entre el grupo de EndoSequence y el grupo de AH Plus, en donde se observó que EndoSequence tiene menor área de superficie de material residual que AH Plus (p .002). (Gráfica 1-2) (Tabla 3)



Gráfica 1. Correlación de la eficacia de eliminación SClean Volumen cm³.



Gráfica 2. Correlación de la eficacia de eliminación SClean Área de superficie mm².

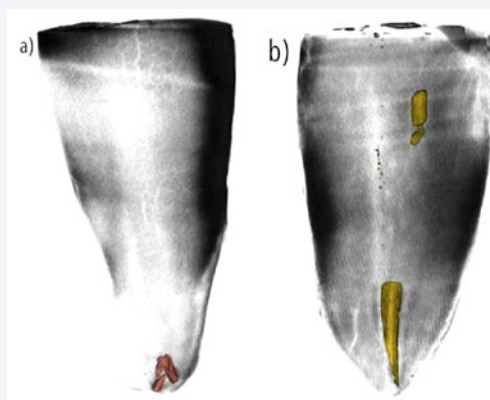
Tabla 3. Prueba Post hoc comparación entre grupos de cemento y método SClean

Resumen de la prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de volumen (cm ³) es la misma en todos los grupos.	Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes.	.076	Se acepta la hipótesis nula.
2	La distribución de área de superficie (mm ²) es la misma en todos los grupos.	Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes.	.174	Se acepta la hipótesis nula.

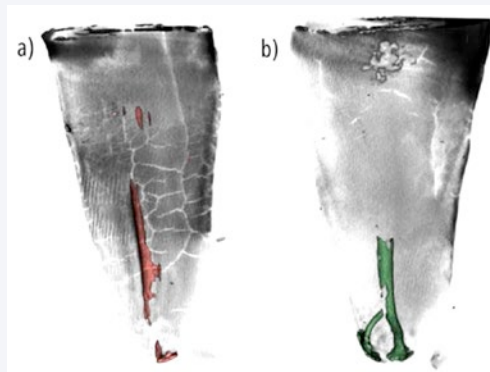
Por otro lado, ningún cemento fue eliminado por completo. Además, la mayor parte del mismo (75 %) se encontró ubicado en la zona apical sin importar el tipo de sellador.

R1 ClearSonic

Los resultados de la prueba no paramétrica mostraron que no existe una diferencia significativa al evaluar eficacia de eliminación del material de obturación de R1 ClearSonic entre los 4 cementos endodónticos evaluados tanto en volumen (cm³) como en superficie de área (mm²). (Tabla 4) (Gráfica 3-4)



Gráfica 3. Correlación de la eficacia de eliminación R1 ClearSonic, área de cm³.



Gráfica 4. Correlación de la eficacia de eliminación R1 ClearSonic, volumen superficie mm².

Tabla 4. Prueba no paramétrica de la eliminación de los cementos evaluados con el método R1 ClearSonic

Pairwise Comparaciones por grupos		
	Volumen (cm ³) Sig.	Área de superficie (mm ²) Sig.
A-E	.557	.557
A-C	.310	.310
A-G	.008	.008
E-C	.669	.669
E-G	.037	.037
C-G	.098	.098

No existe una diferencia entre la eliminación de material de obturación al comparar los dos métodos de limpieza complementarios SClean y R1 ClearSonic ($p = .452$). No obstante, se observó mayor cantidad de material residual en el tercio apical con R1 ClearSonic. El cemento endodóntico EndoSequence y Kerr se lograron eliminar de mejor forma en comparación con el cemento AH Plus cuando se utiliza el método de limpieza complementario SClean ($p < 0.05$). Por otra parte, ninguno de los cementos es eliminado de forma completa empleando ambos métodos, se observó que la mayor cantidad de cemento se encontraba en el tercio apical (75 %) sin importar el cemento evaluado.

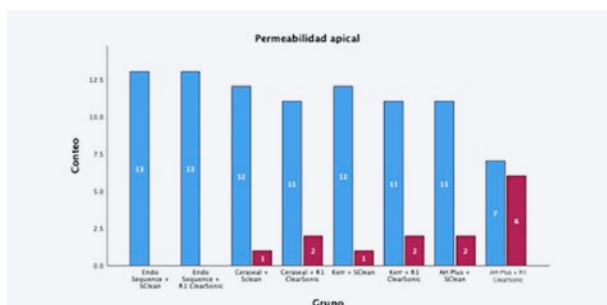
Permeabilidad apical

Se logró recuperar la permeabilidad apical en 86.5 % de las muestras sin diferencia significativa entre los 2 métodos de limpieza complementarios SClean y R1 ClearSonic ($p > 0.05$). (Tabla 5)

Tabla 5. Distribución de la permeabilidad apical recuperada

Permeabilidad apical		
	Frecuencia	Porcentaje
Si	90	86.5 %
No	14	13.5 %
Total	104	100.0 %

Al comparar los cementos endodónticos probados, se observó que en las muestras obturadas con AH Plus fue más difícil la recuperación de la permeabilidad apical en comparación con los otros cementos endodónticos. (Gráfica 5)



Gráfica 5. Permeabilidad apical recuperada por grupos de cemento y técnicas de limpieza.

Discusión

La literatura existente ha demostrado consistentemente que, hasta la fecha, ningún instrumento o técnica ha logrado eliminar completamente los materiales de obturación del sistema de conducto radicular durante el retratamiento endodóntico no quirúrgico (7-11). Esta dificultad persistente puede resultar en fracasos en el tratamiento, ya que los microorganismos pueden permanecer en el sistema de conducto radicular, comprometiendo así la efectividad del tratamiento endodóntico. (12)

La eliminación efectiva del material de obturación del conducto radicular es crucial en el proceso de retratamiento endodóntico no quirúrgico. Este paso facilita que los instrumentos y las soluciones de irrigación puedan actuar de manera efectiva sobre los residuos y los microorganismos que están asociados con la periodontitis apical. Esto es fundamental para asegurar que el tratamiento sea exitoso al limpiar adecuadamente el sistema de conducto radicular y reducir la carga bacteriana. (13) Por lo cual, se buscan alternativas para que la eliminación del material de obturación, gutapercha y cemento endodóntico, sean removidos de manera más eficaz especialmente en el tercio apical.

Se han empleado diversos métodos para medir la cantidad de material de relleno remanente en los conductos tras el retratamiento endodóntico. Entre estos se incluyen: las imágenes radiográficas, escisión longitudinal de la raíz, observación con microscopio estereoscópico y microscopio electrónico de barrido, entre otros. (14-16) El método Micro-CT para la evaluación del material residual en el retratamiento endodóntico no quirúrgico, es un método excelente de caracterización para los estudios in vitro, permite la cuantificación objetiva en volumen cm³, área de superficie mm², y obtención de imágenes de alta calidad en reconstrucciones 3D, además de ser un método altamente detallado, no invasivo y no destructivo. (17)

La eliminación de los cementos biocerámicos durante el retratamiento endodóntico ha sido controversial desde su introducción, sin embargo, la literatura disponible muestra que no existe una diferencia significativa entre la eliminación de cementos biocerámicos y el cemento AH Plus a base de resina epoxi. (9, 18)

En 2016 Crozeta BM y cols. evaluaron la eliminación del material de obturación de los conductos distales de forma ovalada de molares mandibulares con sistemas de movimiento rotatorio, reciprocante y adaptativo mediante el uso de Micro-CT. El empleo del movimiento adaptativo resultó en una mayor eliminación de material de relleno de los tercios medio y apical en comparación con el movimiento reciprocante. A pesar de esto, ninguna de las técnicas logró eliminar completamente el material de relleno de los conductos radiculares. (10) En esta investigación se realizó la eliminación del núcleo central de obturación con el sistema rotatorio K3XF®. En estudios futuros se podría realizar la eliminación del núcleo central

con el movimiento adaptativo e implementar sistemas de limpieza complementarios, a fin de evaluar y buscar un mejor protocolo para la eliminación de material de obturación, especialmente en cementos biocerámicos y a base de resina epoxi.

Kim y cols. en 2019 evaluaron la eficacia en la eliminación de EndoSeal MT, EndoSequence BC y AH Plus. Los resultados de su investigación mostraron mayor cantidad de material restante en conductos en C después de la obturación con MTA endoseal seguido de AH Plus y EndoSequence. Resultados similares obtenidos en este estudio al evaluar EndoSequence y AH Plus, ya que el cemento con menor volumen de material residual fue EndoSequence en comparación con AH Plus ($p<0.05$). (19)

Se ha reportado que, incluso los cementos biocerámicos son más fáciles de remover que los cementos a base de resina epoxi (19-21). Hallazgos similares obtenidos en este estudio, ya que todos los cementos biocerámicos evaluados EndoSequence, CeraSeal y Kerr obtuvieron menor volumen (cm^3) de cemento restante después de aplicar métodos complementarios de limpieza que AH Plus. El cemento que obtuvo mejores resultados durante su eliminación fue EndoSequence, seguido de Kerr, CeraSeal, mientras que AH Plus presentó la mayor cantidad de cemento remanente sobre todo en el tercio apical.

Crozeta BM y cols. publicaron en el año 2021 un estudio acerca de la evaluación de técnicas adicionales (puntas ultrasónicas y XP-endo Finisher R) para remover materiales de obturación de conductos radiculares ovalados durante el retratamiento endodóntico. Se encontró que el BC Sealer dejó menos residuos ($16,06 \pm 14,34$) que el AH Plus ($28,30 \pm 10,54$). Las puntas ultrasónicas fueron efectivas para ambos materiales, mientras que XP-endo Finisher R solo lo fue para AH Plus. En resumen, aunque las técnicas ayudaron, ninguna eliminó completamente los rellenos, destacando las puntas ultrasónicas como opción preferida, especialmente para materiales biocerámicos. (22) Resultados similares a los observados en este estudio, AH Plus fue el cemento que dejó más residuos ($50,74 \pm 25,91$) que EndoSequence BC Sealer ($18,56 \pm 9,80$) especialmente con el método de limpieza complementario SClean. Además, ninguno de los cementos biocerámicos, ni a base de resina fueron eliminados por completo por ninguna técnica probada.

Sinsareekul C y cols., en 2022 después de comparar tres protocolos de limpieza suplementarios para la eliminación de cementos biocerámicos durante el retratamiento, concluyeron que XP-endo Finisher R y la irrigación ultrasónica pasiva mostraron una mayor eficacia en comparación con la irrigación por jeringa en la reducción de materiales de obturación residuales después del retratamiento en dientes llenos de raíz con un sellador biocerámico. XP-endo Finisher R fue el método más efectivo en el conducto radicular total y en todos los tercios de la raíz. (23) Resultados similares a los obtenidos en este estudio, la lima SClean tuvo mejores resultados en la

eliminación de material en los tres tercios sin importar el tipo de cemento, aunque ninguna de las dos técnicas eliminó por completo el material de obturación. La punta R1 ClearSonic obtuvo mayor volumen de material residual en el tercio apical, esto puede deberse a la parte activa del instrumento la cual no permite llegar hasta el tercio apical en conductos muy estrechos o curvos en comparación a la lima SClean.

Acerca de la permeabilidad apical recuperada, en esta investigación se logró recuperar la permeabilidad en 86.5 % de las 104 muestras evaluadas, aunque no hubo una diferencia significativa entre los métodos complementarios de limpieza SClean y R1 ClearSonic ($p=0.85$), si observamos mayor número de muestras con permeabilidad apical en las muestras que se les aplicó el método de SClean. Por otra parte, si hubo una diferencia significativa al evaluar la recuperación de la permeabilidad apical entre los cementos evaluados, El cemento AH Plus fue el cemento con más muestras que no se pudo recuperar la permeabilidad apical, en comparación con los cementos biocerámicos ($p<0.05$ %). Mientras que en las muestras obturadas con EndoSequence se pudo recuperar la permeabilidad apical en todas las muestras. Por el contrario, Oltra y cols., en 2017 mostraron que la permeabilidad apical se pudo recuperar en el 100 % de las muestras obturadas con AH Plus, mientras que EndoSequence solo pudo recuperar la permeabilidad apical en el 14 % de las muestras cuando no se aplicó cloroformo. (24) Jamleh A y col., en el 2023 informó que la permeabilidad apical se recuperó en el 65 % del grupo AH plus y el 75 % del grupo TotalFill BC. Conclusiones afines obtenidas en este estudio. (25)

Conclusiones

Los métodos de limpieza complementarios juegan un papel crucial en mejorar y asegurar la eliminación efectiva del remanente de obturación, especialmente en áreas de difícil acceso y en las paredes de los conductos radiculares. Este aspecto cobra mayor relevancia cuando se utilizan cementos biocerámicos.

Los resultados de esta investigación demuestran que los cementos biocerámicos presentaron una menor cantidad de remanentes residuales al emplearse el método complementario de limpieza SClean, en comparación con el cemento AH Plus. Asimismo, se logró una recuperación exitosa de la permeabilidad apical al utilizar estos cementos biocerámicos, destacando su eficacia en este proceso.

Referencias bibliográficas

1. Kvist T, Hofmann B. Clinical decision making of post-treatment disease. *Int Endod J*. 2023;56(Suppl. 2):154-168. doi:10.1111/iej.13806.
2. Zuolo AS, Mello JE Jr, Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CE. Efficacy of reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. *Int Endod J*. 2013 Oct;46(10):947-53.
3. Ruddle CJ. Nonsurgical endodontic retreatment. *J Calif Dent Assoc*. 2004 Jun;32(6):474-84.
4. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J*. 2018 Feb;51(2):177-205.
5. Silva EJNL, Rover G, Belladonna FG, Herrera DR, De-Deus G, da Silva Fidalgo TK. Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *Br Dent J*. 2019 Aug;227(3):228-234.
6. Rivera-Peña ME, Duarte MAH, Alcalde MP, Furlan RD, Só MVR, Vivan RR. Ultrasonic tips as an auxiliary method for the instrumentation of oval-shaped root canals. *Braz Oral Res*. 2019 Feb 11;33:e011.
7. Uzunoglu-Özyürek E, Küçükkaya Eren S, Karahan S. Contribution of XP Endo files to the root canal filling removal: A systematic review and meta analysis of in vitro studies. *Aust Endod J*. 2021 Dec;47(3):703-714.
8. Hassan R, Elzahr S. Cleaning Efficiency of XP Finisher, XP Finisher R and Passive Ultrasonic Irrigation Following Retreatment of Teeth Obturated with TotalFill HiFlow Bioceramic Sealer. *Eur Endod J*. 2022 Jun;7(2):143-149.
9. Romeiro K, de Almeida A, Cassimiro M, Gominho L, Dantas E, Chagas N, Vellozo C, Freire L, Albuquerque D. Reciproc and Reciproc Blue in the removal of bioceramic and resin-based sealers in retreatment procedures. *Clin Oral Investig*. 2020 Jan;24(1):405-416.
10. Crozeta BM, Silva-Sousa YT, Leoni GB, Mazzi-Chaves JF, Fantinato T, Baratto-Filho F, Sousa-Neto MD. Micro-Computed Tomography Study of Filling Material Removal from Oval-shaped Canals by Using Rotary, Reciprocating, and Adaptive Motion Systems. *J Endod*. 2016 May;42(5):793-7.
11. Alves FR, Marceliano-Alves MF, Sousa JC, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira JF Jr. Removal of Root Canal Fillings in Curved Canals Using Either Reciprocating Single- or Rotary Multi-instrument Systems and a Supplementary Step with the XP-Endo Finisher. *J Endod*. 2016 Jul;42(7):1114-9.
12. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Bate AL, Pitt Ford TR. Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *J Endod*. 2009 Apr;35(4):493-502.
13. Zanza A, Reda R, Testarelli L. Endodontic Orthograde Retreatments: Challenges and Solutions. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2023 Oct 24;15:245-265.
14. Kfir A, Tsesis I, Yakirevich E, Matalon S, Abramovitz I. The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. *Int Endod J*. 2012 Jan;45(1):35-41.
15. Marques da Silva B, Baratto-Filho F, Leonardi DP, Henrique Borges A, Volpato L, Branco Barletta F. Effectiveness of ProTaper, D-RaCe, and Mtwo retreatment files with and without supplementary instruments in the removal of root canal filling material. *Int Endod J*. 2012 Oct;45(10):927-32.
16. Barletta FB, Rahde Nde M, Limongi O, Moura AA, Zanesco C, Mazocatto G. In vitro comparative analysis of 2 mechanical techniques for removing gutta percha during retreatment. *J Can Dent Assoc*. 2007 Feb;73(1):65.
17. Ajina MA, Shah PK, Chong BS. Critical analysis of research methods and experimental models to study removal of root filling materials. *Int Endod J*. 2022 Mar;55 Suppl 1:119-152.
18. Arul B, Varghese A, Mishra A, Elango S, Padmanaban S, Natanasabapathy V. Retrieval of bioceramic-based sealers in comparison with epoxy resin based sealer assessed using microcomputed tomography: A systematic review of laboratory-based studies. *J Conserv Dent*. 2021 Sep-Oct;24(5):421-434.
19. Kim K, Kim DV, Kim SY, Yang S. A micro-computed tomographic study of remaining filling materials of two bioceramic sealers and epoxy resin sealer after retreatment. *Restor Dent Endod*. 2019;44:e18.
20. Alsubait S, Alhathlol N, Alqedairi A, Alfawaz H. A micro-computed tomographic evaluation of retreatability of BioRoot RCS in comparison with AH Plus. *Aust Endod J*. 2021 Aug;47(2):222-227.
21. Liu H, Lai WWM, Hieawy A, Gao Y, Haapasalo M, Tay FR, Shen Y. Efficacy of XP-endo instruments in removing 54 month-aged root canal filling material from mandibular molars. *J Dent*. 2021 Sep;112:103734.
22. Crozeta BM, Lopes FC, Menezes Silva R, Silva-Sousa YTC, Moretti LF, Sousa-Neto MD. Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment. *Clin Oral Investig*. 2021 Mar;25(3):891-899.
23. Sinsarekul C, Hiran-Us S. Comparison of the efficacy of three different supplementary cleaning protocols in root-filled teeth with a bioceramic sealer after retreatment-a micro-computed tomographic study. *Clin Oral Investig*. 2022 Apr;26(4):3515-3521.
24. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod*. 2017 Feb;42(1):19-26.
25. Jamleh A, Nassar M, Alfadley A, Alanazi A, Alotiabi H, Alghilan M, Alfouzan K. Retreatment of oval-shaped root canals filled with TotalFill bioceramic or AH plus sealer. *Sci Rep*. 2023;13(1):9357.

gallantdale



UNIFORMES QUIRÚRGICOS

COLECCION DC BY GALLANTDALE

CODIGO DE DESCUENTO

0A10%



BATMAN and all related characters and elements
© & ™ DC WB SHIELD © & ™ WB (126)

31 **sie2026**
Seminario Internacional
de **ENDODONCIA**
As~enug



Del **1ro** al **4**
de Octubre 2026



Hotel Fiesta Americana
All Inclusive & Spa
Puerto Vallarta, Jalisco.

ASENUG LO TIENE TODO.

Actualización • Playa • Ciencia • Convivencia

Cuatro días para actualizarte con los mejores expertos,
conectar con colegas de todo el mundo y disfrutar
el paraíso de **Puerto Vallarta**.

DOS GRANDES EXPERTOS INTERNACIONALES



Dr. Adham Azim

- Desinfección predecible en la Endodoncia Moderna
- Cirugía Endodóntica eficiente y predecible



Dr. Bruno Azevedo

- Biología e Imagenología 3D para diagnóstico endodóntico
- CBCT + tecnologías emergentes para planificación clínica



ACTUALIZACIÓN DE ALTO NIVEL

Conferencias con líderes
internacionales en
endodoncia.



CIENCIA QUE TRANSFORMA

Conocimiento basado en
evidencia y técnicas
de vanguardia.



PUERTO VALLARTA: EL ESCENARIO PERFECTO

Playas increíbles, clima ideal
y un hotel todo incluido
frente al mar.



CONVIVENCIA QUE DEJA HUELLA

Networking, amistad y
momentos que se quedan
para siempre.

Asegura tu lugar

INSCRÍBETE AHORA

expertos-en-convenciones.com/31_SIE_AS-ENUG



33 3723 9375



contacto@expertosenconvenciones.com



As enug. Asociación de Egresados de la Esp.
en Endodoncia de la U de G



@as__enug



JUEVES
01 DE OCTUBRE DE 2026



HOTEL FIESTA AMERICANA
PUERTO VALLARTA
ALL INCLUSIVE & SPA

No solo asistas a un congreso:
Vive una experiencia
ASENUG.



MÁS INFORMACIÓN E INSCRIPCIONES:

expertos-en-convenciones.com/31_SIE_AS-ENUG

Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de las gutaperchas TotalFill BC Points[®], Hygenic Coltene[®] y ZenFlex Kerr[™]

Comparative Study of the Physicochemical and Thermal Properties of TotalFill BC Points[®], Hygenic Coltene[®], and ZenFlex Kerr[™] Gutta-perchas

ME Rebeca Mejía Haro

MsC Valeria Rangel Fernández

PhD María Verónica Méndez González

Programa de Posgrado en Endodoncia, Facultad de Estomatología, UASLP, San Luis Potosí, S.L.P.

PhD Karla Patricia Navarrete Olvera

Profesor investigador, maestría en Endodoncia, UASLP, San Luis Potosí, S.L.P.

PhD Vladimir Alonso Escobar Barrios

Profesor investigador, Instituto Potosino de Investigación Ciencia y Tecnología, IPICYT, San Luis Potosí, S.L.P.

PhD Mariana Gutiérrez Sánchez

Profesor investigador, maestría en Endodoncia, UASLP, San Luis Potosí, S.L.P.

Resumen

Introducción: la gutapercha recubierta con nanopartículas biocerámicas mejora la adhesión y estabilidad en la obturación. **Objetivo:** evaluar las propiedades fisicoquímicas y térmicas de gutaperchas TotalFill BC-Points, Hygenic Coltene[®] y ZenFlex-Kerr[™]. **Metodología:** se utilizaron 42 dientes unirradiculares, estandarizados a 13 mm y aleatorizados. Se instrumentados a 30/0.6 de acuerdo al sistema y obturados con condensación lateral (Grupo A), y cono único (Grupos B,C). Se evaluaron mediante (FTIR), (SEM), (EDS), (DSC) y rayos X. La adhesión se evaluó por tercios mediante ensayo *in vitro*. **Resultados:** las propiedades térmicas, muestran una triple endoterma de fusión para cada material, TotalFill BC-Points[®] presenta la menor entalpía de fusión (4.54J/g) y mayor contenido orgánico (22.44 %). La caracterización morfológica muestra un recubrimiento cerámico. La adhesión en tercio medio fue superior para ZenFlex-Kerr[™] y TotalFill BC-Points[®], presentando diferencia significativa. Conclusiones: La caracterización de las gutaperchas influye en la adhesión del material observando variaciones entre los grupos.

Palabras clave: Biocerámico, TotalFill BC-Points[®], ZenFlex-Kerr[™], Propiedades fisicoquímicas y térmicas.

Abstract

Introduction: guttapercha coated with bioceramic nanoparticles improves adhesion and stability during obturation. **Objective:** to evaluate the physicochemical and thermal properties of TotalFill BC-Points[®], Hygenic Coltene[®], and ZenFlex-Kerr[™] guttapercha cones. **Methodology:** 42 single rooted teeth were standardized to a length of 13 mm and randomized. They were instrumented to a size of 30/0.6 according to the specific system used and obturated using lateral condensation (Group A) or a single cone technique (Groups B and C). The samples were evaluated using FTIR, SEM, EDS, DSC, and X-ray analysis. Adhesion was assessed by root thirds using *in vitro* tests. **Results:** the thermal properties revealed a triple melting endotherm for each material; TotalFill BC-Points[®] exhibited the lowest melting enthalpy (4.54 J/g) and the highest organic content (22.44 %). Characterization revealed the presence of a ceramic coating. Adhesion in the middle third was superior for ZenFlex-Kerr[™] and TotalFill BC-Points[®], demonstrating a statistically significant difference ($p = 0.001$). Conclusions: The characterization of the guttapercha cones influences material adhesion, with variations observed among the different groups.

Keywords: Bioceramic, TotalFill BC-Points[®], ZenFlex-Kerr[™], Physicochemical and thermal properties.

Introducción

La Asociación Americana de Endodoncia (AAE) establece que una obturación endodóntica es adecuada cuando logra un sellado tridimensional completo del sistema de conductos radiculares, extendiéndose lo más cercano posible a la unión cemento-dentina (1). La obturación se basa en la combinación de dos componentes: la gutapercha como material sólido y el sellador endodóntico, que permite la adhesión entre la gutapercha y las paredes dentinarias, además de penetrar en irregularidades microscópicas. Una obturación deficiente puede provocar fracaso endodóntico, principalmente por microfiltración bacteriana, afectando la zona periapical (2).

Entre las características de una obturación ideal destacan el sellado tridimensional hermético, el uso mínimo de sellador biocompatible y una adecuada apariencia radiográfica, donde el material se observe denso, continuo y adaptado al tercio apical. Se ha reportado que aproximadamente el 58 % de los fracasos endodónticos se relacionan con una obturación deficiente, lo que resalta la importancia de seleccionar una técnica adecuada (3).

La técnica de condensación lateral utiliza múltiples conos de gutapercha compactados lateralmente para lograr el sellado. La técnica termoplastificada emplea calor para ablandar la gutapercha, permitiendo una mejor adaptación a la morfología del conducto; sin embargo, puede presentar contracción al enfriarse. Por su parte, la técnica de cono único se basa en el uso de un solo cono ajustado al sistema de instrumentación, complementado con selladores biocerámicos que mejoran la adhesión y el sellado (1,3,4). Estudios *in vitro* han demostrado que ninguna técnica logra un sellado completamente libre de espacios. La gutapercha es un polímero termoplástico compuesto principalmente por poli (trans-1,4 isopreno), con diferentes fases cristalinas (α , β y γ) que determinan sus propiedades físicas. La fase β es la más utilizada clínicamente por su estabilidad a temperatura ambiente, mientras que la fase α presenta mayor fluidez al calentarse. Los cambios térmicos inducen transiciones de fase que pueden afectar la estabilidad volumétrica, provocando contracción tras el enfriamiento. Factores como la composición, el peso molecular y la historia térmica influyen en su comportamiento (5,6).

En los últimos años, las gutaperchas modificadas con biocerámicos han representado un avance significativo. Estas combinan un núcleo de gutapercha con un recubrimiento de nanopartículas de silicato de calcio, mejorando la adhesión y promoviendo un sellado más hermético. Además, presentan alta biocompatibilidad, bioactividad y ligera expansión durante el fraguado. Sin embargo, también presentan limitaciones como baja radiopacidad o un fraguado prolongado. En conjunto, la correcta selección de materiales y técnicas de obturación es fundamental para garantizar el éxito del trata-

miento endodóntico y prevenir la reinfección del sistema de conductos radiculares (7).

Materiales y métodos

Las gutaperchas TotalFill BC Points®, ZenFlex Kerr™ y Hygenic Coltene® se les evaluó sus propiedades fisicoquímicas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) con espectroscopía de energía dispersiva (EDS) y térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA). Así mismo se evaluó su desempeño clínico mediante un ensayo *in vitro* donde mediante una Máquina de Universal Instron se evaluó la fuerza de adhesión de la gutapercha, sellador y dentina. Para esto, se seleccionaron 42 dientes unirradiculares que cumplieron con los criterios de inclusión, se aleatorizaron en tres grupos de estudio, $n=10$ (Grupo A: Hygenic Coltene®, Grupo B: ZenFlex Kerr™ y Grupo C: TotalFill BC Points®), estandarizándolas a una longitud de 13mm. Posteriormente se realizó la instrumentación y conformación del conducto a 30/0.6 de acuerdo con el sistema correspondiente, Limas Rotatorias ZenFlex Kerr™, Race-Evo y limas manuales. Se obturaron con técnica de condensación lateral (Grupo A) y técnica de cono único (Grupo B y C), así como la colocación de la punta maestra con sellador biocerámico (BC Sealer, TotalFill, LOT: 24004SP). El sellador se manipuló de acuerdo con las instrucciones del fabricante: se inyectó una pequeña cantidad de sellador biocerámico (jeringa premezclada), lentamente, en el conducto radicular con una aguja intraconducto a 2 o 3 mm antes de la longitud de trabajo.

Posteriormente, se introdujo la punta maestra recubierta con poca cantidad de sellador en la parte apical hasta la longitud de trabajo. Corte de la punta en la entrada del conducto con calor (dispositivo de transportador de calor, cucharilla o glick caliente), condensar vertical, limpieza de la cavidad y radiografía final.

Se colocaron los dientes en cubos de resina y se cortaron en fragmentos de 3 mm para cada tercio (coronal, medio y apical). Mediante el software ImageJ se obtuvo el perímetro promedio de cada muestra, midiendo el perímetro mayor y el perímetro menor para posterior obtener el promedio del perímetro.

Fase de desalojo

La prueba de desalojo se realizó mediante la máquina de prueba universal Instron. Se realizaron secciones horizontales de 3 mm por tercios y se sometieron a pruebas *push-out*, la fuerza se aplicó en dirección apical-corona con el fin de evitar posibles fracturas o bloqueo del material debido a la conicidad natural del conducto radicular. Calculando la fuerza de adhesión con la formula:

$$\tau(\text{MPa}) = F/A_f \quad (8)$$

Cuantificación de cargas por análisis termogravimétrico.

El análisis termogravimétrico (TGA) en este estudio, se realizó entre 6 a 10 mg de gutapercha utilizando un equipo TGAQ500 de la marca TA Instruments bajo una atmósfera inerte de nitrógeno (N₂), en un rango de temperatura de 30 a 600°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

Análisis estadístico

Se realizó la prueba Kolmogorov Smirnov para determinar la normalidad de los datos y, de acuerdo al resultado, se determinó utilizar una prueba paramétrica (ANOVA de una vía) mediante el software de estadística Minitab18, considerando significancia de $p=0.05$.

Resultados

Caracterización química

El análisis de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) tiene como función identificar la composición química de los materiales orgánicos excluyendo la composición inorgánica, es decir, los minerales (enlaces iónicos), por lo que la técnica de FTIR sirve para identificar las vibraciones asociadas a los enlaces presentes en la gutapercha que constituye uno de los principales materiales de relleno presentes en las puntas de Hygenic Coltene®, ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points®. En la figura 1 se pueden observar sus principales bandas características dentro del rango de 4000 a 650 cm⁻¹; donde el eje X representa el número de onda que corresponde a las frecuencias de vibraciones de las moléculas presentes en el material. Por otro lado, se encuentra el eje Y, que corresponde a la transmitancia que indica la intensidad de absorción de radiación infrarroja de los grupos funcionales del material.

En el análisis del espectro se observó una frecuencia débil en la gutapercha TotalFill BC Points® de 3739 cm⁻¹ correspondiente al grupo O-H (Silanol), y frecuencia ausente en el resto de las puntas de Gutapercha Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™. De la misma manera, TotalFill BC Points® mostró picos muy intensos en la región de 1182 a 1073 cm⁻¹ y así como en 650 cm⁻¹, asociados a los enlaces de Si-O-Si y O-Si-O (polímeros de silicato) lo que evidencia la presencia de rellenos inorgánicos o componentes biocerámicos en su composición.

Caracterización térmica

Transiciones de fase por calorimetría diferencial de barrido

Se realizó el análisis térmico mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC) con el propósito de evaluar el comportamiento térmico de los tres tipos de gutaperchas utilizadas para la obturación del tratamiento endodóntico: Hygenic Coltene®, ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points®.

Las principales reacciones que podemos apreciar durante este análisis es la fusión y cristalización del material. En el análisis se observaron eventos térmicos representados por picos hacia arriba y hacia abajo. Los picos con dirección hacia arriba representan el proceso de enfriamiento, lo cual refleja la cristalización de la gutapercha, es decir, la liberación de energía (exotérmico) cuando la gutapercha reorganiza su estructura molecular al disminuir la temperatura. Por otro lado, los picos de hacia abajo corresponden al proceso de calentamiento, que indican la absorción de energía (endotérmico) durante la fusión del material.

Durante el proceso de calentamiento, se observaron múltiples picos de fusión en cada una de las muestras, lo cual corresponde a las diferentes fases de fusión. La gutapercha Hygenic Coltene® presentó dos picos de fusión el principal a 46.74°C y el secundario a 60.09°C, con una entalpía de fusión de DHm=5.974J/g. La gutapercha ZenFlex Kerr™ mostró tres eventos de fusión a 45.79, 50.77 y 59.35°C, siendo la que registró la mayor entalpía de fusión DHm=7.038J/g, lo que indica que tiene tres estructuras cristalinas diferentes, y que necesita más energía para llevar a cabo la fusión del material. Por otra parte, la gutapercha TotalFill BC Points® también obtuvo tres picos de fusión a 43.93, 51.14 y 59.99°C, registrando la entalpía de fusión más baja con un DHm=4.5408J/g, lo que se puede traducir en que el material requiere menos energía para llevar a cabo el proceso de fusión en comparación con las otras muestras analizadas.

Estabilidad térmica de las puntas de gutapercha por análisis termogravimétrico

Se realizó el Análisis Termogravimétrico (TGA) para la evaluación de las muestras de gutaperchas Hygenic Coltene®, ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points® identificando dos curvaturas, la principal TGA de color negro, representa a la pérdida de porcentaje de masa en función de la temperatura, mientras que la curvatura secundaria corresponde al análisis termogravimétrico derivado (DTG) de color azul, lo cual representa un pico que muestra la temperatura a la que ocurre la máxima degradación térmica del material. (Figura 2).

Caracterización morfológica

Se utilizó el equipo de microscopia electrónica de barrido (MEB) con el fin de evaluar la morfología de los conos de gutapercha de Hygenic Coltene®, ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points®, evaluando la superficie externa como su estructura interna en su corte transversal. Así mismo, las puntas fueron analizadas con la técnica de difracción de electrones retrodispersados (CBS), la cual analiza la homogeneidad o distribución química en una escala nanométrica. Los cuales a su vez fueron complementados con la técnica de espectroscopia de energía dispersiva (EDS)(Figura 3).|

El análisis de espectroscopia de energía dispersiva (EDS)

se llevó a cabo en las tres muestras de gutapercha, Hygenic Coltene® (a), ZenFlex Kerr™ (b) y TotalFill BC Points® (c). En todas ellas se identificaron elementos en común como el carbono (C) y oxígeno (O₂), correspondientes a la matriz polimérica, así como el zinc (Zn) registrado como el componente inorgánico predominante en todas las muestras; y la presencia de azufre (S) y bario (Ba). Este último confirma la adición de sulfato de bario (BaSO₄), empleado para proporcionar radiopacidad a la gutapercha. Dichos elementos coinciden aquellos característicos de la gutapercha. Por otro lado, podemos encontrar diferencias entre las muestras, en las cuales la gutapercha Hygenic Coltene®. En la figura 4 a, se observa una composición más equilibrada entre la matriz polimérica y los elementos inorgánicos, con señales menores de zinc (Zn) y bario (Ba). Mientras que ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points® figuras 4b y c obtuvieron un mayor contenido de materia inorgánica, predominando el elemento Zn y Ba. Por último, solo en la gutapercha TotalFill BC Points® figura 4c, se detectaron elementos con menor concentración como el silicio (Si), magnesio (Mg) y aluminio (Al).

Pruebas de adhesión

En la figura 5 se presenta de forma sintetizada la comparación de los valores promedio de resistencia al desalojo obtenidos en los tercios coronal (C) y medio (M) de los tres grupos experimentales: Hygenic Coltene® (A), ZenFlex Kerr™ (B) y TotalFill BC Points® (C). El eje Y corresponde a las unidades de MPa (megapascuales), representando la resistencia al desalojo, mientras que el eje X se divide en dos secciones (coronal y medio), las cuales indican el tercio del conducto radicular analizado. Las barras de desviación estándar reflejan la variabilidad de los datos y brindan una referencia visual sobre el grado de dispersión de las mediciones obtenidas.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio permitieron analizar de manera integral las propiedades fisicoquímicas y térmicas de tres tipos de gutaperchas, Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™ como gutaperchas convencionales, y TotalFill BC Points® como gutapercha modificada con recubrimiento de nanopartículas de biocerámico. La hipótesis inicialmente formulada fue aceptada debido a las diferencias significativas documentadas, ya que la gutapercha convencional Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™ difieren con la gutapercha TotalFill BC Points® que incorpora un biocerámico.

Comprender e identificar las señales de FTIR resulta ser una herramienta muy útil para identificar y comparar formulaciones o modificaciones estructurales que pueden llegar a presentar las gutaperchas (9,10). Como análisis complementario de la composición química se realizó la técnica de la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) caracterizada por crear un mapeo elemental, identificando y cuantificando los elementos inorgánicos que posee la gutapercha. Los resultados obtenidos por la FTIR

confirman que, tanto la gutapercha Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™, se comportan como gutaperchas convencionales con mínimas variaciones y ambas mostraron señales en la región de Si-O con menor intensidad, mientras que la gutapercha TotalFill BC Points® presentó picos mucho más definidos y de mayor magnitud, ratificando su principal objetivo en su fabricación (impregnación y recubierto con nanopartículas biocerámicas) lo que la hace químicamente diferente a Hygenic Coltene®, ZenFlex Kerr™ y gutapercha convencional. Aguilar Hernández J. comparó las gutaperchas de Hygenic Coltene® y Conform Fit (Dentsply Sirona) ambas gutaperchas convencionales, confirmando que existen componentes inorgánicas que varía en cantidades, principalmente por (ZnO, BaSO₄ y en algunos casos SiO₂), aportando señales en zona de 1200–1000 cm⁻¹ en el espectro FTIR (7). Esto explica el por qué, Hygenic Coltene® y ZenFlex Kerr™ muestran la señal de Si-O con menor intensidad, mientras que TotalFill BC Points® presenta picos muy notorios.

Como análisis complementario la espectroscopía de energía dispersiva (EDS) se evidencio que las tres gutaperchas presentaron elementos orgánicos en común correspondientes a la matriz polimérica principalmente carbono (C) y oxígeno (O) (11) por consiguiente, de oxígeno compuestos inorgánicos como azufre (S), bario (Ba) y zinc (Zn) siendo este último el componente inorgánico predominante en todas las muestras. (12). Hygenic Coltene® mostró un alto contenido orgánico y aditivos de rellenos moderados, proporcionando rigidez y estabilidad. ZenFlex Kerr™ demostró una composición similar a la Hygenic Coltene®, pero con mayor fase inorgánica y picos más marcados de carbono (C), oxígeno (O), bario (Ba) y zinc (Zn). También presento ligeras señales de polímeros de silicato (silicio (Si)) en el FTIR, incrementando las partículas en la superficie de la gutapercha observadas en el SEM; mejorando así la rigidez, estabilidad y radiopacidad al material.

Los análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA) proporcionan información complementaria sobre la composición, la estructura y comportamiento térmico de las gutaperchas, específicamente el DSC identifica las transiciones térmicas del material, como la temperatura de fusión (T_m), cristalización (T_c) y transición vítrea (T_g), las cuales reflejan cambios en la organización del polímero (gutapercha). Por otra parte, el TGA registra la pérdida de masa del material al someterlo a diferentes ciclos de temperaturas y permite determinar la estabilidad térmica, la descomposición y el residuo inorgánico final asociado a los componentes como ZnO, BaSO₄ o SiO₂. La temperatura influye directamente en la disposición molecular y el estado físico del polímero (gutapercha). A temperaturas elevadas, las cadenas poliméricas pierden su orientación por la excitación térmica, provocando que el material se vuelva blando y adhesivo. Este proceso es reversible, ya que al disminuir la temperatura las cadenas pueden recuperar su estructura molecular original. En el caso de bajas temperaturas, las cadenas se bloquean en su posición creando

un material cristalino sólido y rígido. (11,12,13).

Por lo tanto, los resultados combinando los análisis de DSC y TGA/DTG muestran que las tres marcas de gutaperchas evaluadas (Hygenic/Coltene®, ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points®) trabajan dentro del rango de temperatura de fusión de ~44–60 °C, logrando un ablandamiento y la transición de fase: β (beta) a α (alfa) y amorfa (14,15,16). Según Vishwanath H y cols., las temperaturas de transformación de la gutapercha dental van de 48,6°C a 55,7°C para la transición de fase β a α , y de 59,9°C a 62,3°C para la transición de fase α a amorfa. Asimismo al someter la gutapercha a una temperatura $\geq 130^\circ\text{C}$ esta experimenta cambios físicos o degradación (2).

El análisis morfológico mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) y Detección de electrones retro-dispersados mostró que la gutapercha Hygenic Coltene® presentó una estructura más equilibrada, homogénea, con pocas depresiones, rugosidades e irregularidades en forma de estriada longitudinal. ZenFlex Kerr™ exhibió una superficie heterogeneidad intermedia, lisa con irregularidades y ausencia de grietas, también presenta mayor fase inorgánica que la Hygenic Coltene®, lo que explica su mayor rigidez y estabilidad térmica. TotalFill BC Points®, por su parte, mostró una superficie heterogénea con irregularidades, rugosidades, la presencia de partículas brillantes incrustadas de forma aglomeradas observadas en MEB. Maniglia-Ferreira C y cols. confirman la incorporación de biocerámico en la matriz favoreciendo el anclaje mecánico ya que se presentan partículas brillantes pequeñas correspondiente a la fase inorgánica: ZnO y picos de Si–O en FTIR.(14) En el ensayo de resistencia al desalojo, los resultados de este estudio mostraron que el tercio medio tiene valores mayores que el tercio coronal esto es razonable ya que se puede deber a la anatomía del conducto radicular, el tercio medio en conductos unirradiculares y estrechos necesitan poco sellador y suelen tener mayor fricción de la gutapercha con la dentina creando un interfaz más estable (15). Al comparar la resistencia de desalojo de los tres grupos de gutaperchas se mostró que el tercio coronal obtuvieron el siguiente comportamiento $C/C > B/C \geq A/C$. En el tercio medio la diferencia está más marcada y estadísticamente significativa donde se aprecia que $A/M < B/M \sim C/M$, con desviaciones estándar moderadas, por ende, se determina que el grupo C (TotalFill BC Points®) y el B (ZenFlex Kerr™) muestran un comportamiento más estable y retentivo que Hygenic Coltene®, debido a sus modificaciones de formulación observadas en el FTIR, EDS y SEM antes mencionadas.

Por lo que, el íntimo contacto con el sellador biocerámico (TotalFill BC Sealer) y gutapercha biocerámica con técnica de cono único logra beneficiar la adhesión con la dentina debido a la gran fluidez del sellador, humectabilidad y energía superficial, aumentando la difusión intratubular por el tamaño extremadamente fino de sus partículas y el contacto directo con dentina (17). Según Osiris y cols. muestra que el sellador y gutapercha con biocerámico (TotalFill BC Sealer y TotalFill BC Points)

proporciona mejor adhesión, mejor unión mecánica a la dentina especialmente en la zona apical gracias a la penetración del sellador a los túbulos dentinarios presentando mayor estabilidad y menor fallas adhesivas.

Conclusiones

La gutapercha biocerámica de TotalFill BC Points® presenta modificaciones significativas en sus propiedades estructurales, térmicas y químicas que las diferencian de las gutaperchas convencionales.

Los conos de gutapercha convencional correspondientes al trans-1,4 poliisopreno, muestran menor contenido orgánico y un mayor contenido inorgánico confiriéndole mayor rigidez y estabilidad.

La fase inorgánica de la gutapercha biocerámica de TotalFill BC Points® se corroboró en el MEB, lo cual se identifica una superficie heterogénea con irregularidades, rugosidades, presencia de partículas brillantes incrustadas de forma aglomeradas.

La gutapercha biocerámica de TotalFill BC Points® presenta enlace O–H libre a 3739 cm en el FTIR relacionado con las vibraciones de estiramiento y flexión del Si–O.

El tercio coronal obtuvo un ligero incremento en la resistencia del grupo TotalFill BC Points®, aunque sin diferencias significativas ($p=0.145$). Sin embargo, en el tercio medio los valores fueron notablemente superiores para ZenFlex Kerr™ y TotalFill BC Points®, presentando diferencias significativas ($p=0.001$), demostrando la existencia de una mejor adhesión entre el sellador y el cono único en comparación con la técnica de condensación lateral en frío.

Tabla 1. Temperaturas características de descomposición de las puntas de gutapercha

	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Temperatura de descomposición inicial (Td0)	121.33 °C 99.99 %	216.9 °C 99.94 %	153.95°C 99.91 %
Rango de descomposición principal	216-462 °C	220–480 °C	155-512 °C
Pico DTG (Tdmax)	379.20 °C	393.87 °C	395.00 °C
Pérdida de masa asociada a la descomposición principal (Compuestos orgánicos-degradación del polímero y aditivos orgánicos (ceras y resinas)	21.61 %	19.15 %	22.44 %
Residuo final material Inorgánico (ZnO, BaSO4 y/o biocerámicos) utilizados como radiopacificadores y estabilizadores.	77.72 %	80.44 %	76.98 %

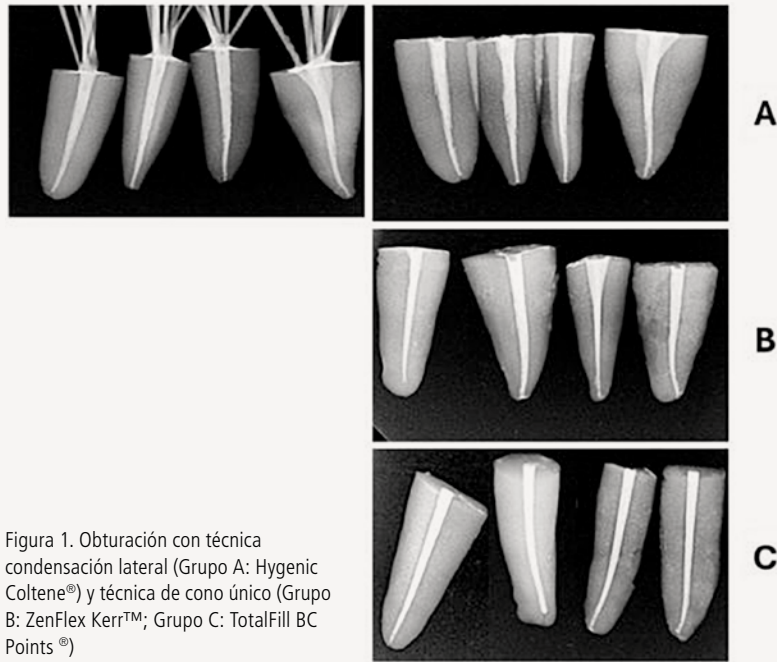


Figura 1. Obturación con técnica condensación lateral (Grupo A: Hygenic Coltene®) y técnica de cono único (Grupo B: ZenFlex Kerr™; Grupo C: TotalFill BC Points®)

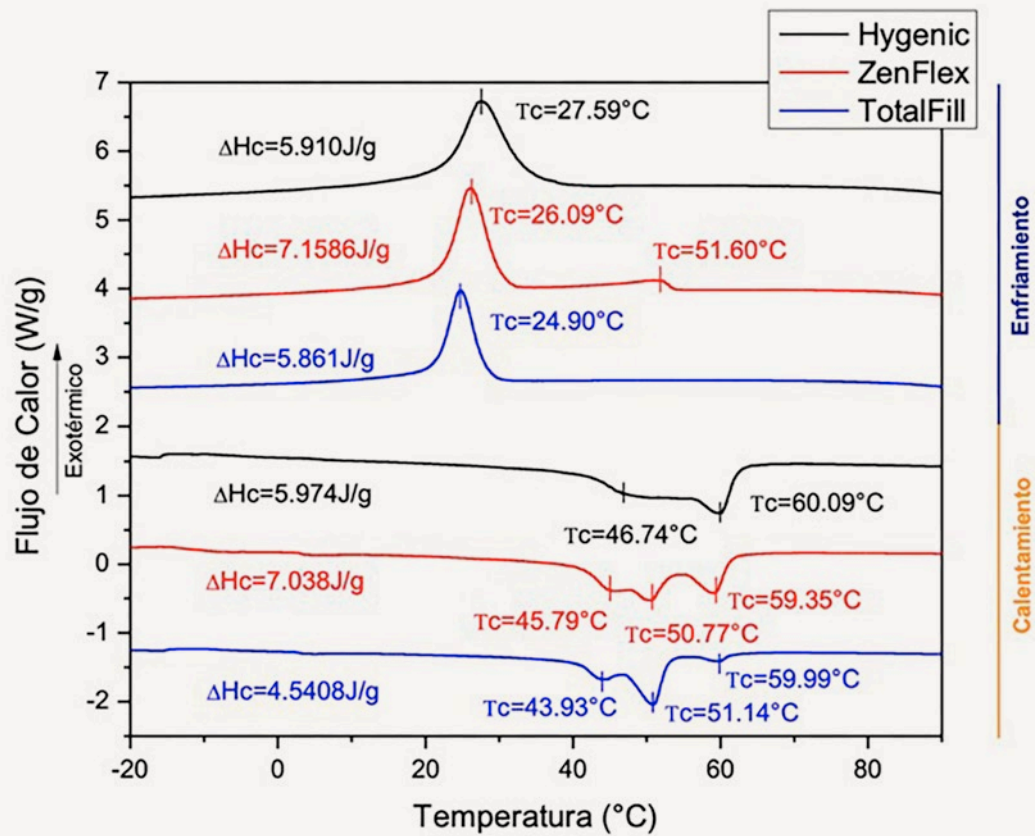


Figura 2. Termogramas de los gutapercha Hygenic Coltene® (negro), ZenFlex Kerr™ (rojo) y TotalFill BC Points® (azul).

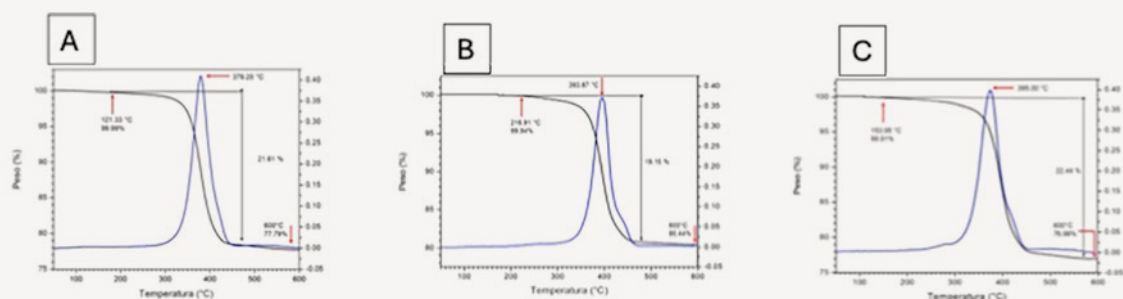
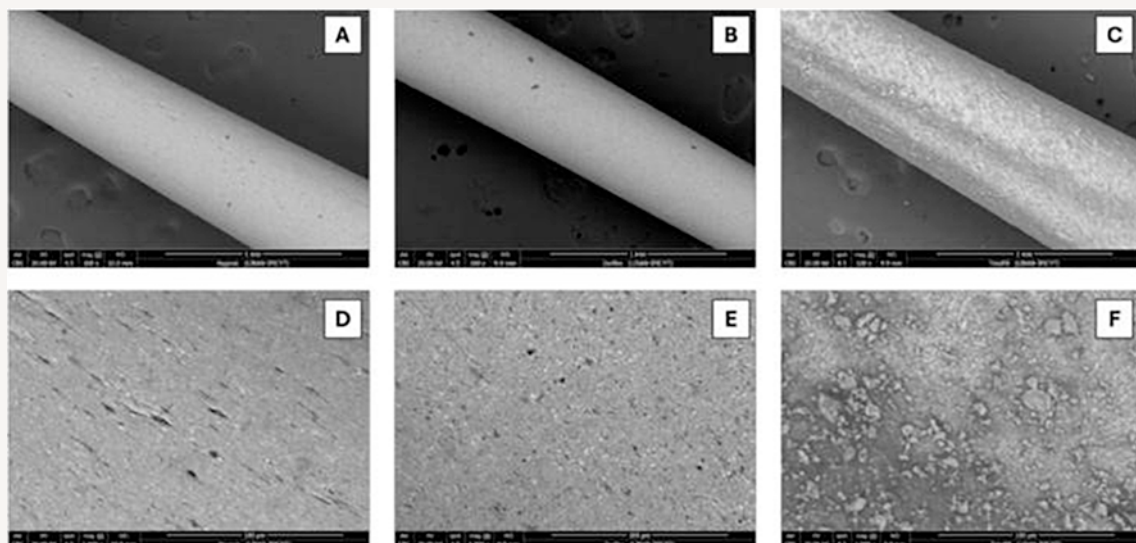


Figura 3. Análisis termogravimétrico (TGA): Grupo A (Hygenic Coltene®), Grupo B (ZenFlex™), Grupo C (TotalFill BC Points®).



Figuras 4. Microscopía electrónica de barrido con técnica de detección por electrones retrodispersados (CBS) del cono de gutapercha Hygenic Coltene®. A)100x y D)1000x. ZenFlex Kerr™ B)100x y E)1000x. TotalFill BC Points® C)100x y F) 1000x.

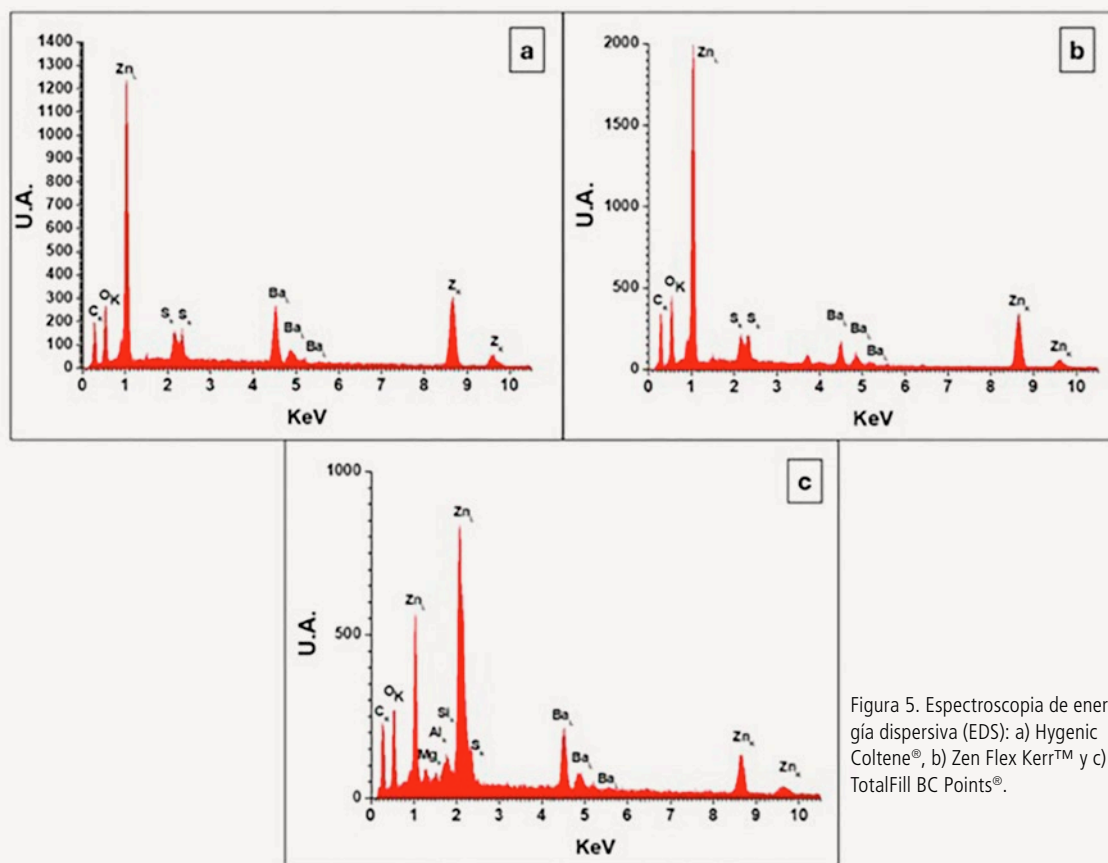


Figura 5. Espectroscopia de energía dispersiva (EDS): a) Hygenic Coltene®, b) Zen Flex Kerr™ y c) TotalFill BC Points®.

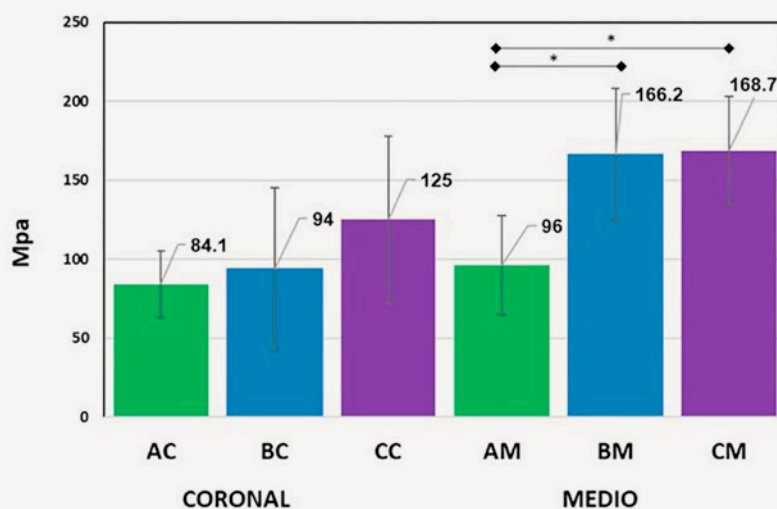


Figura 6. Resistencia al desalojo obtenidos en los tercios coronal (C) y medio (M) de los tres grupos experimentales: Hygenic Coltene® (A), ZenFlex Kerr™ (B) y TotalFill BC Points (C).

Referencias bibliograficas

1. Giudice-García A, Torres-Navarro J. Obturación en endodoncia - Nuevos sistemas de obturación: revisión de literatura. *Rev Estomatol Herediana*. 2011;166-74..
2. Cimpean SI, Burtea ALC, Chiorean RS, Dudescu MC, Antoniac A, Robu A, et al. Evaluation of Bond Strength of Four Different Root Canal Sealers. *Materials*. 2022;15(14).
3. Sinhal TM, Shah RRP, Jais PS, Shah NC, Hadwani KD, Rothe T, et al. An in vitro comparison and evaluation of sealing ability of newly introduced c-point system, cold lateral condensation, and thermoplasticized gutta-percha obturating technique: A dye extraction study. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):164-9.
4. Bugea C, Cerutti F, Ongaro F, Sforza F, Scarano A, Rampino M, et al. Post-operative pain and one year follow up success rate of warm vertical compaction, single cone, coneless and bioconeless obturation methods. *J Osseointegr*. 2022;14(4):209-16.
5. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical Outcome of Non- Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod*. 2018;44(6):941-5.
6. Vasconcelos I, Manilha C, Ginjeira A. A survey on root canal obturation trends: warm versus cold obturation technique. *G Ital Endod*. 2022;36(1):151-62.
7. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical Outcome of Non- Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod*. 2018;44(6):941-5.
8. Cimpean SI, Burtea ALC, Chiorean RS, Dudescu MC, Antoniac A, Robu A, et al. Evaluation of Bond Strength of Four Different Root Canal Sealers. *Materials*. 2022 Jul 1;15(14).
9. Arjunan V, Subramanian S, Mohan S. Fourier transform infrared and Raman spectral analysis of trans-1,4-polyisoprene [Internet]. Vol. 57, *Spectrochimica Acta Part A*. 2001. Available from: www.elsevier.com/locate/saa
10. Chen D, Shao H, Yao W, Huang B. Fourier transform infrared spectral analysis of polyisoprene of a different microstructure. *Int J Polym Sci*. 2013;2013.
11. Chen CM, Tseng CN, Cho JJ, Lee YZ, Kao CL, Cheng YB, et al. Heat shock induces expression of OSTC/DC2, a novel subunit of oligosaccharyl-transferase, *in vitro* and *in vivo*. *Kaohsiung J Med Sci*. 2014;30(5):219-23. doi:10.1016/j.kjms.2014.01.003
12. Song W, Li S, Tang Q, Chen L, Yuan Z. In vitro biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics (Review). *Int J Mol Med*. 2021;48(1).
13. Tay FR, Loushine RJ, Monticelli F, Weller R, Norman, Breschi L, Ferrari M, et al. Effectiveness of Resin-Coated Gutta-Percha Cones and a Dual-Cured, Hydrophilic Methacrylate Resin-Based Sealer in Obturating Root Canals. Vol. 31, *Basic Research-Technology JOE*. 2005.
14. Quaresma SAL, Alves dos Santos GN, Silva-Sousa AC, Camargo RV, Silva-Sousa YT, Lopes-Oliveira FC, et al. Influence of bioceramic cones on the quality of root canal filling relative to bond strength and adaptation of the adhesive interface. *Clin Oral Investig*. 2023;27(12).
15. Huang PC, Wu YT, Hsu YH, Liao SC, Wang YH, Gutmann JL, et al. The investigation of composition and thermal behavior of two types of backfilling gutta-percha. *J Dent Sci*. 2023;18(1):414-9.
16. Endod J. 2021;54(11):2125-32. Hsu YH, Wang HH, Shen YK, Gutmann JL, Hsieh SC. Thermal behavior and viscoelastic properties of gutta-percha used for backfilling the root canal. *J Dent Sci*. 2020;15(1):28-33.
17. Debelian G, Plotino G. Filling of Root Canals After Minimally Invasive Preparation. In: *Minimally Invasive Approaches in Endodontic Practice*. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 109-35.

Recubrimiento pulpar directo con Biodentine en incisivo central permanente joven: reporte de caso clínico

Direct pulp capping with Biodentine in a young permanent maxillary central incisor: case report

CD Yoela Ludivina García Llanes
Residente del posgrado de Endodoncia
Integral

CDEE Claudia Lisette Saavedra-Martínez
Profesor y coordinador del posgrado de
Endodoncia Integral, Facultad de Odontolo-
gía Mexicali, Universidad Autónoma de Baja
California, México

CDEE Dulce Martha Fuchen-Ramos
Profesor y coordinador del posgrado de
Endodoncia Integral, Facultad de Odontolo-
gía Mexicali, Universidad Autónoma de Baja
California, México

Resumen

Introducción: el recubrimiento pulpar directo busca preservar la vitalidad y promover dentina reparativa en exposiciones mínimas. **Presentación del caso:** paciente femenina de 12 años de edad, con pulpitis reversible en incisivo central superior derecho (1.1). Tras eliminación de caries profunda y control hemorrágico, se aplicó hidróxido de calcio y sellado temporal. En la segunda cita estuvo asintomática. Se colocó Biodentine™ y base de ionómero de vidrio. **Discusión:** la bioactividad y estética de Biodentine son ideales para el sector anterior. Según guías clínicas, se requieren controles a 1, 3 y 6 meses. La evolución favorable sustenta el uso de biocerámicos para evitar el tratamiento endodóntico y conservar la función biológica dental.

Palabras clave: Recubrimiento de la pulpa dental, Biodentine, Pulpitis, Dentición permanente.

Abstract

Introduction: direct pulp capping aims to preserve vitality and promote reparative dentin in minimal exposures. **Case presentation:** a 12-year-old female with reversible pulpitis in the maxillary right central incisor (1.1) is reported. After deep caries removal and hemorrhagic control, calcium hydroxide and a temporary seal were applied. During the second appointment, being asymptomatic, Biodentine™ was placed with a glass ionomer base. **Discussion:** Biodentine's bioactivity and aesthetics are ideal for the anterior sector. Clinical guidelines require follow-ups at 1, 3, and 6 months. The favorable outcome supports using bioceramics to avoid endodontic treatment and conserve biological dental function.

Keywords: Dental pulp capping, Biodentine, Pulpitis, Dentition permanent.

Introducción

La preservación de la vitalidad pulpar constituye un objetivo esencial dentro de la endodoncia moderna. Cuando la pulpa mantiene su capacidad de defensa y reparación frente a estímulos leves, la terapia pulpar vital permite conservar la fisiología del complejo dentino-pulpar y prolongar la vida útil del diente (1,2).

El recubrimiento pulpar directo (RPD) está indicado ante exposiciones mecánicas o cariosas limitadas, siempre que la pulpa presente un estado inflamatorio reversible y se logre un control adecuado de la hemorragia. El hidróxido de calcio ha sido históricamente el material de elección por su capacidad para inducir la formación de dentina reparativa; sin embargo, su solubilidad y débil adhesión pueden comprometer la estabilidad a largo plazo (3,4).

El MTA representó un avance por su bioactividad y sellado marginal superior, pero su tiempo de fraguado prolongado, manipulación compleja y potencial de pigmentación dental limitaron su uso en dientes anteriores (5-7).

Biodentine, un biocerámico a base de silicato tricálcico, ha mostrado alta biocompatibilidad, liberación de iones calcio e hidroxilo y formación acelerada de dentina reparativa, con un tiempo de fraguado clínicamente favorable (≈12 minutos) y sin riesgo de pigmentación (8-10).

Las guías clínicas más recientes de la European Society of Endodontology (ESE, 2024) y de la American Association of Endodontists (AAE, 2021) recomiendan las terapias pulpares vitales como primera opción en dientes jóvenes con exposiciones controladas, siempre que se cumplan criterios estrictos de diagnóstico, aislamiento y control hemorrágico (11,12).

Presentación del caso

Se presentó a la clínica del Posgrado de Endodoncia Integral de la Universidad Autónoma de Baja California una paciente femenina de 12 años (ASA I), referida para la valoración del incisivo central superior derecho (órgano dental 1.1). El diente contaba con una indicación inicial de tratamiento endodóntico convencional.

Durante la anamnesis, la paciente refirió ausencia de sintomatología espontánea o dolor a la masticación. A la exploración clínica, se observó una lesión cariosa profunda en la cara mesial (ICDAS 5), con tejidos periodontales sanos y ausencia de movilidad. Las pruebas de sensibilidad térmica (frío) resultaron positivas y proporcionales al diente contralateral (2.1), indicando vitalidad pulpar. Radiográficamente, se confirmó una zona radiolúcida compatible con caries profunda en estrecha proximidad al cuerno pulpar mesial, con lámina dura continua y espacio del ligamento periodontal conservado (Fig. 1). Basado en los criterios de la American Association of Endodontists (AAE), se estableció el diagnóstico de pulpitis reversible y tejidos apicales sanos (13,14).



Fig. 1. Radiografía periapical inicial del incisivo central superior derecho (1.1) con lesión cariosa profunda en proximidad al cuerno pulpar, sin alteraciones periapicales, así como fotografía clínica del diente.

Protocolo clínico

Primera sesión

Bajo anestesia local infiltrativa (lidocaína al 2 %), se realizó aislamiento absoluto modificado, con técnica de wedjets para optimizar el control de humedad sin comprometer la integridad gingival (Fig. 2). La remoción de tejido cariado se ejecutó con fresa de carburo de bola No. 2, estéril, bajo irrigación constante, produciéndose una exposición pulpar mínima en la pared mesial. Se logró una hemostasia inmediata (menor a un minuto) mediante presión mecánica con torundas estériles embebidas en solución salina (Fig. 3).

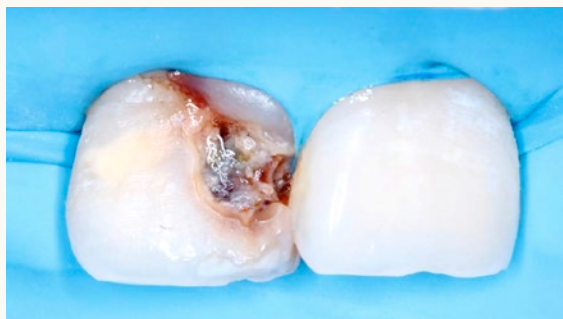


Fig. 2. Campo operatorio, aislamiento absoluto modificado sin grapa.

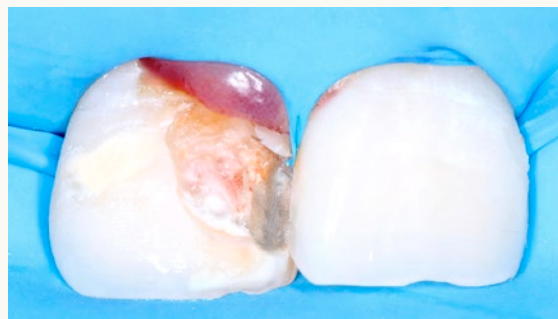


Fig. 3. Hemostasia controlada posterior a la exposición pulpar mínima durante la eliminación de caries, mediante torundas estériles humedecidas con solución salina.

Como fase de medicación intermedia, se aplicó una capa de hidróxido de calcio químicamente puro sobre la exposición, aprovechando su potencial alcalino y capacidad inductora de puentes de dentina reparativa (1) (Fig. 4). La cavidad se protegió mediante un apósito provisional de teflón y Cavit™ (3M ESPE, Seefeld, Alemania) para asegurar la hermeticidad coronaria y monitorizar la respuesta biológica inicial.

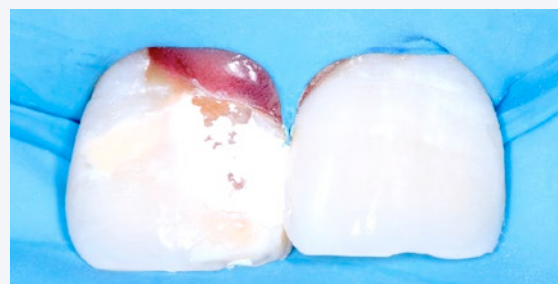


Fig. 4. Colocación de hidróxido de calcio puro sobre la exposición pulpar.

Segunda sesión

Transcurrido el período de observación de una semana, la paciente permaneció asintomática. Tras el reaislamiento del campo operatorio y la remoción del sellado temporal, se constató la ausencia de exudado inflamatorio y se verificó la integridad del recubrimiento primario, confirmando una respuesta pulpar favorable para el sellado definitivo. Se procedió a la colocación de Biodentine™ (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Francia) siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante, respetando un tiempo de fraguado de 12 minutos para garantizar su estabilidad estructural (Fig. 5).



Fig. 5. Colocación de Biodentine™ sobre la exposición pulpar.

Posteriormente, se aplicó Ionoseal® (VOCO GmbH, Cuxhaven, Alemania) como barrera intermedia de ionómero de vidrio fotopolimerizable (Fig. 6). La restauración definitiva fue referida a la especialidad de Prostodoncia para su manejo estético. Se indicaron controles clínicos y radiográficos a 1, 3 y 6 meses, conforme a los protocolos de la European Society of Endodontology (ESE) (11).

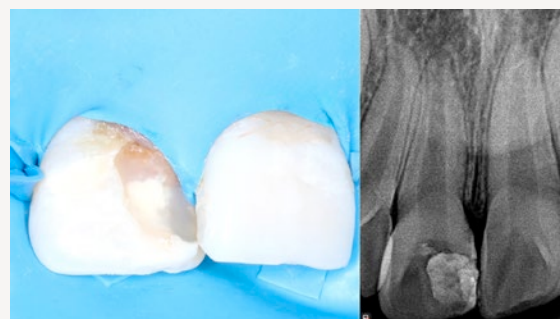


Fig. 6. Sellado coronal posterior al fraguado del Biodentine con ionómero de vidrio fotopolimerizable (Ionoseal®).

Discusión

El éxito del recubrimiento pulpar directo depende de la adecuada interacción entre factores biológicos y operatorios. Entre los más relevantes se encuentran el diagnóstico pulpar preciso, la prevención de contaminación bacteriana, el control eficiente de la hemorragia y el mantenimiento estricto del aislamiento absoluto. En conjunto, estos elementos favorecen un microambiente propicio para la reparación del complejo dentino-pulpar y disminuyen la probabilidad de progresión hacia inflamación irreversible (11,15).

En el presente caso, el diagnóstico de pulpitis reversible, la exposición pulpar mínima, la hemostasia obtenida en menos de un minuto y la ausencia de sintomatología postoperatoria constituyeron condiciones favorables para un abordaje conservador. La decisión de preservar la vitalidad pulpar se sustentó en las recomendaciones vigentes de la AAE y la ESE, las cuales señalan que, ante exposiciones localizadas en dientes jóvenes con respuesta pulpar compatible con inflamación reversible, el recubrimiento pulpar directo representa una alternativa terapéutica apropiada (11,12).

En este contexto, Biodentine ha mostrado ventajas relevantes respecto a materiales tradicionales. Su composición a base de silicato tricálcico se asocia con bioactividad y liberación sostenida de iones calcio e hidroxilo, lo que

contribuye a modular la respuesta tisular y favorecer la formación de dentina reparativa, con una respuesta inflamatoria limitada (4,9,18). Lo anterior contrasta con las limitaciones atribuidas al hidróxido de calcio, particularmente su solubilidad y su menor capacidad de sellado, factores que pueden comprometer el desempeño clínico a largo plazo (3,16).

En comparación con el MTA, Biodentine ofrece características clínicamente ventajosas, como manipulación más sencilla y tiempo de fraguado reducido (aproximadamente 12 minutos). Asimismo, la ausencia de pigmentación constituye un aspecto relevante en dientes anteriores, donde la estabilidad cromática es un objetivo terapéutico prioritario (5-8,17). Adicionalmente, se ha descrito la formación de depósitos tipo hidroxiapatita en la interfase dentina-material, lo cual favorece un sellado químico estable y potencialmente reduce el riesgo de microfiltración y reinfección secundaria (4,9).

La evidencia clínica disponible respalda su efectividad. Se ha reportado formación de puentes dentinarios más homogéneos y mantenimiento de la vitalidad pulpar en dientes permanentes tratados mediante recubrimiento pulpar directo con Biodentine (19). De forma concordante, ensayos clínicos han mostrado tasas de éxito elevadas en terapias pulpares vitales utilizando biomateriales a base de silicato tricálcico, destacando su biocompatibilidad y estabilidad clínica (20).



27°

SEMINARIO DE **ENDODONCIA** MÉRIDA YUCATÁN 2026



23 y 24
OCTUBRE

Hotel Holiday Inn
Paseo de Montejo



Dr. Juan Goncalves



D.D.S - M.Sc Jenner Argueta



**Precios antes
del 30 de
septiembre**



Estudiantes **\$ 2,500**
Socios **\$2,500**
No socios **\$3,800**



Después del 30 de septiembre
todas las categorías **+\$200**



Incripciones al
 **Whats App**
9991 48 55 15

Evento científico • Coffee Break • Expo comercial • Rompe hielo • Aval ante el CME



Endodoncistas del Sureste



@endodoncistasdelsureste

Desde una perspectiva clínica, la conservación de la vitalidad pulpar en pacientes jóvenes aporta beneficios biológicos y funcionales sustanciales, al mantener la homeostasis del complejo dentino-pulpar y permitir la aposición continua de dentina secundaria, lo que puede contribuir a la longevidad del órgano dental (1). Este enfoque se encuentra alineado con los principios contemporáneos de odontología mínimamente invasiva, orientados a preservar tejido sano y evitar tratamientos endodónticos innecesarios.

Finalmente, aunque la evolución clínica inicial fue favorable, resulta indispensable el seguimiento clínico y radiográfico a mediano y largo plazo para confirmar la formación de dentina reparativa y la estabilidad funcional del diente. La ausencia de microfiltración marginal y el mantenimiento de una respuesta pulpar normal comparable serán determinantes para el éxito definitivo del tratamiento (11).

En conclusión, el recubrimiento pulpar directo con Biodentine constituye una alternativa conservadora, predecible y estéticamente favorable para exposiciones pulpares limitadas en dientes permanentes jóvenes. En este caso, la hemostasia, el aislamiento absoluto y el uso de un biomaterial bioactivo fueron determinantes para la evolución clínica favorable. La evidencia respalda a los materiales a base de silicato tricálcico por su capacidad de favorecer la formación de dentina reparativa y un sellado eficaz; por lo tanto, es pertinente priorizar la conservación de la vitalidad pulpar antes de indicar tratamientos endodónticos más invasivos.

Referencias bibliográficas

- Colloc T, Tomson P. Contemporary concepts in vital pulp therapy: From biology to clinical application. *Int Endod J*. 2025;58:145-160.
- Seltzer S, Bender IB. Pulpal reactions to caries and dental procedures. In: *The Dental Pulp*. Philadelphia: J.B. Lippincott. 1984:201-245.
- Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: A systematic review. *J Endod*. 2011;37:581-587.
- Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*. 2014;42:568-576.
- Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 1999;25:197-205.
- Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2005;31:97-100.
- Vivan RR, Zapata RO, Zeferino MA, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, Moraes IG. Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and experimental root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;110:250-256.
- Parinyaprom N, Nirunsittirat A, Chuveera P, Na Lampang S, Srisuwan T, Sastraruji T. Outcomes of direct pulp capping by using either ProRoot MTA or Biodentine in permanent teeth with carious pulp exposure in 6-18 year old patients: A randomized controlled trial. *J Endod*. 2018;44:341-348.
- Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGE, Verbeeck RMH. Biodentine material characteristics and clinical applications: A review of the literature. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2018;19:1-22.
- Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater* 2013;29:e20-e28.
- European Society of Endodontology. ESE position statement: Management of vital pulp treatment. *Int Endod J*. 2024;57:3-15.
- American Association of Endodontists. Clinical considerations for a regenerative procedure. Chicago: American Association of Endodontists; 2021.
- Ingle JJ, Bakland LK, Baumgartner JC. *Ingle's Endodontics*. 7th ed. Shelton (CT): PMPH USA; 2019.
- American Association of Endodontists. Glossary of Endodontic Terms. 8th ed. Chicago: American Association of Endodontists; 2009.
- Tomson PL, Simon S. Management of deep caries and the exposed pulp. *Br Dent J*. 2023;234:87-96.
- Asgary S, Ahmadyar M, Nosrat A. Sealing ability and biocompatibility of a new endodontic cement as compared with mineral trioxide aggregate. *J Conserv Dent*. 2018;21:125-130.
- Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of Biodentine and conventional root-end filling materials. *J Endod*. 2013;39:380-384.
- Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, Sporniak-Tutak K, Lichota D, Kosierkiewicz A, Buczkowska-Radlińska J. Response of human dental pulp capped with Biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2013;39:743-747.
- Nowicka A, Wilk G, Lipski M, Kolečki J, Buczkowska-Radlińska J, Kaczmarek U. Clinical and radiographic evaluation of direct pulp capping in permanent teeth with Biodentine. *Clin Oral Investig*. 2018;22:2401-2409.
- Taha NA, Khazali MA. Partial pulpotomy in mature permanent teeth with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: A randomized clinical trial. *J Endod*. 2017;43:1417-1421.

NOS MANTENEMOS A LA VANGUARDIA EN

TECNOLOGÍA

Tomografía Volumétrica
Cone Beam 3D

3D

CineX
Imágenes
Dinámicas

Escaner Facial
Shining® 3D

DRD
DIAGNÓSTICO 3D

¡INGRESE AHORA A
NUESTRO LINKTREE!



linktr.ee/drd3d

Escaneo Intraoral
3Shape®, Panda®
y Shining®

SUCURSALES Y CRECIENDO...

SATÉLITE 3D
IZTACALCO 3D

POLANCO 3D
NEZAHUALCÓYOTL 3D

COAPA 3D
PEDREGAL SJ 3D

LINDAVISTA VALLEJO 3D
DEL VALLE 3D / EXPRESS

INTERLOMAS 3D
ECATEPEC

TEPOZÁN
ROMA

DRD Diagnóstico 3D®. Corporativo DRD3D®, Aula DRD3D®, DRD3D Express®, DRD3D Express®, Baranadar 3D®, y Guías Quilológicas DRD3D®, son marcas comerciales registradas. Arte y contenidos © 2020, Grupo DRD3D.

PROTECCIÓN DIARIA QUE SE SIENTE

GUM® ADVANCED CARE
CUIDA TU BOCA COMO SE MERECE

NUEVO SISTEMA DE USO DIARIO

