

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA  
PROGRAMA DE LA ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**



**ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE  
LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL, EDGEBIOCERAMIC  
SEALER Y NEOSEALER FLO**

**TRABAJO TERMINAL QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**

**PRESENTA**

**C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ**

**PRESIDENTE**

**DRA. EUSTOLIA RODRÍGUEZ VELÁZQUEZ**

**SINODAL**

**DRA. MARÍA ELENA DE LOS ÁNGELES  
HOFMANN SALCEDO**

**SINODAL**

**DRA. ANA GABRIELA CARRILLO  
VÁRGUEZ**

**SINODAL**

**DR. MANUEL ALATORRE MEDA**

**TIJUANA, BAJA CALIFORNIA; MÉXICO**

**JUNIO 2023**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA TIJUANA  
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**

**“2023, año de la concienciación sobre las personas con trastorno del espectro autista”**

Tijuana, Baja California a, 2 de junio de 2023

**AL COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Por medio del presente, me permito informar que el trabajo: ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL , EDGEBIOCERAMIC SEALER Y NEOSEALER FLO.

Propuesto por la C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ, fue revisado y ha sido aprobado para su impresión.

Por lo que el sustentante puede continuar con el proceso del examen recepcional.

**A T E N T A M E N T E  
“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**



**DRA. EUSTOLIA RODRÍGUEZ VELÁZQUEZ  
PRESIDENTE**

Ccp.- Archivo.

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA TIJUANA  
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**  
“2023, año de la concienciación sobre las personas con trastorno del espectro autista”

Tijuana, Baja California a, 2 de junio de 2023

**AL COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Por medio del presente, me permito informar que el trabajo: ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL , EDGEBIOCERAMIC SEALER Y NEOSEALER FLO.

Propuesto por la C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ, fue revisado y ha sido aprobado para su impresión.

Por lo que el sustentante puede continuar con el proceso del examen recepcional.

**A T E N T A M E N T E**  
**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**

  
**DRA. MARÍA ELENA DE LOS ÁNGELES HOFMANN SALCEDO**  
SINODAL

Ccp.- Archivo.

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA TIJUANA  
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA  
“2023, año de la concienciación sobre las personas con trastorno del espectro autista”**

Tijuana, Baja California a, 2 de junio de 2023

**AL COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Por medio del presente, me permito informar que el trabajo: ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL , EDGEBIOCERAMIC SEALER Y NEOSEALER FLO.

Propuesto por la C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ, fue revisado y ha sido aprobado para su impresión.

Por lo que el sustentante puede continuar con el proceso del examen recepcional.

**A T E N T A M E N T E  
“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**



**DRA. ANA GABRIELA CARRILLO VÁRGUEZ  
SINODAL**

Ccp.- Archivo.

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA TIJUANA  
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**

**“2023, año de la concienciación sobre las personas con trastorno del espectro autista”**

Tijuana, Baja California a, 2 de junio de 2023

**AL COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Por medio del presente, me permito informar que el trabajo: ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL , EDGEBIOCERAMIC SEALER Y NEOSEALER FLO.

Propuesto por la C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ, fue revisado y ha sido aprobado para su impresión.

Por lo que el sustentante puede continuar con el proceso del examen recepcional.

**ATENTAMENTE  
“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**

  
**DR. MANUEL ALATORRE MEDA**  
SINODAL

Ccp.- Archivo.

**ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y  
RADIOPACIDAD DE LOS CEMENTOS SELLADORES  
CERASEAL, EDGEBIOCERAMIC SEALER Y  
NEOSEALER FLO**

**PRESENTA**

*Liliana Avilez  
Lopez.*

\_\_\_\_\_  
C.D. LILIANA AVILEZ LOPEZ

**PRESIDENTE  
(DIRECTORA DEL PROYECTO)**

*Eustolia Rodríguez Velázquez*  
\_\_\_\_\_  
DRA. EUSTOLIA RODRIGUEZ VELÁZQUEZ

**SINODALES  
(CO-DIRECTORES DEL PROYECTO)**

*Maria Elena de los Angeles Hofmann Salcedo*  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA ELENA DE LOS ÁNGELES  
HOFMANN SALCEDO

*Ana Gabriela Carrillo Vázquez*  
\_\_\_\_\_  
DRA. ANA GABRIELA CARRILLO  
VÁRGUEZ

*Manuel Alatorre Meda*  
\_\_\_\_\_  
DR. MANUEL ALATORRE MEDA

Tijuana, Baja California, 2 de junio de 2023

**ESTUDIO *IN VITRO* DE LA ESTABILIDAD Y RADIOPACIDAD DE  
LOS CEMENTOS SELLADORES CERASEAL, EDGEBIOCERAMIC  
SEALER Y NEOSEALER FLO**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Blanquita y Roman que fueron mi principal fuente de apoyo, mi aliento cuando más necesitaba de él, quienes me dieron la vida y la posibilidad de experimentar lo maravillosa que es. Ellos me dieron la base para poder llegar a ser quien soy ahora. Gracias por su amor incondicional, paciencia y sacrificio para hacer posible mi educación.

A mi hermana Romina por ser la felicidad de mi vida, por ser mi fuente de inspiración motivación y confianza. Gracias por creer en mí y por ayudarme a alcanzar este logro. Gracias a su apoyo, a su amor incondicional, a su enorme amabilidad y acompañamiento, lo difícil se hizo más fácil y llevar a feliz término este proyecto se hizo una realidad.

A Perlita por ser mi compañera de estudios y de noches de largo trabajo.

Les agradezco, y hago eco de mi enorme aprecio hacia ustedes, mi hermosa familia.

A Francisco por creer en mí. Gracias por tu amor incondicional, por tus abrazos reconfortantes, por tus palabras de aliento y por tus consejos sabios.

A la Dra. Ana Gabriela Carrillo Vázquez por sus conocimientos, aportaciones y por darme la oportunidad de pertenecer al posgrado de endodoncia UABC.

Mi infinita gratitud a la directora de este proyecto la Dra. Eustolia Rodríguez Velázquez. Sin usted y sus virtudes, su paciencia, conocimiento y constancia este trabajo no lo hubiese logrado. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite; por estar allí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas. Gracias por sus orientaciones.

A mi Co-Director Dr. Manuel Alatorre Meda por compartir sus valiosos conocimientos.

A mi Co-Directora Dra. María Elena de los Ángeles Hofmann Salcedo por su sus conocimientos y su contribución a este trabajo.

## *AGRADECIMIENTOS*

Y finalmente agradezco a mis compañeros de posgrado quienes hicieron esta estadía tan amena, con quienes compartí maravillosas aventuras y anécdotas que siempre llevare en el corazón.

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Quiero agradecer a las siguientes instituciones:

A CONACyT por la beca otorgada, No. CVU: 1141347.

A los miembros del Laboratorio de Cultivo Celular y Microscopia Confocal del Instituto Tecnológico de Tijuana, por recibirnos en su Institución y apoyarnos en la realización de la experimentación de este proyecto de investigación.

Finalmente, agradezco a los siguientes proyectos:

- Proyecto de PRODEP: UABC-PTC-689 / Responsable: Dra. Eustolia Rodríguez Velázquez.
- Proyecto de CONACyT: INFR-2015-251863 / Responsable: Dr. Manuel Alatorre Meda.
- Proyecto de CONACyT: PDCPN-2015-89 / Responsable: Dr. Manuel Alatorre Meda.

**CONTENIDO**

|  |            |
|--|------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                 | <b>I</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES</b> ..... | <b>III</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....               | <b>VII</b> |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                | <b>IX</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....            | <b>X</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....           | <b>XI</b>  |
| <b>I. RESUMEN</b> .....                      | <b>1</b>   |
| <b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....                | <b>3</b>   |
| 2.1. ENDODONCIA .....                        | 3          |
| 2.2. TRIADA ENDODÓNTICA.....                 | 4          |
| 2.3. OBTURACIÓN .....                        | 5          |
| 2.3.1. MATERIALES DE OBTURACIÓN.....         | 5          |
| 2.3.2. COMPLICACIONES DE LA OBTURACIÓN ..... | 6          |
| 2.4. EXTRUSIÓN APICAL.....                   | 6          |
| 2.5. CEMENTOS SELLADORES .....               | 8          |
| 2.5.1. TIPOS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS .....  | 9          |
| 2.6. BIOCERÁMICOS .....                      | 10         |
| 2.6.1. CERASEAL .....                        | 14         |
| 2.6.2. EDGEBIOCERMIC SEALER.....             | 15         |
| 2.6.3. NEOSEALER FLO.....                    | 16         |
| <b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> ..... | <b>18</b>  |
| <b>IV. JUSTIFICACIÓN</b> .....               | <b>19</b>  |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>V. HIPÓTESIS .....</b>   | <b>20</b> |
| 5.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....  | 20        |
| 5.2. HIPÓTESIS NULA (H0).....   | 20        |
| 5.3. HIPÓTESIS ALTERNATIVAS .....   | 20        |
| 5.3.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA 1 (H1) .....                                   | 20        |
| 5.3.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA 2 (H2) .....                                   | 20        |
| <b>VI. OBJETIVOS.....</b>   | <b>21</b> |
| 6.1. OBJETIVO GENERAL.....  | 21        |
| 6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 21        |
| <b>VII. VARIABLES .....</b>   | <b>22</b> |
| 7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.....  | 22        |
| 7.2. VARIABLES DEPENDIENTES .....   | 22        |
| 7.3. OPERACIÓN DE VARIABLES.....  | 22        |
| <b>VIII. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                                      | <b>23</b> |
| 8.1. TIPO DE ESTUDIO .....  | 23        |
| 8.2. UNIVERSO DE ESTUDIO.....   | 23        |
| 8.3. MATERIALES E INSTRUMENTAL.....   | 24        |
| 8.4. METODOLOGÍA .....  | 25        |
| 8.4.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....                                    | 25        |
| 8.4.2. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LAS MUESTRAS....              | 26        |
| 8.4.3. EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LA RADIOPACIDAD DE LAS<br>MUESTRAS ..... | 27        |
| 8.4.4. ANÁLISIS DE IMAGEN .....   | 28        |
| 8.4.5. EVALUACIÓN DEL pH DE LAS MUESTRAS .....                              | 29        |
| 8.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....   | 31        |
| <b>IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                     | <b>32</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 9.1. INSPECCIÓN FOTOGRAFÍA DE LOS CEMENTOS TRAS SU FRAGUADO ..... | 32        |
| 9.2. MONITORIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA CON EL TIEMPO .....  | 33        |
| 9.3. MONITORIZACIÓN DE LA RADIOPACIDAD CON EL TIEMPO .....        | 43        |
| 9.4. MONITORIZACIÓN DEL pH CON EL TIEMPO .....                    | 49        |
| <b>X. CONCLUSIONES .....</b>                                      | <b>53</b> |
| <b>XI. RECOMENDACIONES .....</b>                                  | <b>55</b> |
| <b>XII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                    | <b>56</b> |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Extrusión apical de cemento endodóntico ..... 8

Figura 2. CeraSeal ..... 14

Figura 3. EdgeBioceramic Sealer ..... 15

Figura 4. NeoSealer Flo ..... 17

Figura 5. Polivinil siloxano (izquierda) y dispositivo de fraguado de los sistemas (derecha)..... 25

Figura 6. Fotografías de equipo e instrumental..... 27

Figura 7. Radiografía periapical ..... 28

Figura 8. Análisis de imagen con el programa Image J ..... 29

Figura 9. Tiras indicadoras de pH..... 30

Figura 10. Fotografías de los cementos tras su fraguado en condiciones fisiológicas simuladas por 10 días ..... 32

Figura 11. Fotografías de los cambios dimensiones de los cementos biocerámicos ..... 34

Figura 12. Formación de cristales en las pastillas de cemento CeraSeal en agua destilada..... 35

Figura 13. Cambio de peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en agua destilada..... 36

Figura 14 Cambio en peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en PBS ..... 37

Figura 15. Cambio en peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en EDTA ..... 39

Figura 16. Radiografías de las pastillas de los cementos biocerámicos del estudio de la evolución de la radiopacidad..... 44

Figura 17. Histogramas de intensidad de grises de los estudios radiográficos de los cementos biocerámicos..... 45

Figura 18. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en agua destilada..... 46

Figura 19. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en PBS ..... 47

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| Figura 20. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en EDTA..... | 48 |
| Figura 21. Valores de pH de la solución de agua destilada.....              | 49 |
| Figura 22. Valores de pH de la solución de PBS .....                        | 50 |
| Figura 23. Valores de pH de la solución de EDTA.....                        | 51 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Lista de cementos bicericamicos endodóticos.....                                 | 12 |
| Tabla 2. Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) en PBS<br>.....  | 38 |
| Tabla 3. Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) en EDTA<br>..... | 41 |

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

|             |                                 |    |
|-------------|---------------------------------|----|
| Ecuación 1. | Cambio en peso (%).....         | 26 |
| Ecuación 2. | Cambio en radiopacidad (%)..... | 29 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|   |   |
|---|---|
| <b>ADA</b>  | Asociación Dental Americana, por sus siglas en inglés                     |
| <b>ANSI</b>   | Instituto Nacional Americano de Estandarización, por sus siglas en inglés |
| <b>ca.</b>  | Aproximadamente   |
| <b>Ca<sup>2+</sup></b>                                | Calcio  |
| <b>Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub> o C<sub>3</sub>S</b> | Silicato tricálcico   |
| <b>Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> o C<sub>2</sub>S</b> | Silicato dicálcico  |
| <b>CH o Ca(OH)<sub>2</sub></b>                        | Hidróxido de calcio   |
| <b>EDTA</b>   | Ácido etilendiaminotetraacético   |
| <b>i.e.</b>   | Es decir  |
| <b>ISO</b>  | Organización Internacional de Estandarización, por sus siglas en inglés   |
| <b>MTA</b>  | Mineral trióxido agregado   |
| <b>MTT</b>  | Bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil-2H-tetrazolio           |
| <b>NaCl</b>   | Hipoclorito de sodio  |
| <b>PEG</b>  | Polietilenglicol  |
| <b>PBS</b>  | Solución tamponada de fosfatos, por sus siglas en inglés                  |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>REP</b>                   | Procedimientos endodónticos regenerativos, por sus siglas en inglés |
| <b>SEM</b>                   | Microscopio electrónico de barrido, por sus siglas en inglés        |
| <b>(Sr,Ca)SO<sub>4</sub></b> | Sulfato de calcio que contiene estroncio, por sus siglas en inglés  |

## I. RESUMEN

**Introducción:** La estabilidad física y la radiopacidad son requisitos esenciales de los cementos selladores endodónticos, especialmente cuando estos son depositados en áreas distintas del sistema de conductos radiculares. Radiográficamente, un material suficientemente radiopaco permite una correcta evaluación del destino del material y sus cambios con el tiempo. En estos últimos años, ha aumentado significativamente el uso de los cementos biocerámicos, debido a que son materiales inorgánicos, bioactivos, biocompatibles, biodegradables y bioinertes. Los cementos biocerámicos son derivados del cemento Portland y están compuestos de vidrios cerámicos formadores de hidroxiapatita, los cuales gracias a sus propiedades físicas y químicas los convierten en materiales osteoinductores y osteoconductores. **Objetivo:** Determinar los cambios en peso y radiopacidad de los cementos endodónticos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo a través de estudios *in vitro*. **Metodología:** Se incubaron las muestras en forma de pastillas (n=4) por 10 días a 37 °C y 100% de humedad para su completo fraguado. El cambio en peso de las muestras se evaluó mediante la pérdida de peso (%) a través de fotografías y ensayos de gravimetría con una microbalanza analítica tras su incubación en agua, solución acuosa tamponada de fosfatos (PBS) y solución acuosa de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) a los tiempos de 0 h, 1, 3, 6, 16 días, 1, 2 y 6 meses. La radiopacidad de las muestras se evaluó mediante radiografías y análisis de imagen, tras su incubación en las soluciones antes mencionadas a los tiempos de 1, 3, 6 días, 1 y 2 meses. Los valores de pH de las muestras fueron evaluados tras su incubación en las soluciones de interés a distintos tiempos (0 h a 175 días). El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo empleando el método de Análisis de la Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) de un factor en conjunto con el método post hoc Bonferroni. **Resultados:** Se identificaron diferencias estadísticamente significativas en el cambio en peso de los cementos tras su incubación en las soluciones acuosas de PBS y EDTA. En lo que respecta a la incubación en PBS (difusión pasiva de iones), se identificó la primera diferencia

estadísticamente significativa para los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo fue entre los puntos de 1 y 4 meses, 1 y 2 meses, y 1 y 2 meses, respectivamente ( $p < 0.05$ ). En lo que respecta a la incubación en EDTA (difusión acelera de iones), se observó una disminución gradual en el tamaño y peso de las pastillas de los cementos EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, llegando hasta la completa disolución de la pastilla de NeoSealer Flo. Estos cementos exhibieron la primera diferencia estadísticamente significativa entre los puntos de 2 y 4 meses, y 6 y 16 días, respectivamente ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, a partir de radiografías y su análisis de intensidad en escala de grises se observó que los tres cementos objeto de estudio, exhibieron un decremento gradual mínimo en su radiopacidad durante su incubación en las tres soluciones de interés, demostrándose que no existe diferencia estadísticamente significativa en la radiopacidad, independientemente de la naturaleza del cemento y de la solución de incubación ( $p > 0.05$  en todas las comparaciones). **Conclusiones:** Con base en lo anterior se validó la hipótesis alternativa 1 (H1) de este proyecto de investigación.

## II. INTRODUCCIÓN

### 2.1. ENDODONCIA

La Endodoncia se define como la rama de la odontología que se encarga del estudio de la estructura, morfología, fisiología y patología de la pulpa dental y los tejidos periapicales, así como la prevención y el tratamiento de las alteraciones pulpares y de sus repercusiones sobre los tejidos perirradiculares. La endodoncia procura conservar los dientes cuya pulpa, por alguna razón, se encuentra afectada en forma irreversible o perdió la capacidad de mantenerse con vitalidad (1, 2).

El tratamiento endodóntico convencional consta de la preparación biomecánica, que se constituye de una serie de procedimientos mecánicos con la finalidad de limpiar, conformar y desinfectar el conducto radicular, auxiliada de productos químicos y mecánicos que favorezcan su conformación y desinfección por medio de irrigación y aspiración, para posteriormente realizar una obturación tridimensional, con el objetivo de lograr un sellado hermético en el conducto con materiales inertes o antisépticos que promuevan el sellado estable y tridimensional, y estimulen o no interfieran con el proceso de reparación (3, 4).

El tratamiento endodóntico convencional tiene un índice general de éxito de 92% a 98%, que puede acercarse a la cifra más baja de este intervalo cuando el período de seguimiento supera los 10 años (5–8).

El tratamiento no quirúrgico del conducto radicular de los dientes permanentes conlleva el uso de un tratamiento química, mecánica y biológicamente aceptables del sistema de los conductos radiculares, para favorecer la curación y la reparación de los tejidos perirradiculares (9).

Por lo tanto, la endodoncia se interrelaciona con algunas ciencias de la salud: ciencias básicas como la histología, microbiología, bioquímica, inmunología, y algunas ciencias clínicas como la periodoncia, medicina interna, y cirugía (4).

### 2.2. TRIADA ENDODÓNTICA

En 1958 Ingle introdujo los principios básicos de la *Triada Endodóntica*, señalando que eran indispensables para lograr un tratamiento de conductos exitoso. Para esto es necesario realizar tres pasos que nos proporcionarán una desinfección química y mecánica, estos pasos son la instrumentación, irrigación y obturación del sistema de conductos (10, 11).

El éxito del tratamiento endodóntico se basa al principio en la tríada de desbridamiento, desinfección exhaustiva y obturación, todos con la misma importancia, en donde se defienden los procedimientos basados en una evidencia científica sólida, conseguida con materiales y técnicas aceptables biológicamente. Ahora, el éxito del tratamiento de los conductos radiculares se basa en principios más amplios, que incluyen el diagnóstico y la planificación del tratamiento, el conocimiento de la anatomía y la morfología, los conceptos tradicionales de desbridamiento, desinfección exhaustiva y obturación, y la restauración coronal (10).

Los irrigantes son complementos químicos que son necesarios para mejorar el efecto antimicrobiano que se logró con la instrumentación y por lo tanto, aumentan la eficacia en la desinfección, otros elementos que entran dentro de la desinfección química son los medicamentos y cementos selladores, que son parte de la obturación (medicación intracanal) temporal y definitiva; estos elementos alcanzan bacterias y hongos presentes dentro de los túbulos dentinarios y en las ramificaciones del conducto (10, 12).

Es importante que se cumplan diversos objetivos durante la limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares, estos son: eliminación de tejidos duros y blandos infectados, facilitar el acceso a las soluciones de irrigación y desinfección hasta el tercio apical radicular, generar espacio para la colocación de medicamentos intraconducto y material de obturación, conservando la integridad de estructuras radiculares (10).

### **2.3. OBTURACIÓN**

En la obturación, se realiza el llenado de la porción instrumentada del conducto con materiales inertes o antisépticos que brinden un sellado estable, tridimensional y que estimulen el proceso de reparación, éste constituye el último paso de la triada endodóntica y con este paso se finaliza el tratamiento de conductos y la pieza dental puede continuar con la fase de restauración definitiva (10, 13).

La obturación del conducto radicular tiene el propósito principal de impedir el tránsito de fluidos desde los tejidos perirradiculares o saliva hacia el conducto, así como bacterias y sus factores de virulencia y antígenos del conducto hacia los tejidos circundantes periapicales (9).

La mayor parte de las técnicas de obturación endodóntica emplean un núcleo central y un cemento sellador. Con libertad del núcleo central, la utilización de un cemento sellador es sustancial en cada una de las técnicas para lograr la impermeabilidad a los fluidos (9).

#### **2.3.1. MATERIALES DE OBTURACIÓN**

La gutapercha, la cual está constituida en su mayoría (75%) por óxido de zinc, y se presenta en dos formas: estandarizada o convencional y se considera el elemento primario de la obturación (13). Este material presenta ciertos inconvenientes como la falta de adhesión a la dentina y ligera elasticidad, lo que hace que se pueda contraer y se separe de las paredes del conducto, pero existe la posibilidad de controlar su longitud de trabajo ya que se presenta como una pasta semisólida, para esto es necesario agregar una pasta de obturación (14).

Idealmente, el material de obturación debe restringirse al espacio intrarradicular. Los estudios han demostrado que la mayor tasa de éxito del tratamiento de endodoncia se observa en los dientes con obturaciones del conducto radicular que terminan 0 a 2 mm por debajo del ápice radiográfico, y los casos con obturaciones insuficientes o excesivas muestran tasas significativamente más bajas. Sin

embargo, hay circunstancias en las que no es posible controlar la aplicación del material y se genere cierta extrusión apical (15).

### 2.3.2. COMPLICACIONES DE LA OBTURACIÓN

En la práctica endodóntica nos podemos encontrar con múltiples complicaciones o accidentes realizando la obturación de los conductos radiculares en diferentes tiempos: problemas en la preparación de la obturación del conducto, problemas durante la obturación radicular y problemas identificados después de la obturación radicular.

Entre estos problemas podemos encontrar: la punta maestra no llega hasta la longitud de trabajo, esto sucede cuando se ha empacado debris dentinario en el ápice del conducto, se ha producido un escalón, el conducto no tiene una adecuada conicidad entre otras. Los conos de gutapercha son quebradizos, que es resultado al tiempo excesivo de almacenamiento. Otra de las complicaciones más frecuentes son la sobreextensión o sobreobturación que suceden cuando la instrumentación es excesiva más allá de la constricción apical, hay defectos de resorción apical no detectados, defectos incorporados al conducto durante la instrumentación como perforaciones o transportaciones, excesiva fuerza en la condensación, excesiva cantidad de sellador, usar un cono maestro demasiado pequeño, penetración excesiva del instrumento de condensación y cualquier combinación de las causas anteriores.

### **2.4. EXTRUSIÓN APICAL**

La extrusión apical es uno de los resultados no deseados más frecuentes en la fase de obturación. Cuando el material de obturación se extruye, el destino del material de relleno dependerá de su solubilidad en los fluidos tisulares y la susceptibilidad a la fagocitosis, mientras que su influencia en el resultado del tratamiento posiblemente dependa de la biocompatibilidad del material (16–18).

## II. INTRODUCCIÓN

Se ha sugerido que la menor tasa de cicatrización asociada con los sobreobturaciones es el resultado de la citotoxicidad del material de obturación radicular o de una reacción de cuerpo extraño a algunos de sus componentes (15, 18). También se ha sugerido que la aparición extra radicular de un material de obturación puede retrasar el proceso de curación de la periodontitis apical (16).

Los estudios han comparado los efectos de diferentes selladores en el resultado, pero ninguno de ellos se centró específicamente en los casos cuando ocurre una sobreobturación (15).

Se encontró evidencia que cuando el material que se extruía no era tan compacto, se encontraba disperso en secciones y se reabsorbía más rápidamente. Donde el exceso de material llenaba completamente el espacio periapical había necrosis del hueso. Se produjo reabsorción del hueso necrótico y del material de sobreobturación, tanto del ligamento periodontal como de la médula ósea roja adyacente (19).

Otros estudios indican que se ha observado reparación radiográfica de lesiones radiolúcidas perirradiculares de origen endodóntico en presencia de materiales de obturación extruidos (Figura 1) (20). Cuando se utilizaba el cemento de Mineral trióxido agregado (MTA) y Biodentine inducían una mejor respuesta celular de células de papila apical humana evaluada en condiciones *in vitro* mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) y bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil-2H-tetrazolio (MTT) en comparación con BioRoot®RCS e hidróxido de calcio (CH o  $\text{Ca(OH)}_2$ ) mezclado con hipoclorito de sodio (NaCl) al 0.9 % p/v o con polietilenglicol (PEG). Cuando corresponda, se debe usar  $\text{Ca(OH)}_2$  mezclado con PEG (21).

Otros hallazgos demuestran que el uso de materiales selladores con una buena biodegradación, como AH Plus, reducen el riesgo de infecciones y promueven la reparación apical cuando se extruyen accidentalmente sobre el foramen apical. Los resultados de este estudio demuestran que un efecto citotóxico potencial de un

material de sellado puede ser beneficioso para tener propiedades antibacterianas e inducir la autodegradación cuando estos se extruyen (5).



**Figura 1. Extrusión apical de cemento endodóntico**

*A) Radiografía periapical de la extrusión de cemento a base de resina post tratamiento endodóntico. B) Radiografía periapical de evolución a 1 año post tratamiento endodóntico (22).*

### **2.5. CEMENTOS SELLADORES**

Los cementos selladores del conducto radicular se usan en conjunción con un material de obturación biológicamente aceptable, semisólido o sólido, para conseguir un sellado adecuado del sistema de conductos radiculares (9).

Los cementos selladores del conducto radicular son necesarios para sellar el espacio entre la pared dentinaria y el material obturador. Los cementos selladores también llenan los huecos y las irregularidades del conducto radicular, los conductos laterales y accesorios, y los espacios que quedan entre las puntas de gutapercha usadas en la compactación lateral. Los cementos selladores actúan además como lubricantes durante el proceso de obturación. Grossman describió las propiedades del cemento sellador ideal. En la actualidad, ningún cemento sellador satisface todos los criterios (23, 24).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de un sellador endodóntico ideal deben cumplir con los criterios descritos por Grossman (1988), que incluyen una reacción pegajosa durante la mezcla, para proporcionar buena adherencia con la pared del conducto una vez fraguado, proporcionar un sellado hermético, ser radiopaco, para poder verlo en las radiografías, ser polvo muy fino, para poder mezclarlo fácilmente con el líquido, no contraerse al fraguar, no teñir la estructura dental, ser bacteriostático, o por lo menos no favorecer la proliferación bacteriana, fraguarse lentamente, ser insoluble en los fluidos tisulares, ser tolerado por los tejidos; es decir, no producir irritación del tejido perirradicular, ser soluble en un solvente común, si se precisa eliminar el relleno del conducto radicular (25).

Los cementos selladores deben ser biocompatibles y bien tolerados por los tejidos perirradiculares siendo los más populares son las mezclas de óxido de zinc-eugenol, el hidróxido de calcio, los ionómeros de vidrio y las resinas. Con independencia del cemento sellador seleccionado, todos ellos resultan tóxicos hasta que fraguan. Por esa razón se debe evitar su extrusión en los tejidos perirradiculares (9).

### 2.5.1. TIPOS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS

Los cementos selladores de óxido de zinc-eugenol se han utilizado exitosamente a lo largo de un largo tiempo. Dichos cementos selladores experimentan reabsorción si pasan a los tejidos perirradiculares (9, 26).

Inicialmente la presentación de este producto es en forma de polvo y de líquido, contenía partículas de plata para aportar radiopacidad pero tenían como inconveniente teñir la estructura dental si no se retiraban los excesos. Después se introdujo una formulación que no producía tinción (9).

Los cementos a base de Hidróxido de calcio se introdujeron para lograr una actividad terapéutica. Con una base fuerte con un pH alto, cuando está en contacto con una solución acuosa, se disocia en iones de calcio e hidroxilo induciendo la formación de tejido duro y actividad antimicrobiana. La solubilidad es necesaria para la liberación de  $\text{Ca(OH)}_2$  y para mantener su actividad (9, 21).

Los ionómeros de vidrio se han aconsejado para la obturación endodóntica debido a sus propiedades de adhesión a la dentina. Las aplicaciones dentales de los selladores de ionómero de vidrio aprovechan su unión a la dentina, la liberación de flúor, la actividad antimicrobiana y la biocompatibilidad. Sin embargo, algunas pruebas *in vitro* han indicado una propensión a la filtración y la desintegración (27, 28).

Los cementos selladores de resina se utilizan desde hace mucho tiempo, proporcionan adhesión y no contienen eugenol. AH Plus un sellador de conductos radiculares a base de resina epóxica, se considera el agente sellador estándar de oro. Sin embargo, varios estudios *in vitro* han ilustrado la actividad proinflamatoria de AH Plus (5).

Los cementos de silicato de calcio son selladores hidrofílicos que utilizan la humedad del conducto para completar la reacción de fraguado y no se retrae al fraguar, proporcionan un pH alcalino, como resultado de la liberación de iones de calcio. La alcalinidad demostrada puede contribuir al potencial osteogénico, biocompatibilidad y capacidad antibacteriana de este material. Además, se ha sugerido que el mecanismo de reparación del tejido mineralizado depende del pH y la capacidad de liberación de iones de calcio ( $Ca_2$ ) del material (25).

### **2.6. BIOCERÁMICOS**

Los cementos de silicato tricálcico son un grupo de cementos hidráulicos con silicatos tri- y dicálcico como principales ingredientes, que reaccionan con el agua para formar hidrato de silicato de calcio y CH, y liberan iones de calcio y silicio, entre otros. Una ventaja de estos materiales es su capacidad para formar hidroxiapatita, creando una unión entre la dentina y el cemento de silicato tricálcico, lo cual es útil para obtener un sellado hermético durante la apexificación y los procedimientos endodónticos regenerativos (REP). También se ha comprobado que los cementos hidráulicos inducen la diferenciación de células madre de la pulpa dental a través de la regulación de moléculas señalizadoras, vías, receptores y sistemas de control de la transcripción (21).

## II. INTRODUCCIÓN

Los selladores biocerámicos tienen beneficios adicionales potenciales debido a su bioactividad. Después de una terapia endodóntica adecuada, la cicatrización ósea depende en gran medida de la diferenciación y actividad de los osteoblastos (29).

Los materiales biocerámicos se describen como “productos o componentes cerámicos empleados en aplicaciones médicas y dentales, principalmente como implantes y reemplazos, que tienen propiedades osteoinductoras” (30).

Son derivados del cemento portland. Ha atraído una atención considerable debido a su excelente capacidad de sellado, biocompatibilidad, capacidades regenerativas y propiedades antibacterianas. Los principales componentes hidráulicos son el silicato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  o  $\text{C}_3\text{S}$ ) y el silicato dicálcico ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  o  $\text{C}_2\text{S}$ ) (Tabla 1). Los Biocerámicos se han utilizado ampliamente como materiales de reparación endodóntica y sustitutos de la dentina (30).

Se han desarrollado una variedad de experimentos con diferentes modelos y procedimientos empleados por estudiosos de la sociedad endodóntica para aprender las características de los materiales biocerámicos con el propósito de entender y pronosticar su comportamiento bioactivo y como cumplen las metas mecánicas, químicas y microbiológicas.

Se han desarrollado varios materiales de reparación radicular basados en biocerámicos tras la introducción de MTA y están disponibles clínicamente para los dentistas. Entre los más populares se incluyen ProRoot (Dentsply Tulsa Dental Specialties) y MTA Plus (Prevest-Denpro, Jammu City, India) (30).

Tabla 1. Lista de cementos bicericamicos endodóticos

|  |   |  |
|--|---|--|
| Mineral ProRoot Blanco<br>Agregado de trióxido<br>(W-MTA)            | Dentsply Tulsa Dental<br>Especialidades, Johnson<br>Ciudad, Estados Unidos                      | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto, tricálcico aluminato, sulfato de calcio dihidratado o yeso<br>Líquido: agua  |
| Gris ProRoot Mineral<br>Agregado de trióxido<br>(G-MTA)              | Dentsply Tulsa Dental<br>Especialidades, Johnson<br>Ciudad, Estados Unidos                      | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto, tricálcico aluminato, sulfato de calcio dihidratado o yeso, aluminoferrita de calcio<br>Líquido: agua                                      |
| Nano Mineral Blanco<br>Agregado de trióxido<br>(NO-MTA)              | Investigación de Kamal Asgar<br>Centro, Teherán, Irán   | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto, tricálcico aluminato, sulfato de calcio dihidratado o yeso, fosfato de hidrógeno disódico, carbonato de estroncio, zeolita<br>Agua líquida |
| MTA Ángelus  | Ángelus Soluções<br>Odontológicas,<br>Londrina PR, Brasil                                       | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto, tricálcico aluminato, óxido de calcio, óxido de aluminio, dióxido de silicio<br>Líquido: agua  |
| MTA más  | Prevest-Denpro,<br>Ciudad de Jammu, India<br>Avalon Biomed Inc.,<br>Bradenton, Florida, EE. UU. | Polvo: similar al ProRoot MTA blanco<br>Líquido: gel a base de agua con espesantes hidrosolubles y polímeros   |
| Gris MTA Plus  | Prevest-Denpro,<br>Ciudad de Jammu, India<br>Avalon Biomed Inc.,<br>Bradenton, Florida, EE. UU. | Polvo: similar al gris ProRoot MTA<br>Líquido: gel a base de agua con espesantes hidrosolubles y polímeros   |
| Mecánicamente Mezclado<br>trióxido de minerales<br>Agregado (MM-MTA) | micro-mega,<br>Besançon, Francia  | Polvo: cemento Portland modificado con carbonato de calcio añadido<br>Líquido: agua  |
| Mezcla enriquecida con calcio<br>cemento (CEM)                       | abolladura bionique,<br>Teherán, Irán   | Polvo: diferentes compuestos de calcio, incluyendo óxido, sulfato, compuestos de fosfato, carbonato, silicato, hidróxido y cloruro<br>Líquido: solución a base de agua                                       |
| Endocema MTA   | maruchi, wonju,<br>República de Corea   | Un material a base de silicato que contiene partículas de tamaño fino de puzolana.   |
| Endocema Zr  | maruchi, wonju,<br>República de Corea   | Un material similar al MTA blanco que contiene óxido de circonio   |
| MTA retro  | BioMTA, Seúl,<br>República de Corea   | Polvo: carbonato de calcio, óxido de silicio, óxido de aluminio, hidráulico complejo de calcio y zirconio<br>Líquido: agua   |
| Orto MTA   | BioMTA, Seúl,<br>República de Corea   | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto, tricálcico aluminato, óxido de calcio libre, aluminoferrita de calcio<br>Líquido: agua   |
| Taponado Tech Biosealer  | Isasan, Rovello<br>Porro, CO, Italia  | Polvo: cemento Portland blanco, cloruro de calcio, montmorillonita, sulfato de calcio<br>Líquido: solución taponada con fosfato de Dulbecco (DPBS)   |
| Extremo de raíz Tech Biosealer                                       | Isasan, Rovello<br>Porro, CO, Italia  | Polvo: cemento Portland blanco, cloruro de calcio, montmorillonita, sulfato de calcio, fluoruro de sodio, óxido de bismuto<br>Líquido: solución taponada con fosfato de Dulbecco (DPBS)                      |
| TheraCal   | Bisco Inc.,<br>Schaumburg, Illinois,<br>EE.UU   | 45% en peso material mineral (cemento Portland tipo III), 10% en peso. radiopaco componente, 5% en peso. agente espesante hidrofílico (sílice pirógena), 45% resina metacrílica                              |

Tabla 1:Continuado

| Material   | Fabricante   | Composición  |
|--|--|--|
| biodentina   | Septodont, San-Maur-des-fossles<br>Cedex, Francia  | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, carbonato de calcio, circonio<br>óxido, óxido de calcio, óxido de hierro<br>Líquido: cloruro de calcio, un polímero hidrosoluble, agua |
| bioagregado  | Bioceramix innovador,<br>Vancouver, Canada   | Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, pentóxido de tantalio, calcio<br>fosfato monobásico, óxido de silicio amorfo<br>Líquido: agua desionizada                              |
| Raíz de endosecuencia<br>Pasta de material de reparación<br>(Pegar ERRM)   | Brasseler Estados Unidos,<br>Savannah, Georgia, EE. UU.  | Silicatos de calcio, óxido de circonio, óxido de tantalio, fosfato de calcio<br>monobásico   |
| Reparación de raíz EndoSequence<br>Masilla de materiales<br>(ERRM masilla)<br>Raíz iRoot BP Plus<br>Material de reparación | Brasseler Estados Unidos,<br>Savannah, Georgia, EE. UU.<br>Innovador<br>Bioceramix,<br>Vancouver, Canada | Silicatos de calcio, óxido de circonio, óxido de tantalio, fosfato de calcio<br>monobásico   |
| Configuración rápida de iRoot FS<br>Material de reparación de raíces<br>(iRootFS)  | Bioceramix innovador,<br>Vancouver, Canada   | Silicatos de calcio, óxido de circonio, óxido de tantalio, fosfato de calcio<br>monobásico   |
| Conjunto rápido (QS)   | Avalon Biomed Inc.,<br>Bradenton, Florida, EE. UU.   | Un material experimental de aluminosilicato de calcio mezclado con<br>gel antilavado   |
| EndoBinder   | Encuadernación, S-ao<br>Carlos, SP, Brasil   | Óxido de aluminio, óxido de calcio, dióxido de silicio, óxido de magnesio,<br>óxido de hierro  |

*Nota. Diferentes tipos de biocerámicos en el mercado, fabricante y sus composiciones. Tomado por Shen (30).*

### 2.6.1. CERASEAL

A base de silicato de calcio que produce gel CAH (Hidrato de aluminato de calcio) y gel CSH (Hidrato de silicato de calcio) al absorber la humedad de los tejidos circundantes en el conducto radicular y algo de cristalización de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Figura 2). Aunque CeraSeal tenga un pH alto (12.73), con el tiempo induce la proliferación de células. Por lo que es inofensivo para el cuerpo humano, también tiene una excelente biocompatibilidad comprensiblemente (31).

#### **Características y beneficios:**

- Efecto antimicrobiano
- No tóxico
- Alta estabilidad volumétrica
- Alta fluidez
- Tiempo de fraguado apropiado
- Jeringa premezclada



**Figura 2. CeraSeal**

*Presentación del cemento endodóntico biocerámico CeraSeal, Metabiomed (31).*

### 2.6.2. EDGEBIOCERAMIC SEALER

Una fórmula única sin resina que lo hace altamente biocompatible e hidrófilo. A diferencia de los selladores convencionales, EdgeBioceramic Sealer no se encoge y por lo tanto no es necesario compactar la gutapercha (Figura 3) (32).

#### **Características y beneficios:**

- Biocompatible
- Premezclado
- Hidrófilo
- Altamente antibacteriano
- Radiopaco
- Retractable
- Contracción cero
- Económico



**Figura 3. EdgeBioceramic Sealer**

*Presentación del cemento endodóntico biocerámico EdgeBioceramic Sealer, EdgeEndo (32).*

### 2.6.3. NEOSEALER FLO

NeoSealer® Flo es un sellador de canales radiculares biocerámico bioactivo con propiedades de manejo superiores, que promueve la formación de hidroxiapatita para apoyar el proceso de cicatrización. A diferencia de los selladores convencionales, NeoSealer Flo es biocompatible, antimicrobiano, dimensionalmente estable y sin resina (Figura 4) (33).

#### **Características y beneficios:**

Formulado con más cemento bioactivo que el sellador biocerámico original

- NeoSealer Flo está cuidadosamente diseñado para promover el fraguado y maximizar la bioactividad.
- Promueve la formación de hidroxiapatita en la superficie para sellar y apoyar la cicatrización mediante la liberación de iones de calcio e hidróxido.
- Biocompatible, no citotóxico, no genotóxico, inicialmente alto en pH (alcalino/básico), que ha demostrado ser antimicrobiano *in vitro*.

Optimizado para técnicas de obturación de cono único y vertical caliente

- Optimiza inventario con un producto adecuado para las técnicas de obturación de cono único y vertical caliente para obtener la máxima eficiencia y ahorro.

Sin resina

- Libre de resina para máxima bioactividad y biocompatibilidad.

Sin manchas

- No decolora los dientes. NaOCl no causa decoloración.

Dimensionalmente estable

## II. INTRODUCCIÓN

- A diferencia de los selladores a base de resina, NeoSealer Flo es dimensionalmente estable.

pH alto

- Inicialmente alto en pH (alcalino/básico), que ha demostrado ser antimicrobiano *in vitro*.



**Figura 4. NeoSealer Flo**

*Presentación del cemento endodóntico biocerámico NeoSealer Flo, Avalon Biomed (33).*

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cementos biocerámicos han desempeñado un papel importante en el tratamiento de conductos gracias a sus características bioactivas, que los distinguen de otros materiales. Para su éxito clínico, se requiere que estos cementos, además de cumplir con las propiedades físicas de un sellador ideal, presenten estabilidad física y radiopacidad adecuadas e invariantes.

En este proyecto se plantea un estudio *in vitro* encaminado a determinar el efecto en la estabilidad física y la radiopacidad de los cementos selladores endodónticos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, derivado de la difusión pasiva y acelerada de iones de los cementos hacia su entorno.

## **IV. JUSTIFICACIÓN**

Investigaciones recientes han demostrado el efecto del medio fisiológico en la estabilidad física y radiopacidad de cementos selladores endodónticos. Sobre esta premisa, en el presente proyecto se estudió la influencia de condiciones de difusión pasiva y acelerada de iones en los cambios en peso y radiopacidad de tres cementos selladores biocerámicos (CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo). La información obtenida puede ser de interés tanto para la aplicación clínica de estos cementos, como para la optimización o desarrollo de ellos u otros similares.

## V. HIPÓTESIS

### 5.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Esta investigación nos permitirá demostrar si los cementos endodónticos, en contacto con diferentes entornos y tiempos tienen algún efecto en su radiopacidad y estabilidad física.

### 5.2. HIPÓTESIS NULA (H0)

Los cementos endodónticos no presentarán cambio en peso ni cambio en radiopacidad tras su incubación en las diferentes soluciones estudiadas, en función del tiempo, con un nivel de confianza del 95%.

### 5.3. HIPÓTESIS ALTERNATIVAS

#### 5.3.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA 1 (H1)

Al menos uno de los cementos endodónticos objeto de estudio presentará cambio en peso ya sea en comparación consigo mismo o en comparación con sus homólogos, para al menos una de las soluciones de incubación, en función del tiempo, con un nivel de confianza del 95%.

#### 5.3.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA 2 (H2)

Al menos uno de los cementos endodónticos objeto de estudio presentará cambio en radiopacidad ya sea en comparación consigo mismo o en comparación con sus homólogos, para al menos una de las soluciones de incubación, en función del tiempo, con un nivel de confianza del 95%.

## VI. OBJETIVOS

### 6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los cambios en peso y radiopacidad de los cementos endodónticos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo a través de estudios *in vitro*.

### 6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la estabilidad física de los cementos a partir de ensayos de gravimetría de muestras incubadas en agua destilada, solución acuosa tamponada de fosfatos (PBS) y solución acuosa de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), a distintos tiempos y temperatura constante de 37 °C en los diferentes tiempos: 0 h, 1, 3, 6, 10, 16 días, 1, 2 y 6 meses.
2. Tomar radiografías de pastillas de cada cemento incubadas en agua destilada, solución acuosa de PBS y solución acuosa de EDTA, a distintos tiempos: 1, 3, 6, 16 días, 1 y 2 meses a temperatura fisiológica.
3. Determinar la radiopacidad de los cementos: EdgeBioceramic Sealer, CeraSeal y NeoSealer Flo a partir de las radiografías adquiridas en los tiempos determinados: 1, 3, 6, 16 días, 1 y 2 meses, utilizando un software especializado para el análisis de imagen, normalizando a escala de grises con respecto a la cuña de aluminio utilizada.
4. Determinar el pH de las muestras en un intervalo de 0-175 días, utilizando tiras indicadoras universales para medición de pH.

## VII. VARIABLES

### 7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Tipo de cemento.
- Tiempo de estudio.
- Solución de incubación.

### 7.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Cambio en peso de los cementos selladores.
- Cambio en radiopacidad de los cementos selladores.

### 7.3. OPERACIÓN DE VARIABLES

Se evaluará la estabilidad física (cambio en peso) y la radiopacidad de los diferentes cementos endodónticos (CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo) y su evolución con el tiempo a través de estudios *in vitro*. La estabilidad física de los cementos será evaluada mediante ensayos de gravimetría tras su incubación estática en agua destilada, solución acuosa de PBS y solución acuosa de EDTA a 37 °C a distintos tiempos. La evolución de radiopacidad (pérdida) será evaluada a partir de radiografías de pastillas de los cementos tras su incubación en las soluciones antes mencionadas, utilizando el software para análisis de imagen (Image J) y normalizando a escala de grises con una cuña de aluminio escalonada.

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. TIPO DE ESTUDIO

Estudio experimental.

### 8.2. UNIVERSO DE ESTUDIO

Cuatro muestras en pastilla de cada cemento por cada condición de incubación, empleando modelos *in vitro* de difusión pasiva (agua y solución acuosa de PBS) y acelerada de iones (solución acuosa de EDTA) a una temperatura definida de 37 °C y distintos tiempos.

### 8.3. MATERIALES E INSTRUMENTAL

Todos los materiales e instrumental fueron de origen comercial. Los cementos biocerámicos utilizados para el estudio fueron: el cemento biocerámico CeraSeal, marca Meta-Biomed; cemento EdgeBioceramic Sealer, marca EdgeEndo®; y cemento biocerámico NeoSealer Flo, marca Avalon Biomed. Para la elaboración de las pastillas se utilizó: pastillas Levonorgestrel Etinilestradiol, marca Similares (como molde); material de impresión de vinil polisiloxano masilla, marca 3M ESPE Express STD; torundas de algodón; y jeringa de plástico de 10 ml, marca BD Plastipak. Para la evaluación de la pérdida en peso y radiopacidad se utilizó: agua destilada; solución tamponada de fosfatos (PBS), marca Sigma-Aldrich; solución de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA; 17% en agua), marca Meta-Biomed; y vasos recolectores para muestra, marca Plastic World. Para la toma de radiografías se utilizó el sistema de radiología digital Eighteeth, Hyperlight G y Nanopix E 1.3. Como punto de referencia se utilizó una cuña de aluminio escalonada de 1-9 mm, marca Dent-X. La incubadora fue de la marca VWR y microbalanza analítica de la marca Ohaus, Pionner. Para la evaluación del pH se utilizaron: tiras indicadoras para la medición de pH, intervalo 0-14, marca Fermont Precise.

## 8.4. METODOLOGÍA

### 8.4.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la preparación de las muestras se utilizaron cementos objeto de estudio que fueron preparados en forma de pastillas. Las pastillas de los cementos fueron formadas a partir de un molde de masilla de polivinil siloxano utilizando como modelo pastillas de forma cilíndrica con dimensiones: 1.5 mm de altura y 5.5 mm de diámetro resultando un molde con 35.64 mm<sup>3</sup> de volumen, en los cuales fueron inyectados por separado las pastas precursoras de cada cemento sellador, eliminando las burbujas de aire por medio de vibración. Para el fraguado de los cementos, los moldes cargados con cada uno de ellos fueron incubados en el interior de una caja de Petri de 15 cm de diámetro sellada con Parafilm, en presencia de 10 torundas de algodón, cada una de ellas impregnada con 2.5 ml de agua destilada, a 37 °C por 10 días. Estas condiciones fueron establecidas para asegurar atmosfera húmeda durante el fraguado, que en conjunción con la temperatura, simulara condiciones fisiológicas.



**Figura 5. Polivinil siloxano (izquierda) y dispositivo de fraguado de los sistemas (derecha)**

*Material de impresión de las pastillas y preparación de muestras para su fraguado.*

En la Figura 5 se presentan los materiales utilizados para la formación de los moldes (panel izquierdo) y el dispositivo donde se fraguaron las muestras de cementos (panel derecho). Muy importante, como se describirá en la sección de resultados, al término del fraguado se observó la formación de cristales sobre la superficie de las pastillas de los cementos CeraSeal y EdgeBioceramic Sealer, los cristales fueron removidos con la ayuda de una hoja de bisturí N° 15 para homogenizar la superficie de los cementos referidos para experimentación posterior.

Las pastillas fueron depositadas individualmente en el interior de vasos recolectores para muestra con 6 ml de cada una de las soluciones: agua destilada, solución acuosa de PBS y solución acuosa de EDTA, las cuales fueron cambiadas cada semana por 6 meses.

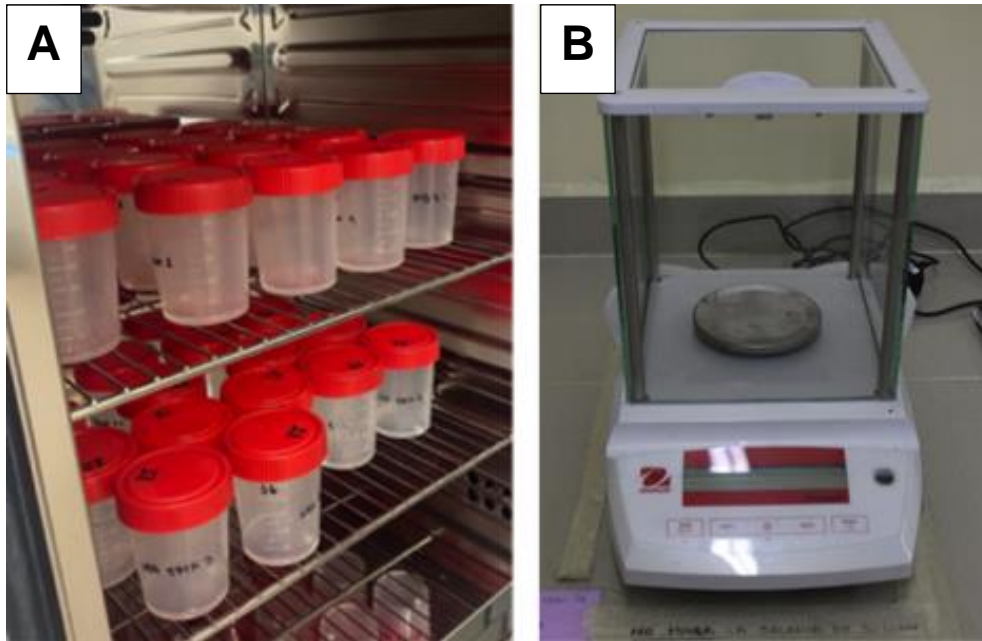
### 8.4.2. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LAS MUESTRAS

La estabilidad física de los cementos biocerámicos fue evaluada a través de fotografías y ensayos de gravimetría a distintos tiempos a lo largo de la incubación de las muestras en 6 ml de agua destilada, 6 ml de solución acuosa de PBS, 6 ml de solución acuosa de EDTA. Estos estudios fueron llevados a cabo por cuadruplicado a una temperatura constante de 37 °C (temperatura fisiológica) hasta un tiempo máximo de 175 días. Para su caracterización en cada punto de tiempo, cada muestra fue extraída de su medio de incubación, secada con mucho cuidado por capilaridad con un papel absorbente, fotografiada, pesada en la microbalanza analítica y devuelta con mucho cuidado a su medio de incubación (Figura 6). Los resultados reportados para cambio en peso para cada condición experimental y cada tiempo fueron calculados de acuerdo a la Ecuación 1:

#### **Ecuación 1. Cambio en peso (%)**

$$\text{Cambio en peso (\%)} = 100 * \frac{(P_t - P_0)}{P_0}$$

donde  $P_t$  y  $P_0$  corresponden a los pesos de cada muestra de cemento biocerámico en el tiempo específico de estudio y tiempo inicial de experimentación, respectivamente.



**Figura 6. Fotografías de equipo e instrumental**

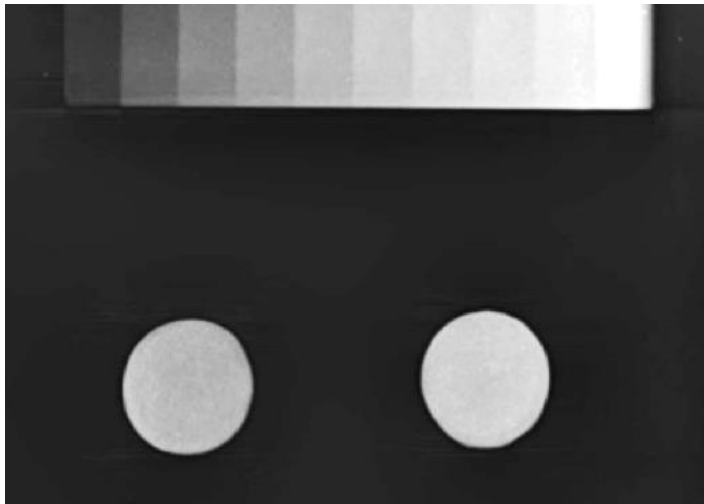
*A) Vista interior de incubadora, B) Microbalanza analítica.*

#### 8.4.3. EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LA RADIOPACIDAD DE LAS MUESTRAS

La radiopacidad de los cementos biocerámicos fue evaluada a través de estudios radiográficos a distintos tiempos a lo largo de la incubación de las muestras en el seno de soluciones promotoras de difusión pasiva (agua destilada y PBS) y acelerada de iones (EDTA). Estos estudios fueron llevados a cabo por cuadruplicado a temperatura fisiológica (37 °C). Las mediciones de radiopacidad se realizaron a 1, 3, 6, 16 días, 1 y 2 meses.

En su caracterización en cada punto de tiempo, las muestras fueron extraídas de su medio de incubación, secadas con mucho cuidado por capilaridad con papel absorbente y caracterizadas por rayos X. En cada radiografía fueron incluidas dos pastillas por cemento, que fueron expuestas junto a una cuña escalonada de aluminio con espesor variable (de 2 a 16 mm, en incrementos de 2 mm) como material de punto de referencia, sobre el sensor digital radiográfico (NanoPix E-1.3, Eighteeth) (Figura 7) (34, 35). Se utilizó una unidad portátil de rayos X (Hyperlight

G, Eighteeth) que operaba a 65 kV, 2 mA, 0.20 pulsos por segundo y una distancia foco-película de 12 cm. Después de cada exposición, las muestras se devolvieron con cuidado a su medio de incubación. Se digitalizaron las radiografías y se importaron las imágenes al software Image J, donde fueron analizadas de acuerdo al procedimiento descrito en la sección “Análisis de imagen”.



**Figura 7. Radiografía periapical**

*Radiografía periapical donde se muestran las pastillas de cemento con cuña escalonada como punto de referencia.*

#### 8.4.4. ANÁLISIS DE IMAGEN

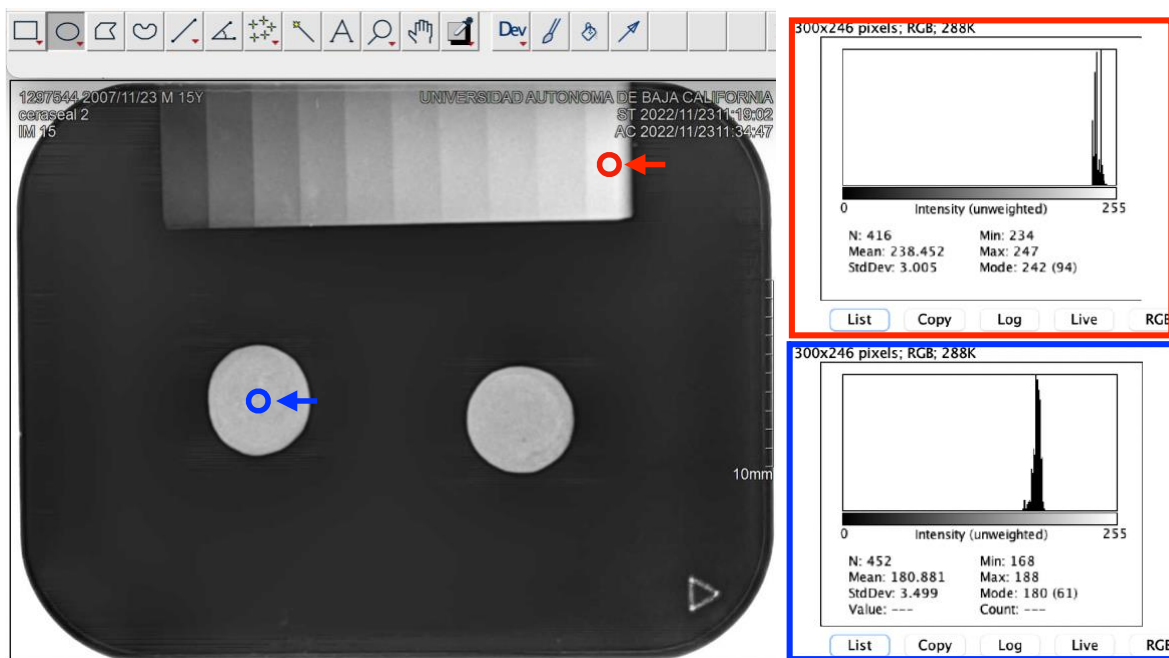
Las radiografías obtenidas a lo largo del estudio fueron analizadas con el software Image J para evaluar la radiopacidad de los cementos biocerámicos. En el análisis, se seleccionaron las áreas de interés y con la ayuda del software se obtuvieron histogramas de intensidad de color en escala de grises resultantes del conteo automático de píxeles para cada área. La escala de grises del programa asigna valores de entre 0 y 255 a píxeles que van desde negro a blanco. De esta forma fue posible analizar la radiopacidad de las muestras con base en la normalización del valor obtenido con respecto al valor de referencia de la cuña como se muestra en la Figura 8. Como ya se ha mencionado, para este estudio se empleó una cuña escalonada de aluminio como punto de referencia, en virtud de que este material no

presenta cambios en su radiopacidad (34). El porcentaje de radiopacidad reportado fue calculado de acuerdo a la Ecuación 2:

### Ecuación 2. Cambio en radiopacidad (%)

$$\text{Radiopacidad (\%)} = 100 * \frac{(R_t - R_0)}{R_0}$$

donde  $R_t$  y  $R_0$  corresponden a la radiopacidad de cada muestra de cemento biocerámico en el tiempo específico de estudio y tiempo inicial de experimentación, respectivamente.



**Figura 8. Análisis de imagen con el programa Image J**

*Análisis de imagen con el programa Image J de las radiografías obtenidas. Regiones objeto análisis marcadas con flechas (izquierda). Histogramas resultantes de intensidad de grises (derecha).*

#### 8.4.5. EVALUACIÓN DEL pH DE LAS MUESTRAS

Las muestras se incubaron en frascos de plástico (recolectores de muestra) que contenían 6 ml de cada solución, que fueron cambiadas cada semana por 6 meses. Los frascos se cerraron y se mantuvieron en la incubadora a 37 °C. Las mediciones

de pH se realizaron hasta un tiempo máximo de 175 días. El pH de la solución se analizó en cada punto de tiempo antes del recambio de solución, utilizando tiras indicadoras para la medición de pH (Figura 9). Después de cada medición (por cuadruplicado), se calculó el pH promedio, así como la media, mediana y moda de cada grupo en cada punto experimental.



**Figura 9. Tiras indicadoras de pH**

*Toma de muestra de pH con tiras indicadoras Fermont.*

### **8.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

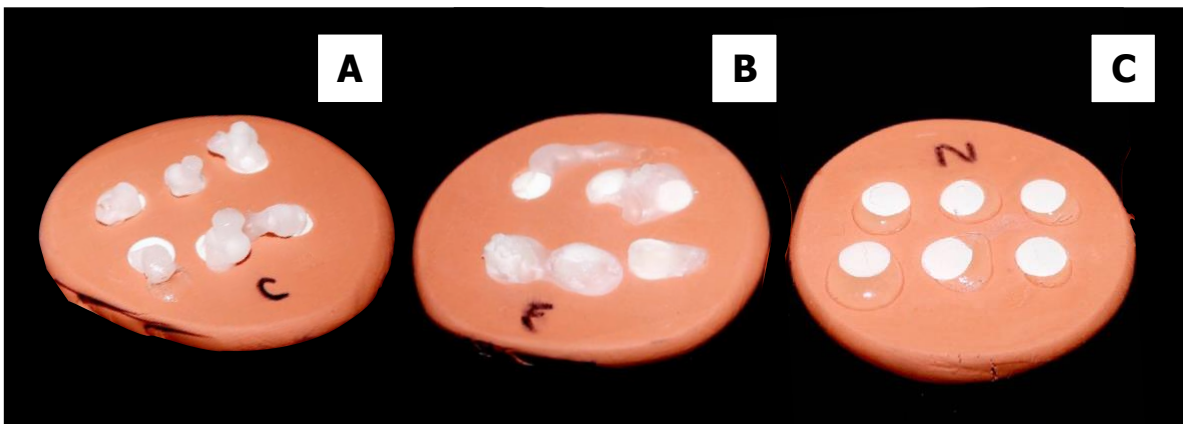
El análisis estadístico se llevó a cabo empleando el método de Análisis de la Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) de un factor en conjunto con el método post hoc Bonferroni. La diferencia estadística será considerada como significativa a  $p < 0.05$ .

Para la evaluación de pH se llevaron a cabo estimaciones de estadística descriptiva únicamente (media, mediana y moda).

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1. INSPECCIÓN FOTOGRAFÍA DE LOS CEMENTOS TRAS SU FRAGUADO

Se tomaron fotografías de los cementos al término de su proceso de fraguado; los resultados obtenidos se muestran en la Figura 10. Se observó la formación de cristales sobre la superficie de los cementos CeraSeal y EdgeBioceramic Sealer. Este resultado demuestra que los dos cementos referidos, contrario al NeoSealer Flo (que no formó cristales), presentan un comportamiento altamente higroscópico, promoviendo la adsorción acentuada de humedad del ambiente y posterior formación de los cristales observados. Muy interesante, este resultado se replicó tras la incubación de ambos cementos en el seno de una solución acuosa de PBS, que al igual que el proceso de fraguado aquí discutido, se llevó a cabo en condiciones fisiológicas simuladas de incubación (se discutirá más adelante).



**Figura 10. Fotografías de los cementos tras su fraguado en condiciones fisiológicas simuladas por 10 días**

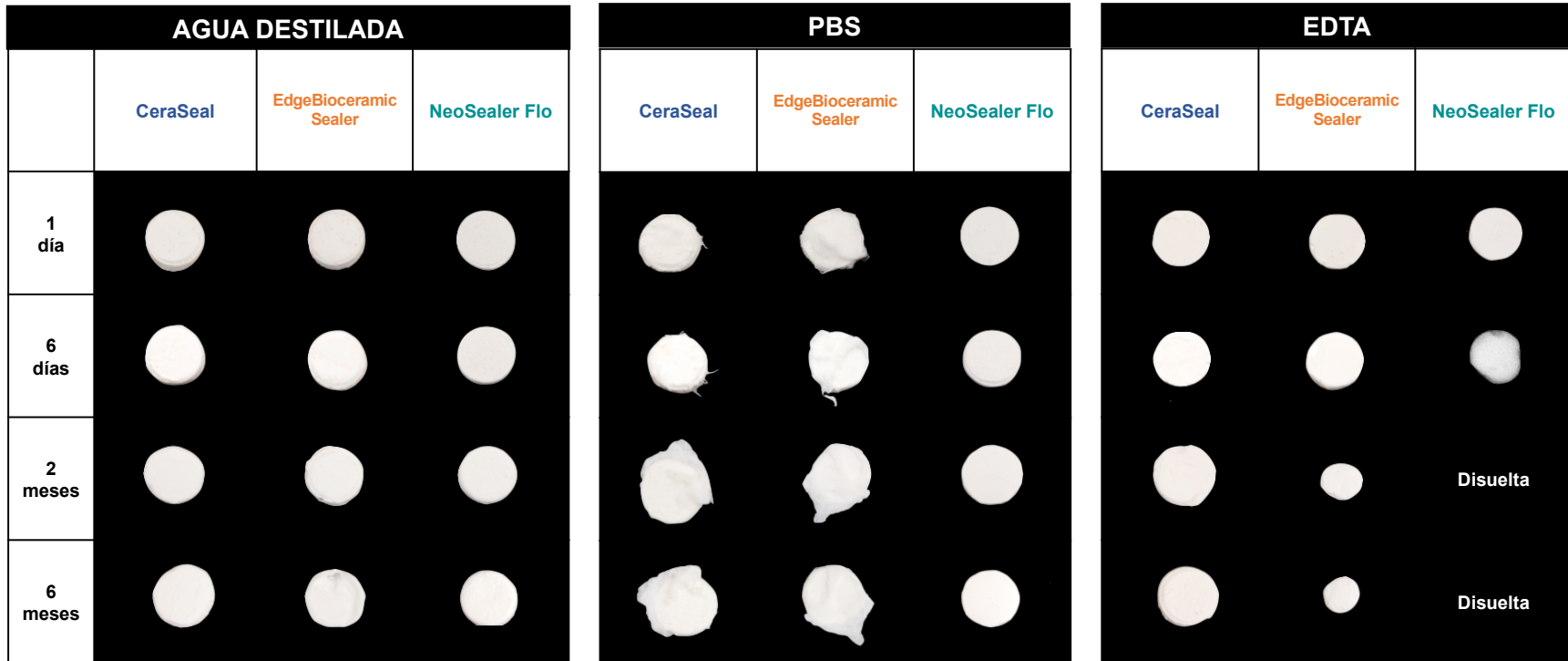
*Se observa pastillas fraguadas de los cementos biocerámicos: A) CeraSeal, B) EdgeBioceramic Sealer y C) NeoSealer Flo.*

## 9.2. MONITORIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA CON EL TIEMPO

Con el objetivo de evaluar la estabilidad física de los cementos biocerámicos objeto de estudio, estos fueron incubados en medios promotores de difusión pasiva y acelerada de iones, sus cambios dimensionales y en peso fueron monitorizados a lo largo de su incubación a 37 °C por hasta 6 meses. Como medios promotores de difusión pasiva de iones se emplearon agua destilada y una solución acuosa de PBS. Como medio promotor de difusión acelerada de iones se utilizó una solución acuosa de EDTA.

Los cambios dimensionales fueron documentados fotográficamente y los resultados obtenidos se presentan en las Figura 11 y Figura 12. A partir de ambas figuras se puede observar que los medios promotores de difusión pasiva de iones dieron lugar a la formación de cristales de sal sobre la superficie de las pastillas de CeraSeal (agua y solución acuosa de PBS) y EdgeBioceramic Sealer (solución acuosa de PBS), aunque en distintas configuraciones. En particular, en la Figura 11 se observa que la incubación en PBS dio lugar a la formación de una capa fina de cristales en ambos cementos a partir del día 1, misma que creció con el tiempo de manera irregular y fue susceptible a la fragmentación durante su manipulación en puntos de protrusión. Mientras tanto, en la Figura 12 se observa que la incubación en agua dio lugar a la formación de cristales individuales, esparcidos a lo largo de la superficie de la pastilla del cemento CeraSeal, tras su incubación en agua a partir de 2 meses. Estos cristales, contrario a la capa fina formada en PBS, demostraron estar fuertemente adheridos a la pastilla (no se desprendieron con la manipulación).

En lo que respecta a la incubación en medio promotor de difusión acelerada de iones (EDTA), en la Figura 11 se observa una disminución gradual en el tamaño de las pastillas de los cementos EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, resultado que se confirma y se discute más adelante a partir de los resultados de los ensayos de gravimetría (Figura 15).



**Figura 11. Fotografías de los cambios dimensiones de los cementos biocerámicos**

*Cambios dimensionales de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer después de su incubación estática a 37 °C por convección en agua destilada, PBS y EDTA.*

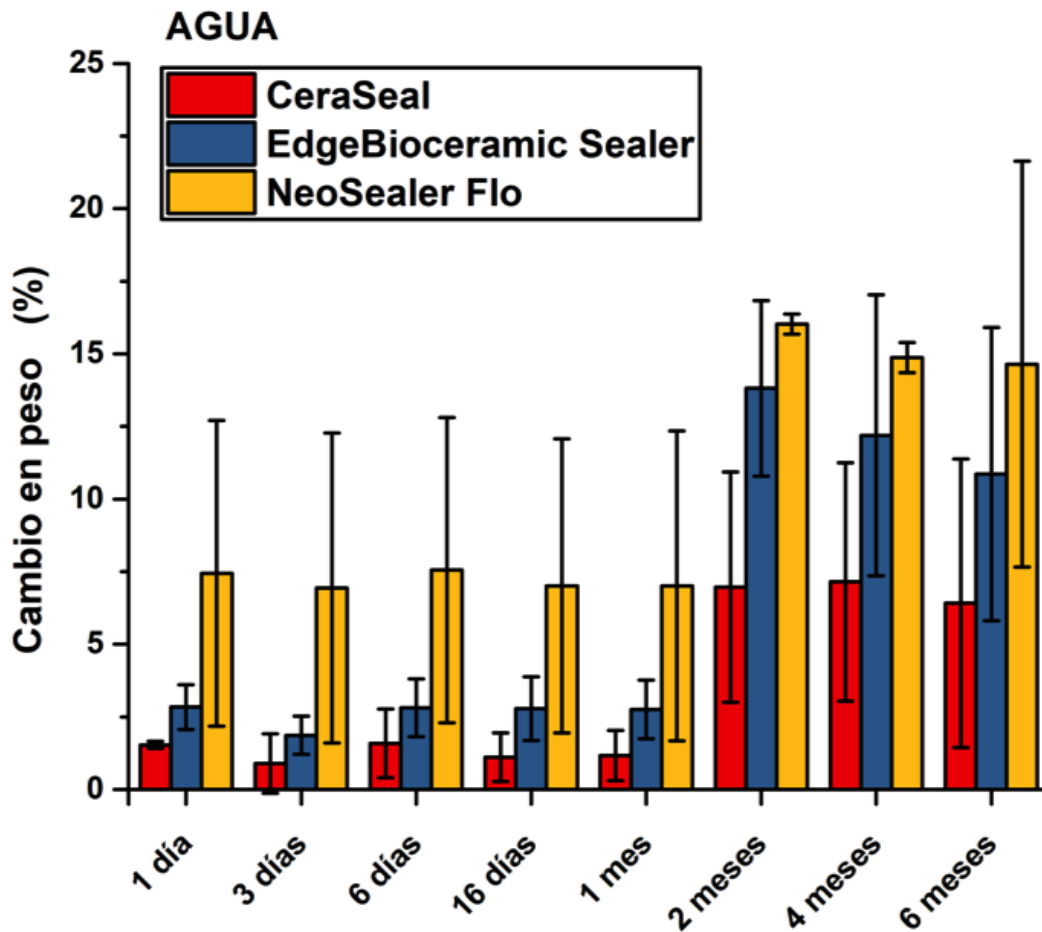


**Figura 12. Formación de cristales en las pastillas de cemento CeraSeal en agua destilada**

*Formación de cristales individuales, esparcidos a lo largo de la superficie de la pastilla del cemento CeraSeal en agua a partir de 2 meses de incubación.*

Por otro lado, los cambios en peso de los cementos fueron monitorizados por ensayos de gravimetría y los resultados obtenidos se presentan en las Figura 13-Figura 15 y Tabla 2. En este estudio, se hicieron dos comparaciones estadísticas: una para cada cemento en función del tiempo y otra para cada punto de tiempo en función de los tres cementos.

Los resultados obtenidos demostraron que los cementos biocerámicos endodónticos exhibieron comportamientos distintos dependiendo de la naturaleza de la solución en la que fueron incubados. Para el caso de las muestras incubadas en agua (difusión pasiva de iones; Figura 13), se observó un incremento gradual en el peso con el tiempo para cada cemento, particularmente a tiempos largos, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las comparaciones.



**Figura 13. Cambio de peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en agua destilada**

*Resultados sin diferencia estadísticamente significativa  $p > 0.05$ .*

En lo que respecta a las muestras incubadas en PBS (difusión pasiva de iones), al igual que sus homólogas incubadas en agua, ellas desplegaron un incremento gradual en su peso con el tiempo, exhibiendo la primera diferencia estadísticamente significativa entre los puntos de 1 y 4 meses, 1 y 2 meses, y 1 y 2 meses para los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, respectivamente ( $p > 0.05$ ; Figura 14 y Tabla 2).

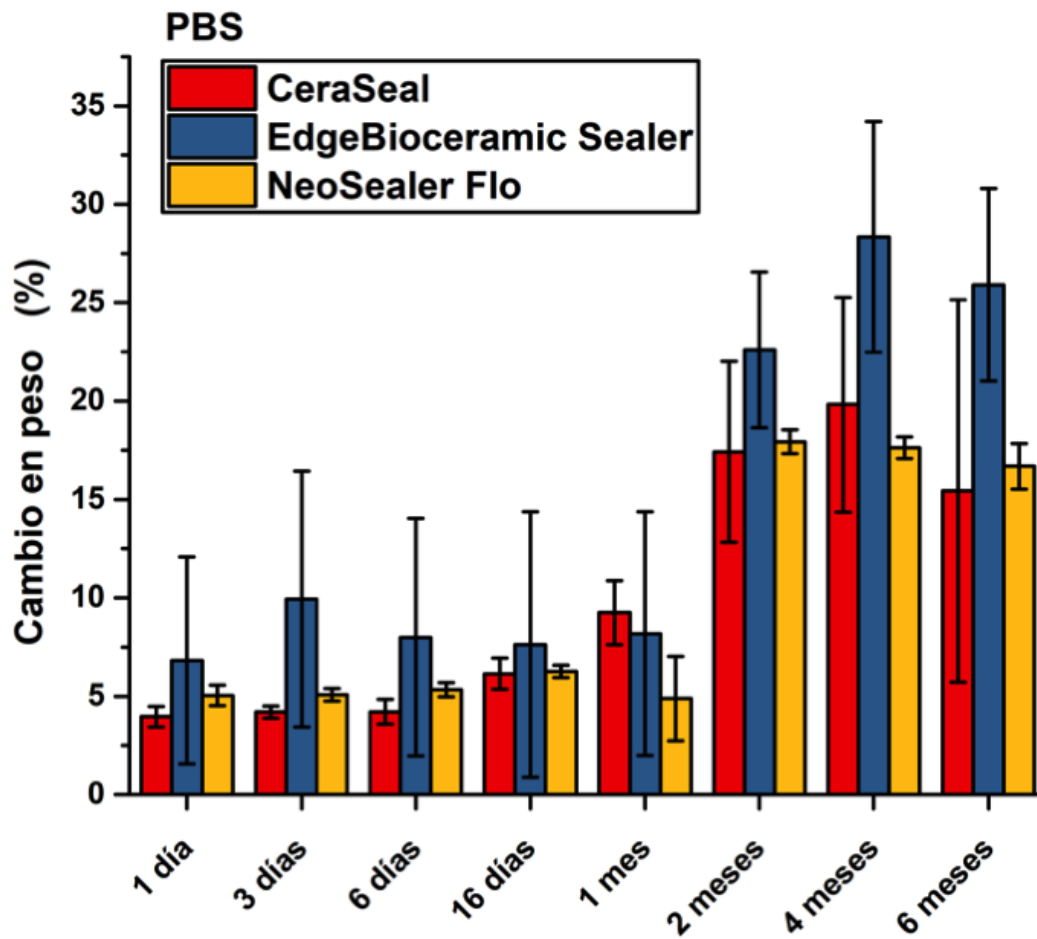


Figura 14 Cambio en peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en PBS

Se observó diferencia estadísticamente significativa en alguno de los resultados analizados,  $p < 0.05$ . En la Tabla 2 se tabulan los resultados.

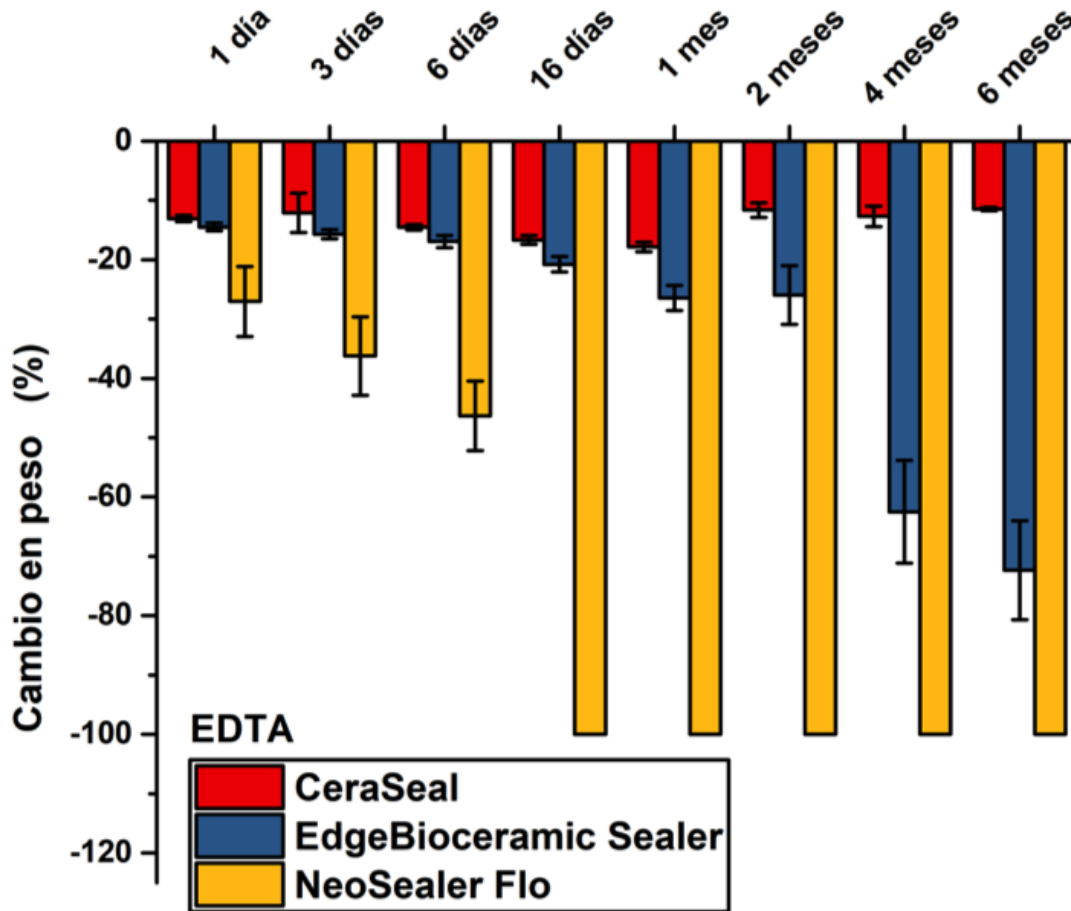
Tabla 2. Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) en PBS

| Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) de los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en solución acuosa de PBS a los tiempos de 1, 3, 6, 16 días, 1, 2, 4 y 6 meses ( $p < 0.05$ ). |                |   |                              |                                 |
|--|----------------|---|------------------------------|---------------------------------|
| Cemento  | Tiempo         | → | Cemento                      | Tiempo                          |
| CeraSeal   | 2 meses        | → | CeraSeal                     | 1, 3, 6 días                    |
| <u>CeraSeal</u>  | <u>4 meses</u> | ⇒ | <u>CeraSeal</u>              | 1, 3, 6, 16 días y <u>1 mes</u> |
| <u>EdgeBioceramic Sealer</u>   | <u>2 meses</u> | ⇒ | <u>EdgeBioceramic Sealer</u> | 1, 3, 6, 16 días y <u>1 mes</u> |
| EdgeBioceramic Sealer  | 4 meses        | → | EdgeBioceramic Sealer        | 1, 3, 6, 16 días y 1 mes        |
| EdgeBioceramic Sealer  | 6 meses        | → | EdgeBioceramic Sealer        | 1, 3, 6, 16 días y 1 mes        |
| <u>NeoSealer Flo</u>   | <u>2 meses</u> | ⇒ | <u>NeoSealer Flo</u>         | <u>1 mes</u>                    |

Las primeras diferencias estadísticamente significativas entre diferente tiempo y mismo cemento, se muestran en la tabla con una línea punteada.

Finalmente, en lo que respecta a las muestras incubadas en EDTA (difusión acelerada de iones) se observó un decremento gradual en el peso con el tiempo para los cementos EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, exhibiendo la primera diferencia estadísticamente significativa entre los puntos de 2 y 4 meses, y 6 y 16 días, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Figura 15 y Tabla 3. Asimismo, el cemento NeoSealer Flo demostró diferencia estadísticamente significativa en pérdida de peso con respecto a sus homólogos en todos los puntos de tiempo. Digno de

resaltar, el cemento CeraSeal no presentó cambio en peso con diferencia estadísticamente significativa en función del tiempo ( $p > 0.05$ ).



**Figura 15. Cambio en peso (%) de los cementos biocerámicos incubados en EDTA**

Se observó diferencia estadísticamente significativa en alguno de los resultados analizados,  $p < 0.05$ . En la Tabla 3 se tabulan los resultados.

Esta pérdida en peso de los cementos EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo es atribuida a la difusión acelerada de iones de estos materiales al seno de la solución de incubación por la acción quelatante del EDTA. Esta difusión acelerada dio como resultado desde la fragmentación de los materiales en el interior del líquido hasta

su disolución completa, dando lugar a valores máximos de cambio en peso de -80% para EdgeBioceramic Sealer a los 6 meses de incubación y -100% para NeoSealer Flo a 16 días. Esta fragmentación fue confirmada gráficamente por fotografías (Figura 11).

Es importante mencionar en este punto que a lo largo de su incubación ninguna de las muestras fue sometida a estrés térmico o mecánico, por lo que la fragmentación y pérdida de peso observadas en las Figura 11 y Figura 15 se pueden atribuir única y exclusivamente a la difusión acelerada de iones por la acción quelatante del EDTA antes mencionada (34). Estas observaciones confirman la hipótesis alternativa (H1) en cuanto a la evolución del cambio en peso se refiere.

Tabla 3. Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) en EDTA

| Diferencia estadísticamente significativa en cambio en peso (%) de los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en solución acuosa de EDTA a los tiempos de 1, 3, 6, 16 días, 1, 2, 4 y 6 meses (p < 0.05). |         |   |                                  |                                  |  |
|---|---------|---|----------------------------------|----------------------------------|--|
| Cemento   | Tiempo  | → | Cemento                          | Tiempo                           |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 1 mes   | → | EdgeBioceramic Sealer            | 1 y 3 días                       |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 2 meses | → | CeraSeal                         | 2 meses                          |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 2 meses | → | EdgeBioceramic Sealer            | 1 y 3 días                       |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 4 meses | → | CeraSeal                         | 4 meses                          |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 4 meses | → | EdgeBioceramic Sealer            | 1, 3, 6, 16, días, 1 y 2 meses   |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 6 meses | → | CeraSeal                         | 6 meses                          |  |
| EdgeBioceramic Sealer   | 6 meses | → | EdgeBioceramic Sealer            | 1, 3, 6, 16 días, 1, 2 y 4 meses |  |
| NeoSealer Flo   | 1 día   | → | CeraSeal y EdgeBioceramic Sealer | 1 día                            |  |
| NeoSealer Flo   | 3 días  | → | CeraSeal y EdgeBioceramic Sealer | 3 días                           |  |

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|                      |                |          |  |                     |
|----------------------|----------------|----------|--|---------------------|
| NeoSealer Flo        | 6 días         | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 6 días              |
| NeoSealer Flo        | 6 días         | →        | NeoSealer Flo                          | 1 y 3 días          |
| NeoSealer Flo        | 16 días        | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 16 días             |
| <u>NeoSealer Flo</u> | <u>16 días</u> | <u>→</u> | <u>NeoSealer Flo</u>                   | <u>1, 3, 6 días</u> |
| NeoSealer Flo        | 1 mes          | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 1 mes               |
| NeoSealer Flo        | 1 mes          | →        | NeoSealer Flo                          | 1, 3 y 6 días       |
| NeoSealer Flo        | 2 meses        | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 2 meses             |
| NeoSealer Flo        | 2 meses        | →        | NeoSealer Flo                          | 1, 3, 6 días        |
| NeoSealer Flo        | 4 meses        | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 4 meses             |
| NeoSealer Flo        | 4 meses        | →        | NeoSealer Flo                          | 1, 3 y 6 días       |
| NeoSealer Flo        | 6 meses        | →        | CeraSeal y<br>EdgeBioceramic<br>Sealer | 6 meses             |
| NeoSealer Flo        | 6 meses        | →        | NeoSealer Flo                          | 6 meses             |

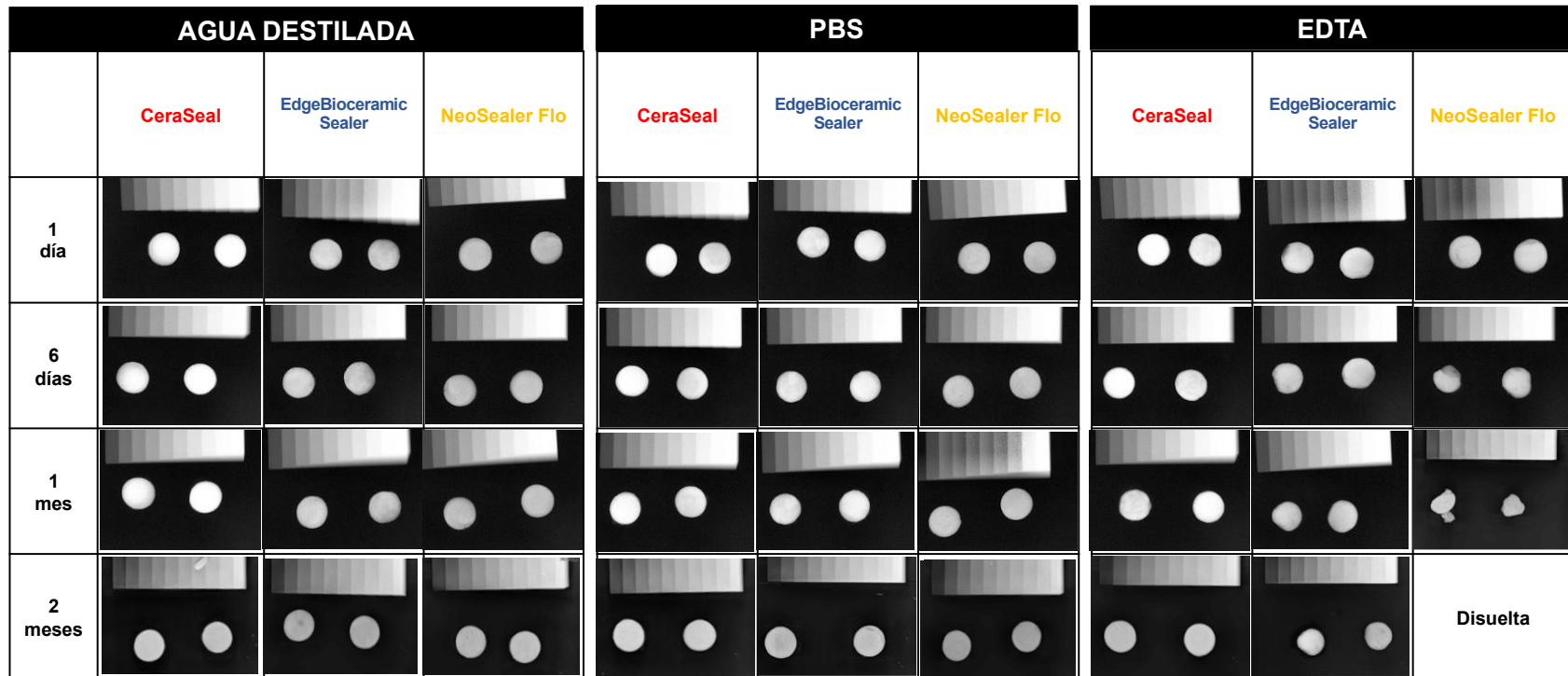
*Las primeras diferencias estadísticamente significativas entre diferente tiempo y mismo cemento y diferente cemento en el mismo tiempo, se muestran en la tabla con una línea punteada.*

### **9.3. MONITORIZACIÓN DE LA RADIOPACIDAD CON EL TIEMPO**

Con el objetivo de evaluar la evolución de la radiopacidad de los cementos biocerámicos endodónticos en modelos de disolución pasiva y acelerada de iones, se monitorizó su cambio en radiopacidad durante su incubación por hasta 2 meses en el seno de agua destilada, solución acuosa de PBS y solución acuosa de EDTA, empleando como material de comparación una cuña de aluminio escalonada.

En la Figura 16 se muestran radiografías representativas de las muestras a tiempos seleccionados de incubación.

Las radiografías mostradas en la Figura 16 fueron analizadas con el programa de análisis de imagen Image J y los histogramas de intensidad obtenidos se muestran en la Figura 17. A partir de esta figura se puede observar que los histogramas de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en las tres condiciones experimentales se desplazan ligeramente hacia valores inferiores en la escala de grises (i.e. a la izquierda). Los valores medios de los histogramas obtenidos fueron empleados para determinar de manera cuantitativa la evolución de la radiopacidad de los cementos biocerámicos. Los resultados son mostrados en la Figura 17.



**Figura 16. Radiografías de las pastillas de los cementos biocerámicos del estudio de la evolución de la radiopacidad**

*Radiografías de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo después de su incubación en agua destilada, PBS y EDTA. En la parte superior se observa una cuña de aluminio escalonada empleada como punto de referencia*

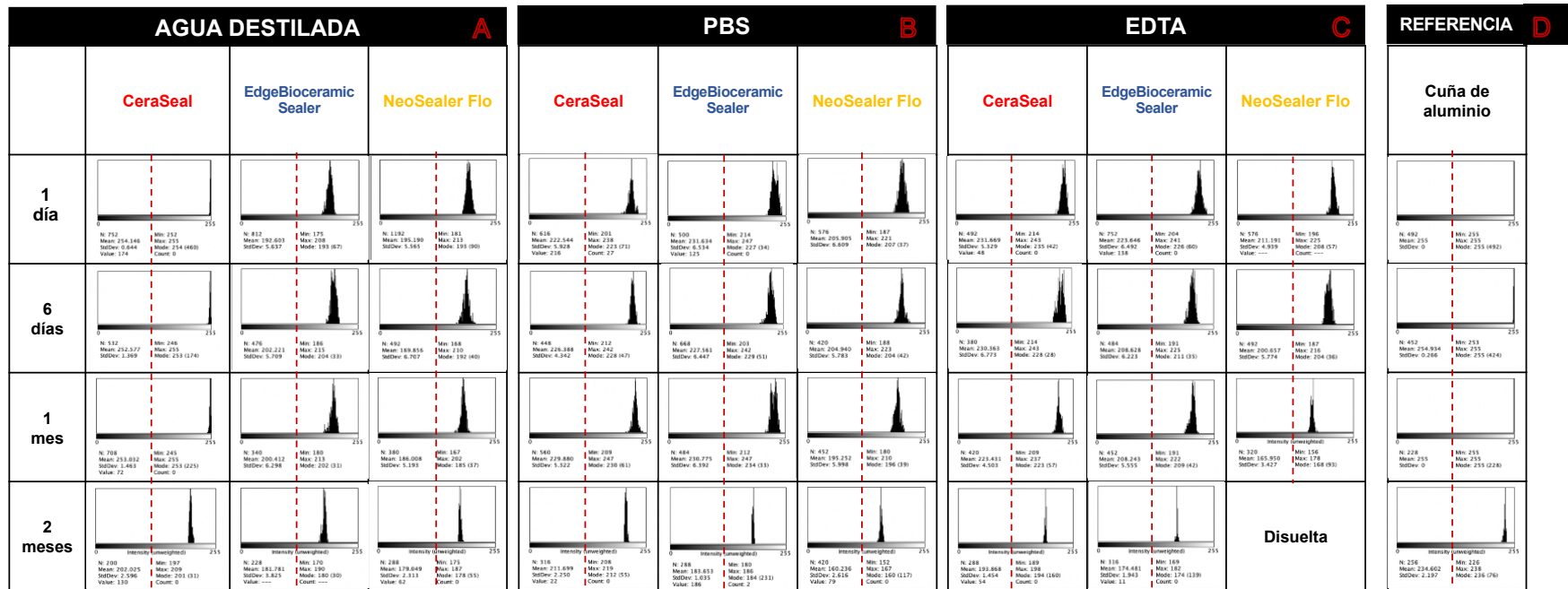
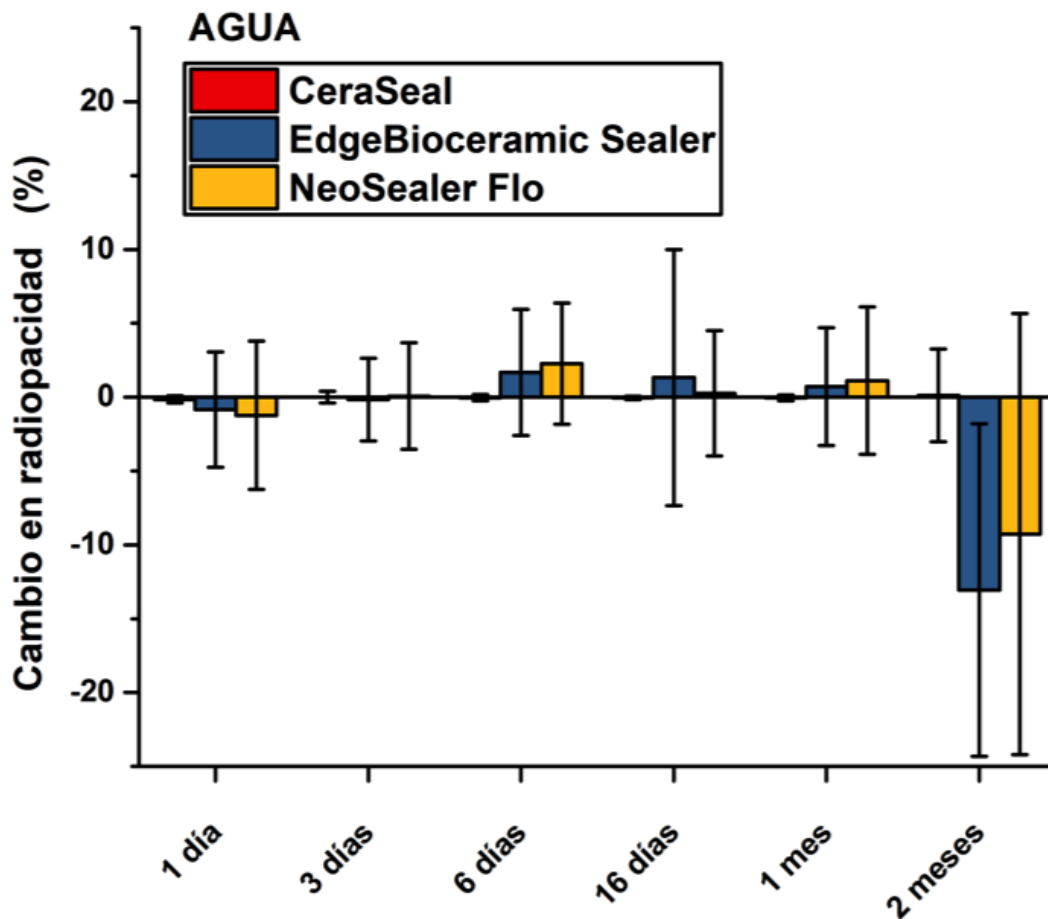


Figura 17. Histogramas de intensidad de grises de los estudios radiográficos de los cementos biocerámicos

Se muestran: A) Los histogramas de intensidad de las muestras incubadas en agua destilada, B) Los histogramas de intensidad de las muestras incubadas en PBS, C) Los histogramas de intensidad incubadas en EDTA. D) Los histogramas de intensidad del segmento más radiopaco de la cuña de aluminio escalonada. La línea roja punteada es una guía visual que marca el 50% de intensidad en la escala de grises de los histogramas.

Las Figura 18-20 muestran la evolución de la radiopacidad de los cementos objeto de estudio en las diferentes soluciones de incubación (agua, PBS y EDTA). En concordancia con en el desplazamiento ligero de los histogramas mostrados en la Figura 17, los datos graficados en estas figuras y los obtenidos en el análisis estadístico demostraron que efectivamente no existe diferencia estadísticamente significativa en la radiopacidad de los cementos, independientemente de su naturaleza y de la solución de su incubación ( $p > 0.05$ ).



**Figura 18. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en agua destilada**

*Radiopacidad de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo después de su incubación estática a temperatura fisiológica en agua destilada.*

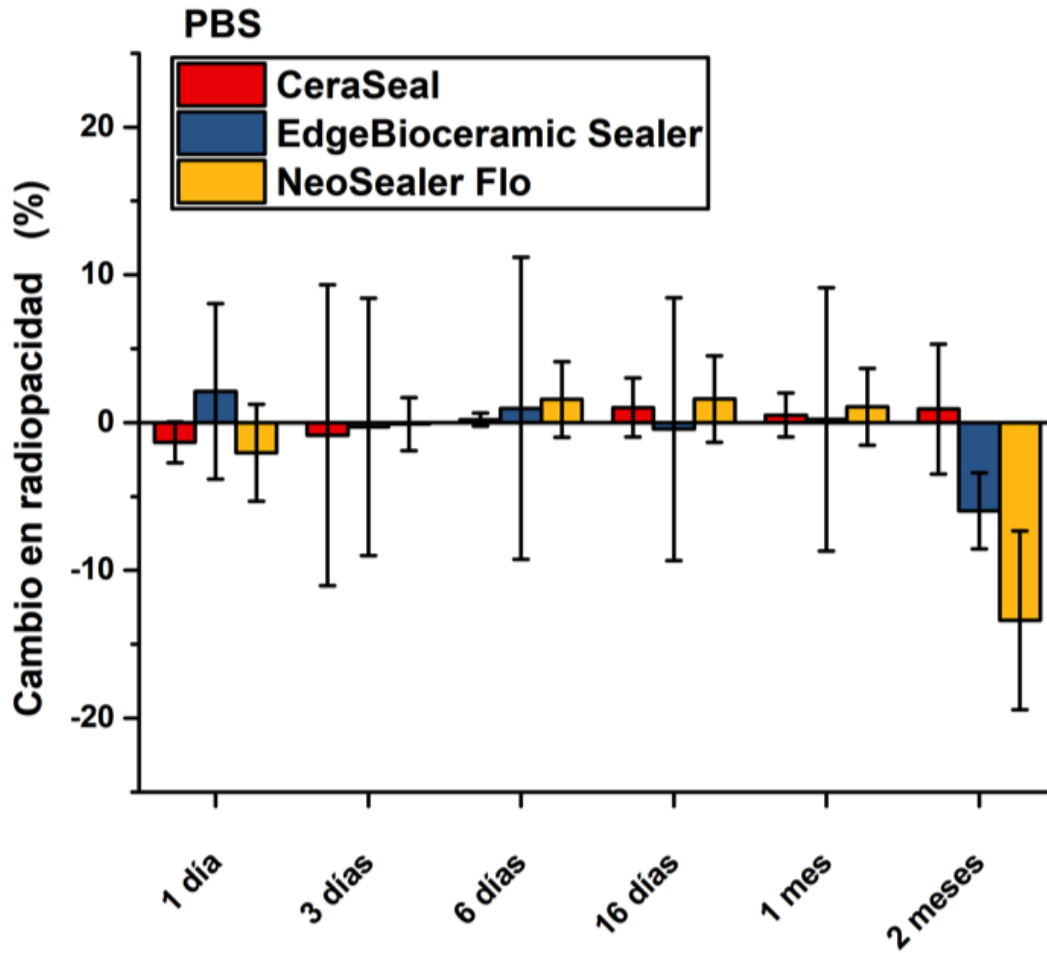
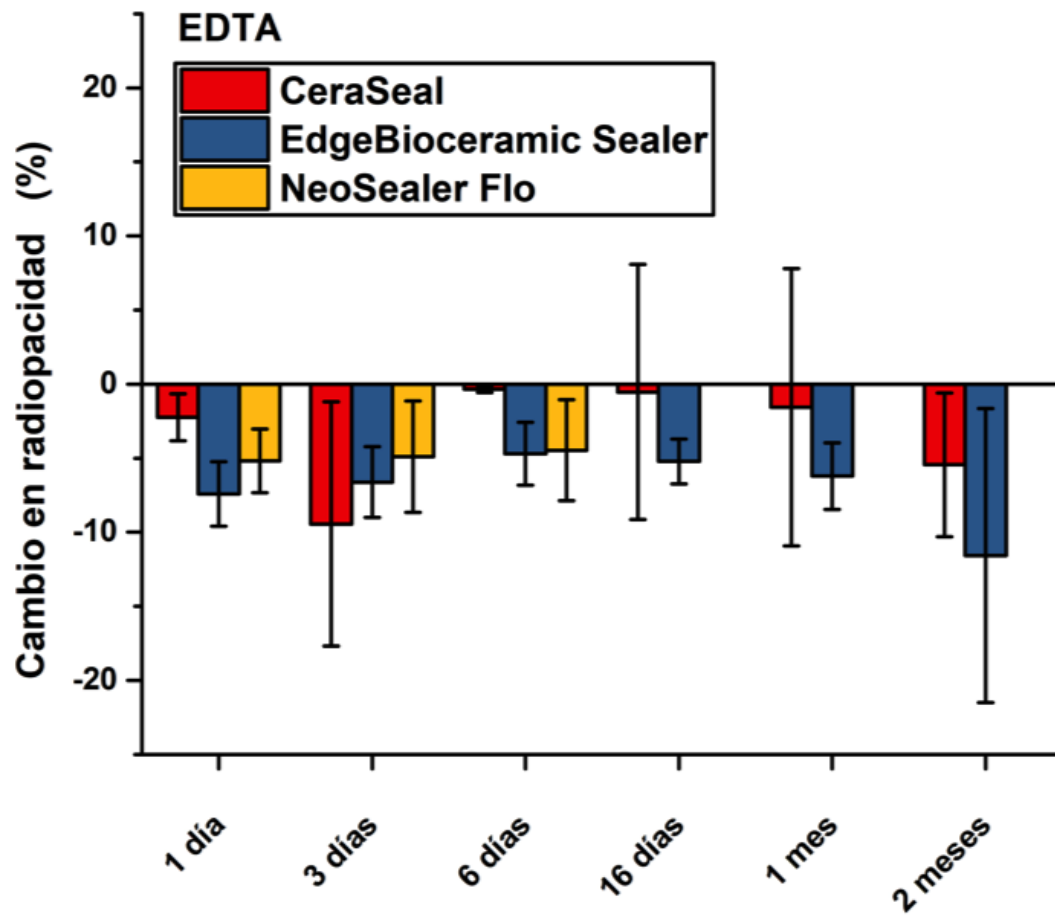


Figura 19. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en PBS

*Radiopacidad de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo después de su incubación estática a temperatura fisiológica en solución acuosa de PBS.*



**Figura 20. Radiopacidad de los cementos biocerámicos incubados en EDTA**

*Radiopacidad de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo después de su incubación estática a temperatura fisiológica en solución acuosa de EDTA.*

#### 9.4. MONITORIZACIÓN DEL pH CON EL TIEMPO

La evaluación del pH de los cementos selladores CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo se llevó a cabo después de 10 días de fraguado en incubadora a 37 °C. Las pastillas fueron depositadas en el interior de vasos recolectores para muestra con 6 ml de agua destilada, solución acuosa de PBS y solución acuosa de EDTA. El pH de las muestras de estudio fue medido en el intervalo de 0-175 días; los resultados obtenidos se muestran en las Figura 21-23.

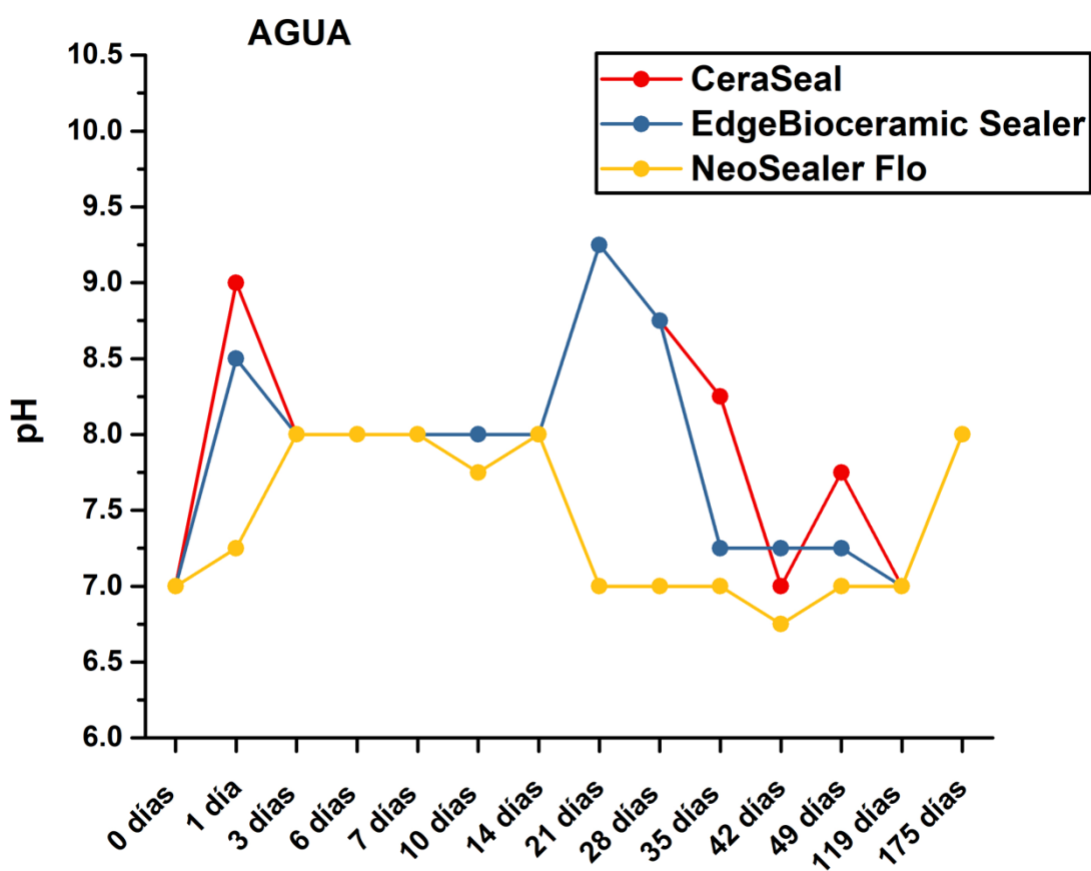


Figura 21. Valores de pH de la solución de agua destilada

En la Figura se observan los gráficos con los valores de pH de las muestras de los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en agua destilada medidos a distintos tiempos.

Para el caso de las muestras incubadas en agua (difusión pasiva de iones) los resultados mostrados en la Figura 21 demuestran que el cemento CeraSeal exhibió

valores fluctuantes de pH de entre 7 y 9.25 (media, mediana y moda = 8, 8 y 8, respectivamente). En el caso de EdgeBioceramic Sealer exhibió valores fluctuantes de pH de 7-9.25 (media, mediana y moda = 8, 8 y 8, respectivamente) y el cemento NeoSealer Flo exhibió valores fluctuantes de pH entre 6.75 y 8 (media, mediana y moda = 7.5, 7 y 7, respectivamente).

En lo que respecta a las muestras incubadas en PBS (difusión pasiva de iones), los resultados obtenidos se muestran en la Figura 22.

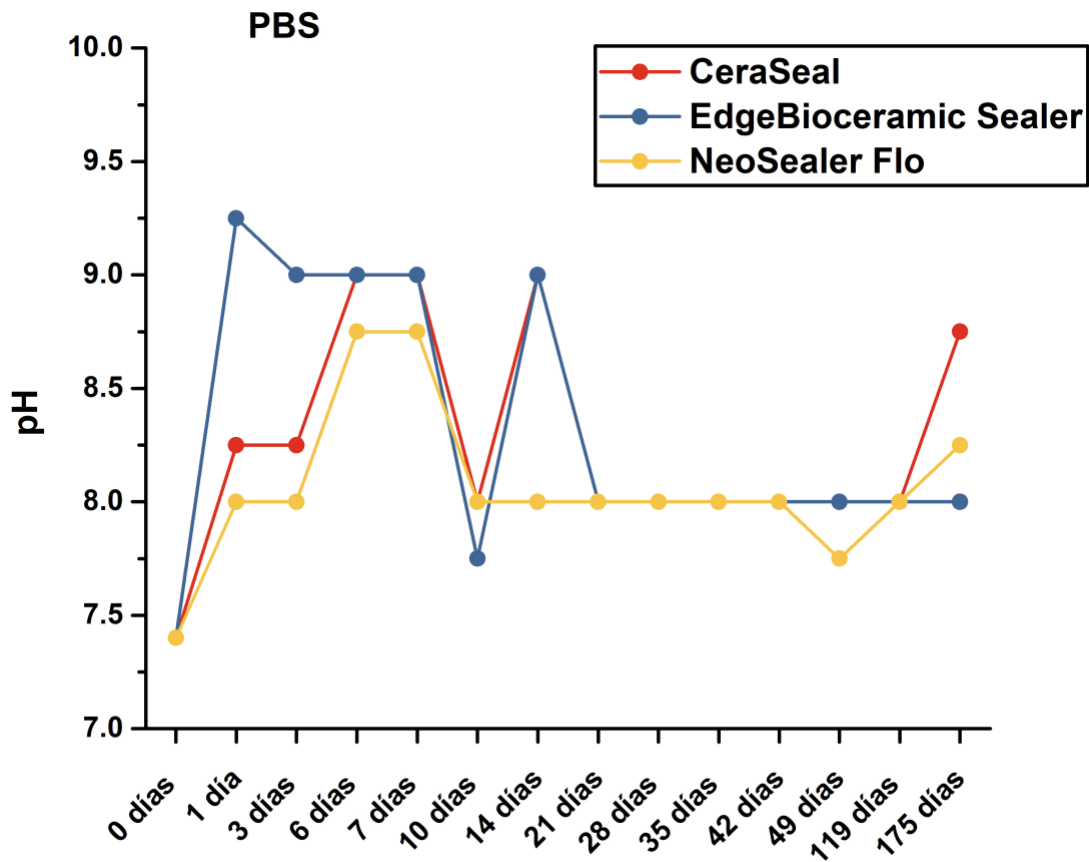


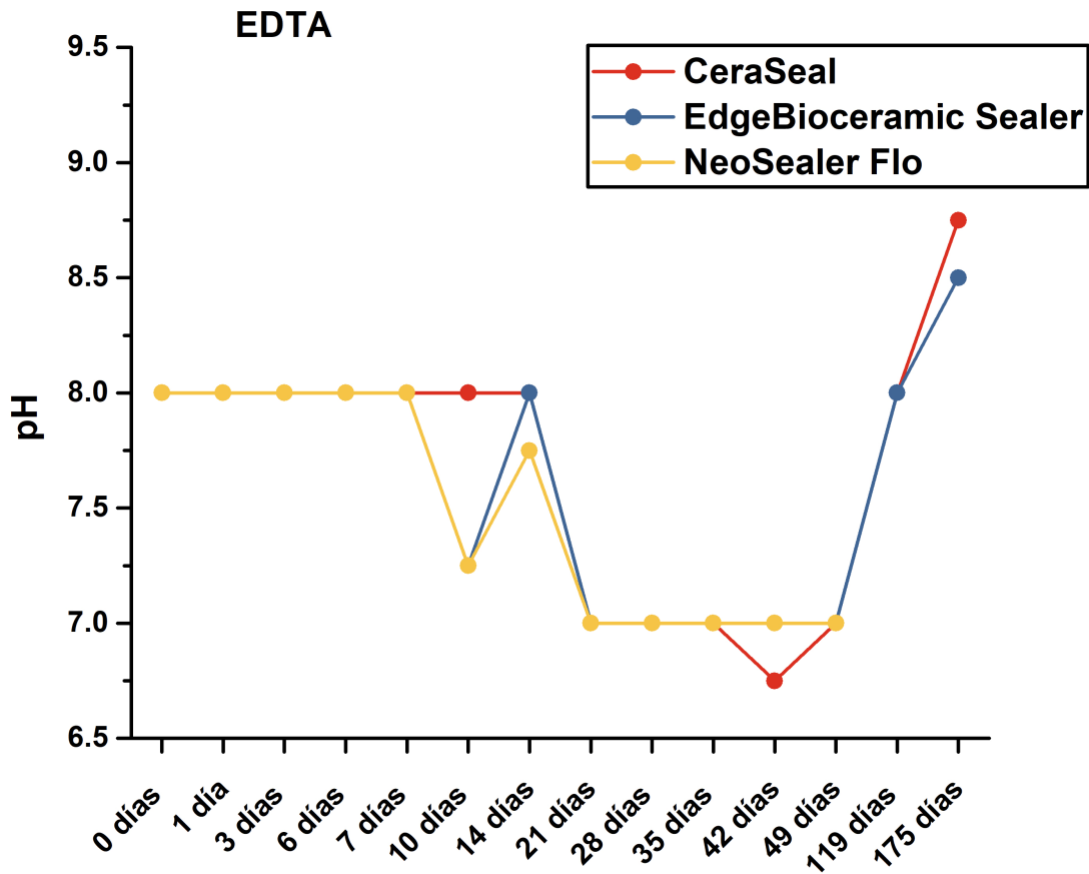
Figura 22. Valores de pH de la solución de PBS

En la Figura se observan los gráficos con los valores de pH de las muestras de los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en PBS medidos a distintos tiempos.

El cemento CeraSeal exhibió valores fluctuantes de 7.4-9 (media, mediana y moda = 8, 8 y 8, respectivamente). En el caso de EdgeBioceramic Sealer exhibió valores fluctuantes de 7.4-9.25 (media, mediana y moda = 8, 8 y 8, respectivamente) y en

el cemento NeoSealer Flo exhibió valores fluctuantes de 7.4-8.75 (media, mediana y moda = 8, 8 y 8, respectivamente).

Finalmente, en lo que respecta a las muestras incubadas en EDTA (difusión acelerada de iones), los resultados obtenidos se muestran en la Figura 23.



**Figura 23. Valores de pH de la solución de EDTA**

En la Figura se observan los gráficos con los valores de pH de las muestras de los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo en EDTA medidos a distintos tiempos.

El cemento CeraSeal exhibió valores fluctuantes 6.75-8.75 (media, mediana y moda = 7.5, 8 y 8, respectivamente). En el caso de EdgeBioceramic Sealer valores fluctuantes de 7-8.5 (media, mediana y moda = 7.5, 8 y 8, respectivamente). En el caso del cemento NeoSealer Flo exhibió valores fluctuantes de 7-8 (media, mediana

## *IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

y moda = 7.5, 7.5 y 8, respectivamente). Digno de mencionar en este punto es que la pastilla de cemento NeoSealer Flo se disolvió después completada la medición de 49 días (en el intervalo de comprendido entre los 50 y 60 días, sin haber sido manipulada).

## X. CONCLUSIONES

Se caracterizó la evolución con el tiempo de la estabilidad física, radiopacidad y pH de los cementos biocerámicos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, a través de su incubación en medios promotores de difusión pasiva (agua destilada y solución acuosa de PBS) y acelerada de iones (solución acuosa de EDTA).

### **Estabilidad física de los cementos biocerámicos:**

1. A partir de análisis fotográficos y por gravimetría se demostró que los medios promotores de difusión pasiva de iones dieron lugar a la formación de cristales de sal sobre la superficie de las pastillas de CeraSeal (agua y solución acuosa de PBS) y EdgeBioceramic Sealer (solución acuosa de PBS).
2. Para el caso de las muestras incubadas en agua (difusión pasiva de iones) se observó un incremento gradual en el peso con el tiempo para cada cemento, particularmente a tiempos largos, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las comparaciones ( $p > 0.05$ ).
3. Se identificaron diferencias estadísticamente significativas en el cambio en peso de las muestras incubadas en PBS con el tiempo (difusión pasiva de iones): la primera diferencia estadísticamente significativa para los cementos CeraSeal, EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo fue entre los puntos de 1 y 4 meses, 1 y 2 meses, y 1 y 2 meses, respectivamente ( $p < 0.05$ ).
4. En lo que respecta a la incubación en EDTA (difusión acelerada de iones), se observó una disminución gradual en el tamaño y peso de las pastillas de los cementos EdgeBioceramic Sealer y NeoSealer Flo, llegando hasta la completa disolución de la pastilla de NeoSealer Flo. Estos cementos exhibieron la primera diferencia estadísticamente significativa entre los puntos de 2 y 4 meses, y 6 y 16 días, respectivamente ( $p < 0.05$ ).

### **Radiopacidad de los cementos biocerámicos:**

5. A partir de radiografías y su análisis de intensidad en escala de grises se observó que los cementos exhibieron un decremento gradual mínimo en su radiopacidad durante su incubación en agua destilada, PBS y EDTA, demostrándose que no existe diferencia estadísticamente significativa independientemente de la naturaleza del cemento y de la solución de incubación ( $p > 0.05$  en todas las comparaciones).

**pH de los cementos biocerámicos:**

6. Se observó que los tres cementos presentaron valores de pH fluctuantes durante su incubación en agua destilada, PBS y EDTA, en la ventana de neutro a moderadamente alcalino, independientemente de su naturaleza y de la solución de incubación, distinguiéndose el cemento NeoSealer Flo como aquel que exhibió los valores de pH más bajos en las tres soluciones de incubación.
7. Con base en todo lo anterior, se valida la hipótesis alternativa 1 (H1) de este proyecto de investigación.

## **XI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar caracterización química y físicoquímica de los cementos estudiados para elucidar su estructura y composición química.

Se recomienda realizar caracterización por microcopia electrónica de barrido de los cementos estudiados para determinar su morfología y tamaño de grano.

Se recomienda realizar caracterización biológica de los cementos estudiados para evaluar la citocompatibilidad y actividad antimicrobiana.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

1. Sahli CC, Aguadé EB. Endodoncia Técnicas clínicas y bases científicas. J Chem Inf Model. 2013;1689–99.
2. Goldberg ISF. Endodoncia, Técnica y Fundamentos-Soares&Golberg. Vol. 1. 2002. 03–316 p.
3. Soares IJFG. Endodoncia, Técnica y Fundamentos 2. Vol. 1. Editorial Médica Panamericana; 2002. 325 p.
4. Canalda Sahli C, Brau Aguadè E. Endodoncia, Técnicas clínicas y bases científicas . Tercera Ed. Elsevier Masson, editor. Barcelona España; 2019.
5. Ghanaati S, Willershausen I, Barbeck M, Unger R, Joergens M, Sader R, et al. Tissue reaction to sealing materials: different view at biocompatibility. Eur J Med Res. 2010;15(11):483.
6. Friedmann S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment out- comes in endodontics: The Toronto study. Phase1: Initial Treatment. J Endod. 2003; 29: 787-93.
7. Friedman S, Mor S. The success of endodontic therapy healing and functionality. cDa Journal. 2004; 6: 493-503.
8. Salehrabi R, Rotstein I. Endodontic treatment outcomes in a large population in the usa: an epidemiological study. J Endod. 2004; 30: 846–50.
9. Kenneth M. Hargreaves LMB. Cohen Vías de la Pulpa. Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952. 2016.
10. Nathan AJ, Scobell A. Vías de la Pulpa. Décima Edi. Hargreaves Kenneth, Cohen Stephen BL, editor. Vol. 91, Foreign Affairs. 2012. 1689–1699 p.
11. Weine F. Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. J Endod. 1976 Oct;2(10):298–303.
12. Martín G. Efecto antimicrobiano de tres soluciones irrigantes sobre enterococcus faecalis alojados en el conducto radicular. [Cordova]: Universidas Nacional de Cordova; 2014.
13. Torabinejad M, Walton R. Endodoncia, Principios y Práctica. 4ta. Edici. Barcelona, España.: Elsevier; 2010. 493 p. .

14. Endodóntica LAO, General UNAV. La obturación endodóntica, una visión general. *Rev Nac Odontol.* 2012;8(15):87–94. .
15. Ricucci D, Rôças IN, Alves FRF, Loghin S, Siqueira JF. Apically Extruded Sealers: Fate and Influence on Treatment Outcome. *J Endod.* 2016 Feb;42(2):243–9.
16. Ricucci D, Rôças IN, Alves FRF, Loghin S, Siqueira JF. Apically Extruded Sealers: Fate and Influence on Treatment Outcome. *J Endod.* 2016;42(2).
17. Faria-Junior NB, Tanomaru-Filho M, Berbert FL, Guerreiro-Tanomaru JM. Antibio- film activity, pH and solubility of endodontic sealers. *Int Endod J* 2013;46: 755–62.
18. Sch€afer E, Zandbiglari T. Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 2003;36:660–9.
19. Muruzabal M, Erausquin J, Devoto FCH. A study of periapical overfilling in root canal treatment in the molar of rat. *Arch Oral Biol.* 1966 Apr;11(4):373–83.
20. Augsburger RA, Peters DD. Radiographic evaluation of extruded obturation materials. *J Endod.* 1990 Oct;16(10):492–7.
21. Garrido M, Morales D, Saldías MP, Fernández C, Villalobos V, Cerda O, et al. Cellular response of human apical papilla cells to calcium hydroxide and tricalcium silicate-based cements. *BMC Oral Health.* 2021 Dec 9;21(1):106.
22. Problem-Solving Challenges in Root Canal Obturation [Internet]. *Pocket Dentistry.* 2015 [cited 2023 Jun 11]. Available from: <https://pocketdentistry.com/12-problem-solving-challenges-in-root-canal-obturation/>
23. Grossman L: *Endodontics*, 11 ed, Philadelphia, 1988, Lea & Febiger.
24. Grossman L: An improved root canal cement, *J Am Dent Assoc* 56:381, 1958.
25. Silva EJ, Perez R, Valentim RM, Belladonna FG, De-Deus GA, Lima IC, et al. Dissolution, dislocation and dimensional changes of endodontic sealers after a solubility challenge: a micro-CT approach. *Int Endod J.* 2017 Apr;50(4):407–14.
26. Augsburger RA, Peters DD: Radiographic evaluation of extruded obturation materials, *J Endod* 16:492, 1990.

27. Fransen JN, He J, Glickman GN, Rios A, Shulman JD, Honeyman A. Comparative Assessment of ActiV GP/Glass Ionomer Sealer, Resilon/Epiphany, and Gutta-Percha/AH Plus Obturation: A Bacterial Leakage Study. *J Endod.* 2008 Jun;34(6):725–7.
28. Friedman S, Lost C, Zarrabian M, Trope M: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer, *J Endod* 21:384, 1995.
29. Giacomino CM, Wealleans JA, Kuhn N, Diogenes A. Comparative Biocompatibility and Osteogenic Potential of Two Bioceramic Sealers. *J Endod.* 2019 Jan;45(1):51–6.
30. Shen Y, Peng B, Yang Y, Ma J, Haapasalo M. What do different tests tell about the mechanical and biological properties of bioceramic materials? *Endod Topics.* 2015 May;32(1):47–85.
31. Meta-Biomed. CeraSeal [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: [https://www.meta-biomed.com/bbs/board.php?bo\\_table=dental&wr\\_id=9](https://www.meta-biomed.com/bbs/board.php?bo_table=dental&wr_id=9)
32. EdgeEndo. EdgeBioceramic Sealer [Internet]. [cited 2019 May 11]. Available from: <https://www.edgeendo.com/edgebioceramic-sealer-retrofill/>
33. Avalon Biomed. NeoSealer Flo [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: <https://www.avalonbiomed.com/product/neosealer-flo-kits/>
34. López Z. Evolución con el tiempo de la radiopacidad y estabilidad del material de obturación Vitapex: estudio clínico e invitro y caso clínico. [Tijuana, Baja California]: Universidad Autonoma de Baja California ; 2018.
35. Tanomaru-Filho M, Silveira GF, Tanomaru JMG, Bier CAS. Evaluation of the thermoplasticity of different gutta-percha cones and Resilon®. *Australian Endodontic Journal.* 2007 Apr;33(1):23–6.