



**Facultad de Odontología
Escuela de Graduados**

**Comparación de la resistencia a la fractura por fatiga
cíclica de tres instrumentos reciprocantes Excalibur®,
WaveOne® Gold y Reciproc® Blue tras sesiones de
esterilización: Estudio *in-vitro*.**

Autores:

Dr. RUPERTO CORREA TORRES

Dra. PÍA ALARCÓN BARRIOS

Tesis para optar al Título de Especialista en Endodoncia

Docente Guía: Dr. Pedro Alarcón Goldenberg

Directora Programa: Dra. Alicia Caro Molina

Valparaíso, Chile

2025

Financiamiento

Tesis financiada con fondos del Proyecto UVA 2495 - Financiamiento de Tesis y/o Trabajos de Finalización de Estudios de Pregrado y Postgrado. Universidad de Valparaíso.

Dedicatoria

A nuestras familias, por ser el pilar y motor de nuestros logros.

*A nuestros docentes, por su generosa sabiduría y calidez humana con la que
guiaron nuestra formación.*

Agradecimientos

A Nicholas Smith (Research Associate - NIAR Laboratory Wichita, Kansas, EE.UU.) por su contribución en la etapa de diseño y manufactura de la matriz metálica utilizada en este estudio.

A Miguel Parra (Ingeniero en Estadística - Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso, Chile) por su contribución en la etapa de análisis estadístico de datos.

Autoría de la Investigación: Se utilizó la taxonomía de roles de colaboración académica CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*) (1).

En esta investigación las contribuciones consensuadas entre los autores fue la siguiente: Ruperto Correa-Torres fue responsable de la Conceptualización, Metodología, Software, Análisis formal, Investigación, Recursos, Curación de datos, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición, Visualización, Supervisión, Administración de proyectos y Adquisición de fondos. Pía Alarcón-Barrios contribuyó a la Conceptualización, Investigación, Validación, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición, Supervisión y Adquisición de fondos. Pedro Alarcón-Goldenberg participó en la Conceptualización, Redacción – revisión y edición, Validación y Supervisión. El detalle de las contribuciones de los autores se detalla en la sección **anexos**.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
- Fundamentos de Endodoncia y preparación biomecánica	2
- Características de los sistemas rotatorios y aleaciones NiTi	9
- Cinemática y sistemas recíprocos	16
(WaveOne®, Reciproc®, Excalibur®)	
- Fractura de instrumentos y efectos de la esterilización	24
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	28
4. MATERIALES Y MÉTODOS	30
- Diseño experimental y selección de la muestra	30
- Procedimiento y recolección de datos	31
- Análisis estadístico	35
5. RESULTADOS	37
6. DISCUSIÓN	41
7. CONCLUSIONES	46
8. SUGERENCIAS	47
9. BIBLIOGRAFÍA	49
10. ANEXOS	56

Resumen

Objetivo: La fatiga cíclica es un mecanismo determinante en la fractura de instrumentos de níquel-titanio en sistemas reciprocantes. Aunque los tratamientos térmicos han mejorado su resistencia mecánica, el efecto aislado de la esterilización por autoclave sobre la resistencia a la fatiga cíclica no está completamente esclarecido, especialmente en instrumentos de uso reciente. El objetivo principal fue comparar la resistencia a la fractura por fatiga cíclica de tres sistemas de instrumentos endodónticos reciprocantes: WaveOne® Gold, Reciproc® Blue y Excalibur®, evaluando el impacto de distintos ciclos de esterilización bajo condiciones experimentales estandarizadas. El estudio se centró en determinar si existían diferencias en el Número de Ciclos hasta la Fractura (NCF) y evaluar cómo los procesos de esterilización en autoclave influyen en la vida útil y las propiedades mecánicas de cada lima.

Materiales y métodos: Se diseñó un estudio experimental *in-vitro* que utilizó una muestra total de 63 limas nuevas, 21 instrumentos por cada sistema. Estos grupos se subdividieron en tres categorías según la cantidad de ciclos de esterilización recibidos: de fábrica, una sesión y tres sesiones de autoclave a 134°C por 40 minutos. La metodología consistió en posicionar el motor mediante un montaje fijo y accionar los instrumentos de forma automatizada dentro de una matriz metálica, fabricada para simular un conducto radicular con una curvatura de 60 grados y un radio de 5 milímetros. Se registraron los tiempos hasta la fractura mediante video y se calcularon los valores de NCF. El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATA SE versión 18.0, con nivel de significancia estadística $p < 0,05$.

Resultados: Revelaron tendencia de resistencia estadísticamente significativa en el desempeño mecánico entre los diferentes sistemas, donde el sistema Excalibur® y

Reciproc® Blue exhibieron la mayor resistencia a la fatiga cíclica que el sistema WaveOne® Gold. Respecto a las variables de esterilización, se observó un comportamiento diferencial; el sistema WaveOne® Gold aumentó su resistencia tras el primer ciclo de esterilización en comparación con su estado de fábrica. En contraste, los sistemas Reciproc® Blue y Excalibur® mantuvieron su estabilidad estructural, sin mostrar variaciones estadísticas relevantes entre los grupos no esterilizados y los sometidos a múltiples ciclos.

Conclusiones: Existieron diferencias de rendimiento entre los tres sistemas reciprocantes evaluados, siendo mejor la resistencia a la fractura cíclica en los sistemas Excalibur® y Reciproc® Blue. Adicionalmente, se determinó que el proceso de esterilización no deterioró la resistencia a la fatiga cíclica en los tres sistemas reciprocantes estudiados, actuando incluso como un factor favorable, aumentando la resistencia inicial del sistema WaveOne® Gold.

En este estudio de sistemas de limas reciprocantes, se determinó que las limas Excalibur® presentan la mayor resistencia a la fatiga cíclica, superando a Reciproc® Blue y posicionándose ambos sistemas significativamente por encima de WaveOne® Gold.

Palabras Clave: Preparación del Conducto Radicular, flexibilidad, fatiga, fracturas por estrés, endodoncia

Abstract

Objective: Cyclic fatigue is a determining mechanism in the fracture of nickel-titanium instruments in reciprocating systems. Although thermal treatments have improved their mechanical resistance, the isolated effect of autoclave sterilization on cyclic fatigue resistance is not fully understood, especially in recently introduced instruments. The main objective was to compare the cyclic fatigue fracture resistance of three reciprocating endodontic instrument systems: WaveOne® Gold, Reciproc® Blue, and Excalibur®, assessing the impact of different sterilization cycles under standardized experimental conditions. The study focused on determining whether differences existed in the Number of Cycles to Fracture (NCF) and evaluating how autoclave sterilization processes influence the lifespan and mechanical properties of each file.

Materials and Methods: An in vitro experimental study was designed using a total sample of 63 new files, with 21 instruments per system. These groups were subdivided into three categories based on the number of sterilization cycles received: as received (factory), one cycle, and three autoclave cycles at 134°C for 40 minutes.

The methodology involved positioning the motor using a fixed mount and automatically activating the instruments inside a metal matrix designed to simulate a root canal with a 60-degree curvature and a 5-millimeter radius. Time to fracture was recorded via video, and NCF values were calculated. Statistical analysis was performed using STATA SE software (version 18.0), with a significance level set at $p < 0.05$.

Results: The results revealed a statistically significant trend in mechanical performance among the different systems, where Excalibur® and Reciproc® Blue exhibited greater cyclic fatigue resistance than WaveOne® Gold.

Regarding the sterilization variables, a differential behavior was observed; WaveOne® Gold increased its resistance after the first sterilization cycle compared to its as-

received state. In contrast, Reciproc® Blue and Excalibur® maintained their structural stability, showing no statistically significant variations between the non-sterilized groups and those subjected to multiple cycles.

Conclusions: Performance differences were found among the three evaluated reciprocating systems, with Excalibur® and Reciproc® Blue demonstrating superior cyclic fracture resistance. Additionally, it was determined that the sterilization process did not compromise cyclic fatigue resistance in the three studied reciprocating systems; it even acted as a favorable factor by enhancing the initial resistance of the WaveOne® Gold system.

In this study of reciprocating file systems, Excalibur® files were found to exhibit the highest resistance to cyclic fatigue, outperforming Reciproc® Blue, with both systems ranking significantly higher than WaveOne® Gold.

Keywords: Root Canal Preparation, flexibility, fatigue, fractures, stress, endodontic

Introducción

Nuestra investigación se fundamenta en la necesidad de evaluar la resistencia a la fractura por fatiga cíclica de tres de los múltiples sistemas reciprocantes modernos que existen en la Endodoncia Contemporánea, WaveOne® Gold, Reciproc® Blue y Excalibur®, y determinar si los ciclos de esterilización en autoclave afectan su vida útil.

Para alcanzar los objetivos, diseñamos un estudio experimental in-vitro con 63 limas nuevas, divididas en subgrupos según la cantidad de ciclos de esterilización recibidos (de fábrica, uno y tres ciclos).

La metodología consistió en accionar los instrumentos dentro de una matriz metálica curva simulada hasta su fractura, registrando en video el tiempo y el número de ciclos resistidos para su análisis comparativo.

Marco Teórico

Endodoncia:

La endodoncia es la rama de la odontología que estudia la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental, así como la prevención y tratamiento de sus alteraciones y consecuencias periapicales (2).

El tratamiento de conductos en dientes permanentes implica el uso de técnicas químicas y mecánicas científicamente probadas para tratar el sistema de conductos radiculares, promoviendo la curación y reparación de los tejidos perirradiculares (3).

Indicaciones del tratamiento endodóntico no quirúrgico en dientes permanentes maduros:

1. Pulpitis irreversible sintomática o asintomática con o sin evidencia de lesión periapical.
2. Pulpa necrótica con o sin evidencia de lesión periapical.
3. Diente con pulpa comprometida en procedimientos dentales.
4. Indicación rehabilitadora para restauración con poste.
5. Diente con *crack* o fractura con pulpa involucrada.
6. Diente con hipersensibilidad que afecta su función normal, cuando los métodos alternativos han fracasado (3).

Procedimiento:

1. Acceso adecuado, dictado por el tamaño y la forma de la cámara pulpar y sus entradas a los conductos, así como la posición del diente en la arcada. Se retira suficiente techo de la cámara para visualizar todo el piso pulpar.
2. La conformación, limpieza, desinfección y obturación de todos los conductos se realiza utilizando una técnica aséptica con aislamiento mediante dique de goma. Los selladores de conductos radiculares se emplean junto con un material obturador biológicamente aceptable, ya sea semisólido o sólido, para establecer un sellado adecuado del sistema de conductos radiculares.
3. Utilización de instrumentos esterilizados y fabricados con materiales biocompatibles como Níquel-Titanio.
4. Luego del tratamiento endodóntico no quirúrgico, se debe restaurar el diente lo antes posible con el objetivo de prevenir la filtración coronal del material provisorio instalado hacia el sistema de conductos radiculares y/o la fractura del diente tratado (3).

Objetivos del tratamiento endodóntico no quirúrgico en dientes permanentes maduros:

1. Aliviar y prevenir futuros síntomas y signos clínicos.
2. Debridar y conformar el sistema de conductos radiculares.
3. Crear la apariencia radiográfica de un sistema de conductos radiculares bien sellado, lo más cercano a la constricción apical. Evitar sobreextensión y subextensión del material obturador.
4. Recuperar la integridad y promover la curación de los tejidos periapicales (3).

Desinfección:

La desinfección involucra destruir a la mayoría de los elementos vivos, y en especial a los patógenos.

La desinfección del sistema de conductos radiculares sigue siendo objeto de constante estudio. En la actualidad, el único producto desinfectante que disuelve el tejido pulpar es el Hipoclorito de Sodio (NaClO), manteniendo su popularidad entre los especialistas (4).

Para aumentar la eficacia de la preparación mecánica y la eliminación de bacterias, la instrumentación debe complementarse con soluciones de irrigación activadas. Los objetivos de la irrigación son mecánicos y biológicos. El objetivo mecánico es eliminar residuos, lubricando el conducto y disolviendo tejido orgánico e inorgánico. La función biológica de los irrigantes se relaciona con su efecto antimicrobiano.(4)

Métodos comunes de irrigación:

Los métodos más utilizados incluyen:

- Irrigantes químicos:
 - Hipoclorito de Sodio: es la solución irrigante más utilizada, es un excelente antibacteriano, capaz de disolver tejido necrótico, tejido pulpar vital y los componentes orgánicos de dentina y biopelículas, de acción rápida, desodorizante y blanqueante (4). Se utiliza normalmente en una concentración de 5,25% (2).
 - Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA) y agentes quelantes: se emplean para remover el 'barro dentinario' formado durante la preparación biomecánica del conducto radicular (2).

- Suero: solución inocua, es el irrigante de elección en la etapa de biopulpectomía ya que su función es sólo de arrastre del tejido pulpar desbridado y restos sanguíneos; debido a que el Hipoclorito de Sodio produce hemólisis con la consecuente tinción dentaria. También suele utilizarse como lavado final de la instrumentación (5).
- Clorhexidina (CHX): es un antimicrobiano de amplio espectro, agonista activo frente a bacterias gram-positivas y gram-negativas, además de levaduras. Por su naturaleza catiónica, la CHX puede unirse electrostáticamente a superficies bacterianas de carga negativa, dañando las capas externas de la pared y haciéndola permeable. Según su concentración, la CHX puede tener efectos bacteriostáticos y bactericidas. En concentraciones altas, la CHX actúa como detergente, al dañar la membrana celular, causa una precipitación del citoplasma y, por tanto, tiene un efecto bactericida. A concentraciones bajas subletales, la CHX es bacteriostática, además tiene propiedades de sustantividad (4).

Existen múltiples técnicas de irrigación, como lo son la irrigación con jeringa (con salida lateral), la irrigación sónica, y ultrasónica pasiva, esta última hasta el momento es el '*gold standard*'; además de otras que actualmente se están investigando como lo son el uso de nanopartículas y láser.

Conformación radicular y preparación biomecánica:

En el tratamiento de endodoncia, la preparación biomecánica tiene el importante objetivo de conformar los conductos para poder lograr una correcta desinfección y posterior obturación.(6,7)

Objetivos básicos de la limpieza y conformación:

Los objetivos principales de la limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares son:

- Eliminar los tejidos blandos y duros infectados.
- Proporcionar acceso a las soluciones de irrigación y desinfección hasta la zona apical.
- Crear espacio para la colocación de medicamentos y la subsiguiente obturación.
- Conservar la integridad de las estructuras radiculares (4).

Se dispone de una amplia gama de instrumentos, tanto manuales como rotatorios, para la preparación del conducto radicular.

Hasta la última década del siglo pasado, los instrumentos endodónticos se fabricaban de acero inoxidable, con la introducción de la aleación de Níquel-Titanio (NiTi) comenzaron a variar los diseños de los instrumentos en lo que respecta a la conicidad, las longitudes de las hojas de corte y el diseño de la punta, con la finalidad de respetar la morfología del conducto radicular (4).

Técnicas de instrumentación del sistema de conductos radiculares:

'Watch-winding': Es un movimiento de rotación alternado en sentido horario/antihorario. Se utiliza para 'negociar' conductos curvos, aplicando una ligera presión manual para profundizar la lima.

'Step-back': Posterior al ensanchamiento coronal, y habiendo determinado la lima apical inicial que ajusta a la longitud de trabajo (LT), las limas sucesivas de mayor diámetro se acortan a razón de 0,5 a 1mm con respecto a la lima anterior.

'Crown-down': Originalmente ideada para limas manuales, se ha incorporado en sistemas de limas Ni-Ti. Con la cámara llena de irrigante, se explora el conducto con un instrumento pequeño, para evaluar permeabilidad y morfología. Se puede establecer LT en ese momento, se ensancha el tercio coronal y luego se introduce una lima de un diámetro mayor, disminuyendo secuencialmente su diámetro hasta alcanzar la posición más apical coronal (8).

Conceptos de fuerzas balanceadas:

La instrumentación de los conductos curvos se debe efectuar con movimientos de rotación horaria/antihoraria de las limas. Para ello se basa en estudios físicos sobre las fuerzas que ejerce la lima sobre la pared del conducto y viceversa, teniendo en cuenta la curvatura del conducto.

La técnica descrita se basa exclusivamente en movimientos de rotación para la penetración, corte y limpieza de los conductos radiculares.

- Penetración de la lima: Se realiza mediante rotaciones horarias de hasta 180 grados con una presión manual muy suave hacia el interior del conducto, evitando una penetración excesiva y el riesgo de fractura del instrumento.
- Corte: Se efectúa con rotaciones antihorarias de 120 grados o más, aplicando presión manual suave para instrumentos pequeños y fuerte para los grandes. Estos pasos se repiten hasta alcanzar la longitud de trabajo deseada.
- Limpieza: Se logra con una o dos rotaciones horarias en la longitud de trabajo, sin presión o retirando ligeramente hacia afuera. En conductos muy curvos, si no es posible realizar estas rotaciones, se opta por una rotación antihoraria de 120 grados, como se muestra en la Figura 1 (9).

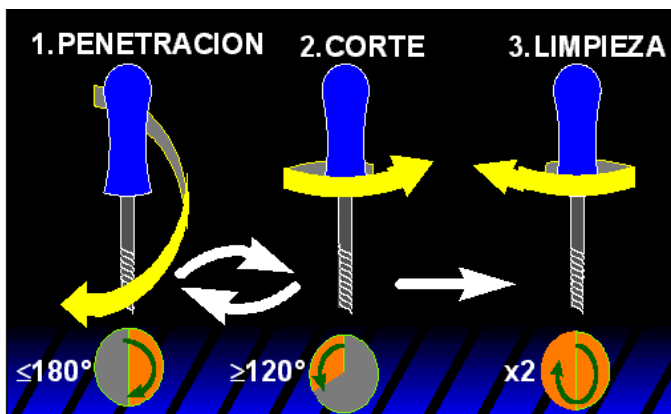
Colocación sentido horario vs corte sentido antihorario:

- Diseño: Los bordes cortantes en una lima K se inclinan hacia abajo desde el vástago a 45 grados del eje vertical y las estrías se espiralizan en sentido horario.

Aspectos técnicos para considerar:

- Una carga aplicada mediante rotación horaria se aleja del operador y mueve el instrumento apicalmente, mientras que una carga ejercida mediante rotación antihoraria empuja hacia el operador y mueve el instrumento fuera del canal.
- El radio de corte aumenta a medida que la lima se mueve hacia adentro. Por el contrario, ese radio disminuye a medida que la lima se mueve hacia afuera.
- Una carga de dentina demasiado grande para cortar hará que la lima se mueva hacia afuera y ese movimiento disminuirá la profundidad de penetración de los bordes de corte en la dentina.
- La disminución en la profundidad de penetración continúa hasta que la presión hacia adentro aplicada por el operador supera la resistencia de la dentina y se produce su corte (10).

Figura 1: Secuencia de Movimientos con la técnica de Roane (11)



Características de los sistemas rotatorios:

1. **Conicidad o 'taper'**: Es el aumento del diámetro de la lima desde la punta por cada milímetro a lo largo de su parte activa. La variación de esta ayuda a disminuir el número de instrumentos y su riesgo de fractura.
2. **Sección transversal**: La forma geométrica que presenta la lima cuando se secciona perpendicularmente al eje longitudinal, determina la cantidad de masa de la lima.
3. **'Radial Land'**: Si en lugar de un borde de corte se forma una superficie plana, se obtiene un '*radial land*', los cuales se diseñaron para reducir la tendencia de la lima a atornillarse en el conducto, reducir el transporte del conducto y limitar la profundidad de corte. Este diseño hace que la lima desgaste en lugar de cortar la dentina, lo que requiere más torque y más tiempo para ser efectiva durante el trabajo.
4. **Ángulo helicoidal**: El ángulo formado por el borde de corte con el eje longitudinal de la lima. Es responsable del corte de la lima por rotación o tracción y de evacuar los residuos depositados en las ranuras. Puede ser constante o variable.
5. **Ángulo de corte**: En la sección transversal, este es el ángulo formado por el borde principal y el radio de la lima. Si el ángulo formado por el borde principal y la superficie a cortar es obtuso, se dice que el ángulo de inclinación es positivo o de corte. Si el ángulo formado por el borde principal y la superficie a cortar es agudo, se dice que el ángulo de inclinación es negativo.
6. **'Pitch'**: Distancia entre puntos correspondientes dentro de los cuales el patrón no se repite. Cuanto más pequeño sea el pitch, más espirales tendrá la lima y mayor será el ángulo de helicoidal.

7. **Diámetro:** Una línea recta que une dos puntos de un círculo (en este caso, la sección transversal de la lima), y que pasa por su centro. Esto puede variar a lo largo de toda la longitud de la lima debido al '*taper*'.
8. **Borde o Filo:** Es la parte de la lima que está en contacto con la dentina, es la unión entre dos ranuras.
9. **Ranura:** Es la parte de la lima utilizada para recoger tejido blando y astillas de dentina eliminadas de la pared del conducto. Su función es importante en la eficiencia de corte de la lima. Las ranuras grandes permitirán más corte que las ranuras pequeñas, ya que tardarán más en saturarse.
10. **Eje de rotación:** En la mayoría de las limas NiTi convencionales, el eje de rotación corresponde al centro geométrico de la sección transversal. Sin embargo, uno de los últimos avances en el diseño de limas fue la introducción de un diseño transversal descentrado. En estos instrumentos el centro geométrico de la sección transversal no coincide con el centro de rotación. Con esta idea, los fabricantes afirman que las tensiones durante la rotación se reducen junto con las fuerzas de atornillado, porque se reducen los contactos del instrumento con el conducto y se aumenta el espacio para la eliminación de detritus. Estas limas de sección descentrada crean un movimiento giratorio asimétrico porque el instrumento no toca las paredes del conducto constantemente. Además, una lima de estas características es capaz de cortar más dentina que una lima de tamaño similar, pero con una sección transversal simétrica centrada en el eje de rotación. La ventaja clínica de esto es que una lima más pequeña y, por tanto, más flexible, puede cortar lo mismo que una más grande y rígida (12).

Aleación NiTi:

En el último tiempo, se han producido considerables cambios en el campo de la instrumentación, tales como: nuevos diseños del instrumental (puntas inactivas, reducción de la parte activa, secciones transversales diferentes a las habituales o mayor conicidad); nuevos materiales, sobre todo aleaciones de NiTi; cambios en la cinemática de instrumentación. Además, se han propuesto modificaciones técnicas, como aquellas que preparan los dos tercios coronarios previo a la preparación del tercio apical (13).

Para su realización han existido múltiples instrumentos a lo largo del tiempo. Partiendo inicialmente con instrumentos manuales de acero inoxidable y después complementándose con los de aleación Níquel-Titanio (NiTi) que han ido evolucionando en instrumentos mecanizados, ya sea rotatorios continuos o reciprocantes (14). En la **Figura 2** se detalla la evolución de las aleaciones de limas Niti (15).



Figura 2. El Diagrama adaptado de Aranguren (2024) presenta el desarrollo histórico de los instrumentos endodónticos de níquel-titanio, desde sus inicios en la década de 1960 hasta las innovaciones recientes (15).

La aleación de NiTi fue desarrollada por el Laboratorio de Artillería Naval (White Oak, MD, EE. UU.); se llamó originalmente Nitinol; un acrónimo de Níquel (Ni), Titanium (Ti) y Laboratorio de Artillería Naval (NOL, por sus siglas en inglés) (16).

La aleación de NiTi utilizada en instrumentos de endodoncia contiene aproximadamente 56% en peso de níquel y 44% en peso de titanio dando como resultado una relación atómica de casi uno a uno (equiatómica) (16).

Esta aleación de NiTi equiatómica puede existir en dos estructuras cristalinas diferentes dependientes de la temperatura llamadas austenita (alta temperatura o fase parental, con una estructura cristalina cúbica B2) y fase martensita (fase de baja temperatura, con una estructura cristalina monoclinica B190) y posee características típicas que son superelasticidad (SE) y efecto de memoria de forma (16).

Para utilizar la superelasticidad de la aleación NiTi, los instrumentos de endodoncia deben consistir principalmente en fase austenita. La austenita se puede transformar en martensita por estrés (por ejemplo, inserción del instrumento en un conducto radicular curvo); este efecto se llama transformación de martensita inducida por estrés (SIM, por sus siglas en inglés) (16). Además de las variaciones en el diseño de instrumentos de NiTi, los fabricantes han introducido varios procedimientos de fabricación patentados que incluyen tratamiento térmico, mecánico y de superficie para mejorar las propiedades mecánicas de las aleaciones de NiTi, con el fin de producir instrumentos con mayor resistencia a fractura y mayor flexibilidad (16).

Tipos de Aleaciones NiTi

Los tipos de aleaciones, composición de fases, propiedades y marcas se describen en **Tabla 1**.

Tabla 1: Tipos de Aleaciones NiTi(16)

Aleación	Composición de fases/Propiedades	Sistema NiTi (marcas)
NiTi convencional	Austenítica: Superelástica	Mtwo, OneShape, ProFile, ProTaper Universal
NiTi convencional	Electropulido: Superelástica	RaCe, BioRaCe, iRace, F360, F6 Skytaper
Fase R	Austenítica: Superelástica	Twisted File, Twisted File Adaptive, K3XF
M-Wire	Austenítica con pequeñas cantidades de fase R y martensita: Superelástica, Transformación inducida por estrés en dos etapas (a través de la fase R)	ProFile Vortex, ProFile GT Series X, ProTaper Next, Reciproc®, WaveOne®
CM Wire	Martensítica con cantidades variables de austenita y fase R: Efecto de memoria controlada, Deformable, pseudoplástica, Efecto de memoria de forma, Flexibilidad superior, Resistencia mejorada a la fatiga cíclica, Mayor ángulo de rotación en fractura, Menor torque máximo	Hyflex CM, Infinite Flex NiTi Files, V-Taper 2H, Hyflex EDM, Gold heat-treated, Blue heat-treated, ProTaper Gold, WaveOne® Gold, ProFile Vortex Blue, Reciproc® Blue
MaxWire	Martensítica (20 °C), austenítica (35 °C): Efecto de memoria de forma, Súper Elástica	XP-endo Finisher, XP-endo Shaper

Tratamiento de aleaciones

Los instrumentos con tratamiento de superficie, como las limas que utilizaremos en nuestro proyecto, son tratados térmicamente y poseen una capa superficial producto de un tratamiento por parte del fabricante. Todas las limas con tratamiento térmico Gold y Blue han demostrado una mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga en comparación con los instrumentos convencionales de NiTi y también M-Wire incluso en conductos curvos (16–19).

En la **Figura 3** se detalla la Clasificación del Rendimiento de los Sistemas de Instrumentación con Categorización, adaptado del artículo de **Aranguren (2024)** (15).

Sistemas de Alto Rendimiento	Excalibur (NCF: 3205.30)
	Reciproc Blue (NCF: 2454)
	TruNatomy (NCF: 1567.08)
	Vortex Blue (NCF: 1442.15)
	Hyflex EDM (NCF: 1319.65)
	EDGEendo (NCF: 1206.55)
	SlimShaper (NCF: 1205.70)
	Hyflex CM (NCF: 1090.85)
	BlueShaper (NCF: 1050.40)
	WaveOne Gold (NCF: 920.95)
Sistemas de Rendimiento Intermedio	Reciproc (NCF: 844.55)
	Rotate (NCF: 799.98)
	TRUShape (NCF: 768.65)
	Protaper Gold (NCF: 739.10)
	WaveOne (NCF: 665.90)
	Protaper Ultimate (NCF: 628.30)
Sistemas de Bajo Rendimiento	2Shape (NCF: 576.60)
	Protaper Next (NCF: 569.20)
	K3XF (NCF: 532.35)
	Protaper Universal (NCF: 497.00)

Figura 3: Clasificación del rendimiento de los sistemas de instrumentación basada en sus valores de NCF (Adaptado de Aranguren (2024) (15).

Concepto de cinemática:

La cinemática se define por la RAE como la “rama de la física que estudia el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen.” (20). En el contexto de la endodoncia nos referimos, por ende, al movimiento que realizan las limas dentro del canal radicular, podemos encontrar dos grandes grupos:

Cinemática de rotación continua: Se define como un movimiento continuo en sentido horario. El instrumento es impulsado en sentido horario hasta completar una revolución equivalente a 360° (21).

Cinemática reciprocante: Se define como un movimiento repetido antihorario y horario en donde el instrumento es impulsado en dirección antihoraria y luego se produce un giro inverso horario completando una rotación completa en varios ciclos (22,23).

Las limas reciprocantes tienen mejor resistencia a la fatiga cíclica que las limas rotatorias. Cuando se han probado en conductos de doble curvatura, las limas reciprocantes también muestran mayor resistencia (24).

Sistemas rotatorios reciprocantes:

El año 2008, el Dr. Ghassan Yared descubrió una proporción desigual entre movimiento horario y antihorario, que le permitió utilizar una única lima ProTaper® (25/0.8) para conformar prácticamente cualquier conducto (25).

El año 2011, fueron lanzadas al mercado las limas WaveOne® y Reciproc®; como las primeras con la técnica de conformación de lima única (26,27). Esto condujo al desarrollo de una nueva generación de instrumentos para la conformación de conductos (28).

Ventajas y desventajas del movimiento reciprocante:

Se han utilizado muchas condiciones y metodologías de prueba para comparar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos endodónticos rotatorios.

Hasta la fecha, los hallazgos sugieren que el movimiento reciprocante mejora la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos, en comparación con la rotación continua, independientemente de otras variables como la velocidad de rotación, el ángulo de curvatura del canal simulado y el diseño del instrumento de NiTi. Sin embargo, la falta de estandarización de los ensayos de laboratorio sigue siendo un problema importante, porque las diferentes condiciones de las pruebas impiden el establecimiento de una base de evidencia científica sólida(14,29).

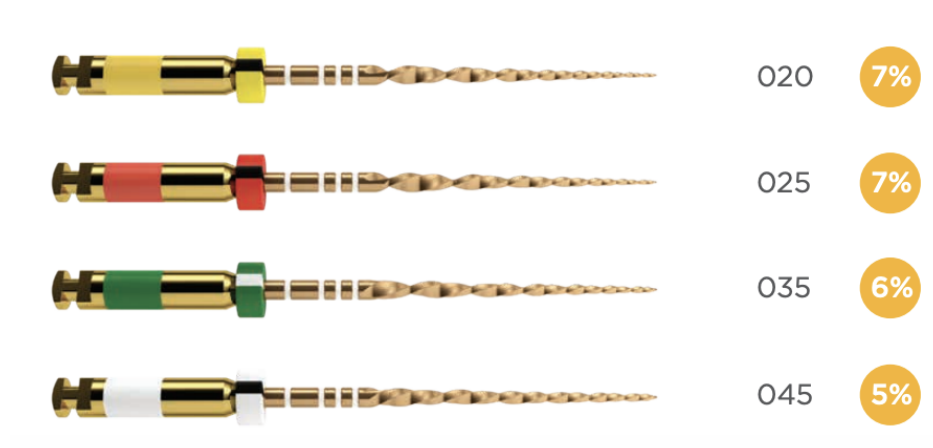
Limas reciprocantes utilizadas en el estudio:

Sistema WaveOne® Gold (Dentsply):

WaveOne® Gold (WOG) es la última versión de las limas WaveOne®. La sección transversal de las limas WOG es un paralelogramo con un borde de corte activo de 85 grados, con contacto alternativo de uno y dos puntos. Las limas WOG se fabrican calentando y luego enfriando lentamente la lima después de la producción, mediante tratamiento térmico con oro, lo que aumenta su flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica (30,31).

WOG incluye cuatro instrumentos: Small, Primary, Medium, y Large con topes de identificación de colores en el mango, respectivamente, amarillo, rojo, verde y blanco; como observamos en la **Figura 4**.

Figura 4: Tip Card WaveOne® Gold (32)



En el sistema de limas WOG la lima más utilizada en el 80% de los casos es la 25.07; denominada Primary (33).

Técnicas de uso recomendadas por el fabricante:

- 1) Establecer un acceso coronal y radicular en línea recta.
- 2) Aplicar gel quelante y utilizar una lima manual del calibre 10 para verificar la vía de deslizamiento hasta la longitud apropiada. En conductos más restringidos, utilizar una lima manual del calibre 10 en cualquier región del conducto para crear la vía de deslizamiento.
- 3) Expandir dicha vía hasta al menos 0,15 mm utilizando una lima manual o mecánica específica, como PathFile, ProGlider o la lima específica WOG Glider.
- 4) Iniciar siempre el proceso de conformación con la lima Primary (25/07 roja) aplicando hipoclorito de sodio (NaClO).
- 5) Aplicar una leve presión hacia dentro y hacer avanzar la lima WOG Primary pasivamente por cualquier zona del conducto donde se haya verificado una vía de deslizamiento. Tras haber conformado 2-3 mm del conducto, retirar y limpiar la lima Primary, irrigar, recapitular con una lima manual del calibre 10 y volver a irrigar.
- 6) Continuar con la lima Primary y hacer 2 o 3 repeticiones para llevar a cabo un ensanchamiento previo de los dos tercios coronales del conducto.

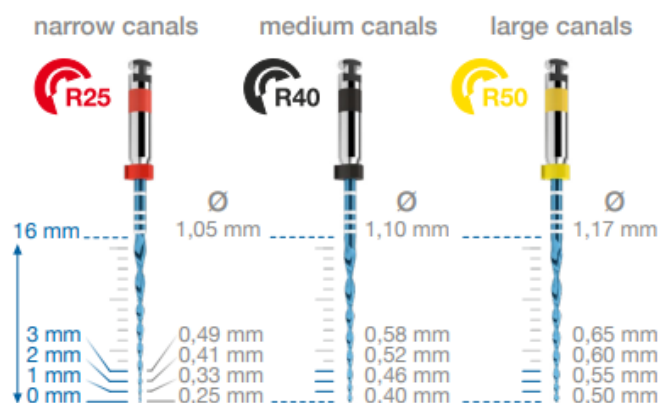
- 7) Efectuar un movimiento de cepillado hacia el exterior para eliminar interferencias coronales o para mejorar los resultados de conformación en conductos que presentan secciones transversales irregulares.
- 8) En conductos más restringidos, utilizar una lima manual del calibre 10 y aplicar gel quelante para continuar hasta el término del conducto. Utilizar esta lima con suavidad hasta que quede completamente suelta en toda su longitud.
- 9) Establecer la longitud de trabajo, confirmar la permeabilidad apical y verificar la vía de deslizamiento.
- 10) Expandir dicha vía hasta al menos 0,15 mm utilizando una lima de vía de deslizamiento manual o mecánica.
- 11) Hacer avanzar la lima WOG Primary hasta la longitud de trabajo completa en una o más repeticiones. Al alcanzar dicha longitud, retirar la lima para evitar agrandar el foramen en exceso. Inspeccionar las espiras apicales; si están llenas de restos de dentina, significa que la conformación está acabada*.
- 12) Si la lima WOG Primary no avanza, utilizar la lima Small (020/07 amarilla) en una o más repeticiones hasta la longitud de trabajo y, a continuación, utilizar la lima Primary hasta la longitud de trabajo para optimizar la forma.
- 13) Una vez confirmada la forma, continuar con los protocolos de desinfección 3-D. Si la lima WOG Primary está suelta a la longitud dada y no hay restos de dentina en las espiras apicales, continuar la conformación con la lima Medium (035/06 verde) o Large (045/05 blanca) hasta que se llenen las espiras apicales.(34)

Sistema Reciproc® Blue (VDW):

Reciproc® Blue (RB) es la segunda generación del sistema de limas Reciproc®. Los instrumentos Reciproc® Blue tienen una sección transversal en forma de S, 2 bordes cortantes y una punta no cortante. A diferencia del sistema Reciproc® anterior, las limas RB se fabrican alterando la estructura molecular mediante un tratamiento térmico, que les da a las limas su color azul, una flexibilidad mejorada y una alta resistencia a la fatiga cíclica (30,31).

El sistema incluye tres limas RB, la R25 para conductos estrechos, R40 para conductos intermedios y R50 para conductos amplios; que se encuentran en los colores rojo, negro y amarillo respectivamente; como se muestra en la **Figura 5** (35).

Figura 5: Tip Card Reciproc® Blue (36)



Técnicas de uso recomendadas por el fabricante:

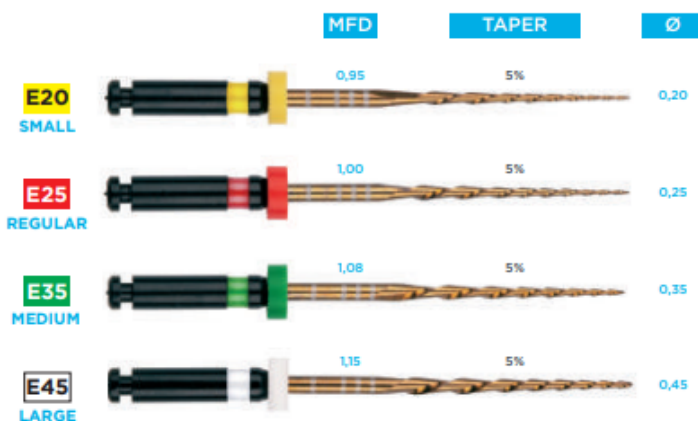
1. Estimar la LT con radiografía retroalveolar preoperatoria.
2. Aplicar irrigante en la cavidad de acceso.
3. Introducir lima RB en la cavidad de acceso y activar el motor al ingresar al conducto.

4. Mover el instrumento con movimientos afuera-adentro, cuya amplitud no debe exceder los 3mm. Aplicar presión ligera. Un movimiento afuera-adentro es 1 “peck”; retirar el instrumento después de 3 “pecks”.
5. Limpiar el instrumento.
6. Irrigar el conducto.
7. Asegurar la permeabilidad del canal hasta LT+1 con un instrumento ISO 10.(37)

Sistema Excalibur® (Zarc):

Las limas Excalibur® (EXC) son un sistema de lima única, de uso único, recíprocante fabricado con una aleación llamada New Gold, posee una sección transversal en S itálica y Taper al 5%, como se observa en la **Figura 6**. Ofrece una mayor flexibilidad, resistencia y durabilidad, permitiendo una eliminación mínima de dentina y preservando la anatomía dental original durante los tratamientos endodónticos.(38)

Figura 6: Tip Card Zarc Excalibur® (39)



Técnicas de uso recomendadas por el fabricante:

- 1) Crear un acceso en línea recta al orificio de entrada del conducto.
- 2) Usar una lima manual de tamaño 010 para verificar la permeabilización hasta la longitud. En conductos más restrictivos, utilice una lima manual de tamaño 010 en cualquier zona de un conducto para crear una vía de deslizamiento.
- 3) Ampliar esta vía de deslizamiento hasta un mínimo de 0,15 mm utilizando una lima manual o mecánica, como la lima Z-Glider®.
- 4) Iniciar siempre el procedimiento de conformación con la lima EXC E25 Regular (025/.05 roja) en presencia de hipoclorito de sodio.
- 5) Ejercer una suave presión hacia dentro y deje que la lima EXC E25 Regular progrese pasivamente por cualquier zona del conducto que tenga una vía de deslizamiento confirmada. Después de dar forma a 2-3 mm de cualquier conducto, retire y limpie la lima EXC E25 Regular. A continuación, irrigue, recapítule con una lima manual de tamaño 010 y vuelva a irrigar.
- 6) Continuar con la lima EXC E25 Regular, en 2-3 repeticiones, para pre ampliar los dos tercios coronales del conducto.
- 7) En los conductos más restrictivos, utilizar una lima manual del tamaño 010 hasta llegar al final del conducto. Trabajar suavemente con esta lima hasta que esté completamente suelta en su longitud.
- 8) Establecer la LT, confirmar la permeabilidad y verificar la trayectoria de deslizamiento.
- 9) Ampliar esta vía de deslizamiento hasta al menos 0,15 mm utilizando una lima manual o mecánica.
- 10) Llevar la lima EXC E25 Regular hasta la LT en una o varias repeticiones. Una vez alcanzada la longitud, retirar la lima para evitar que el foramen se agrande en exceso.

Inspeccionar las aristas apicales de la lima; si están llenas de residuos, entonces la conformación está terminada.

11) Si la lima EXC E25 Regular no avanza, utilizar una lima manual de tamaño 010 o una lima mecánica como la Z-Glider® en una o más repeticiones hasta alcanzar la longitud de trabajo y, a continuación, utilizar la lima EXC E25 Regular hasta alcanzar la LT para optimizar la forma.

12) Una vez confirmada la forma, proceder con los protocolos de desinfección 3D (38).

Las características de los sistemas utilizados en este estudio de resumen en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Resumen de características de las limas, según información de los fabricantes.

	WaveOne® Gold Primary	Reciproc® Blue R25	Excalibur® E25
Sección transversal	Paralelogramo modificado (descentrado)	Forma de S	S itálica
Tratamiento térmico	Gold	Blue	New Gold
Conicidad	7% Regresiva	8% Variables	5% Regresiva
Velocidad (RPM)	350	300	350
Torque	4-5 N/cm	2.5 N/cm	2-3 N/cm
MDF	1.2 mm	1.05 mm	1 mm

El Problema de la Fractura del Instrumento:

A pesar de que los instrumentos rotatorios de níquel-titanio (NiTi) han mejorado la eficacia del tratamiento de conductos gracias a su flexibilidad y capacidad de corte, la fractura o separación del instrumento sigue siendo una de las principales complicaciones y preocupaciones para los clínicos (40,41). Este evento es particularmente problemático porque las fracturas pueden ocurrir de manera repentina e inesperada, sin previo aviso (40,42,43).

Mecanismos de Falla La falla de los instrumentos ocurre principalmente por dos mecanismos:

1. **Fatiga Cíclica:** Sucede cuando el instrumento gira libremente dentro de un conducto curvo, sometiéndose a ciclos repetitivos de tensión y compresión en el punto de máxima curvatura hasta que el metal falla (44–46). Se considera una de las causas principales de separación de instrumentos (47–51).
2. **Falla Torsional:** Ocurre cuando la punta o una parte del instrumento se bloquea o traba en el conducto mientras el vástago continúa girando, excediendo el límite elástico del metal (40,47,52–54).

Proceso de Esterilización:

Se define como el proceso de eliminación o destrucción completa de todas las formas de vida microbiana, incluidas las formas vegetativas y las esporuladas. Técnicamente, se logra una reducción mayor o igual a 10^6 unidades formadoras de colonias (UFC) de las esporas más resistentes en la mitad del tiempo de un ciclo o sesión regular (55).

- **Esterilización química:** Se utilizan productos químicos durante un período más prolongado (3 a 12 h) para destruir todas las formas de microorganismos.

Por ejemplo, ácido peracético (0,2 %), glutaraldehído ($\geq 2,4$ %) y peróxido de hidrógeno (7,5 %).
- **Esterilización física:** procedimientos físicos de esterilización en autoclave, esterilización química y esterilización con calor seco (55).

Al comparar diversos métodos de esterilización se destaca que la esterilización con vapor (autoclave) sigue siendo más eficaz que otros métodos, seguida de cerca por la esterilización con calor seco. La razón principal de este hecho es que el calor húmedo tendría un mejor potencial de penetración en comparación con el calor seco (56).

En términos de esterilización, el autoclave proporciona una esterilización completa y es la mejor opción al compararlo con otras técnicas.(57)

Uso único y múltiple de instrumentos:

El contraste entre las directrices del fabricante y los hallazgos de diversas investigaciones es un tema de constante discusión en nuestra área. Si bien es cierto, por lo general es promovido el uso único de los instrumentos, en la realidad clínica son pocos los instrumentos que son utilizados por única vez, debido a su alto costo (58).

En un artículo de Selvaraj (2023), donde se compararon limas TruNatomy® y HeroShaper®, se obtuvo como resultado que ambos sistemas eran seguros en múltiples usos; no viéndose afectada su eficacia y eficiencia, pero que sí se pueden observar distorsiones en los instrumentos con un uso excesivo (siete veces) (59).

Ozden y col. (2024), experimentaron reutilizar limas Remover® y detectaron que los hallazgos más comunes tras varias sesiones de esterilización fueron la deformación de la punta en 91,7% y las irregularidades en su superficie en el 70,8% de los casos, sugiriendo que las limas de NiTi aumentan significativamente sus defectos de la superficie conforme aumenta su reutilización, elevando el riesgo de fracturas por fatiga. Por lo tanto, sus autores recomiendan limitar la reutilización de las limas Remover® a un máximo de tres veces. (60).

Relevancia Clínica del estudio:

- Pronóstico del Tratamiento: La fractura del instrumento puede comprometer el resultado del tratamiento de endodoncia y afectar negativamente el pronóstico del diente (41,43,50).
- Influencia de la Anatomía: El ángulo y el radio de la curvatura del conducto son factores clave; a mayor curvatura, el instrumento experimenta mayores fuerzas de compresión y tensión, fatigándose antes (43,50).
- Innovación en Seguridad: Para mitigar este riesgo, se han desarrollado nuevos diseños, aleaciones y cinemáticas (44,50). El movimiento recíprocante se introdujo para extender la vida útil de los instrumentos y reducir el estrés cíclico y torsional en comparación con la rotación continua (40,45,61). Asimismo, los tratamientos térmicos buscan optimizar la microestructura del NiTi - fases de

austenita y martensita - para aumentar la flexibilidad y la resistencia a la fatiga (53,54).

- Efecto de la Temperatura Corporal: Existe una discrepancia clínica importante, ya que la mayoría de los estudios *in-vitro* se realizan a temperatura ambiente, mientras que el uso clínico ocurre a temperatura corporal (aproximadamente 35°C dentro del conducto) (41,42). El aumento de temperatura puede transformar la fase cristalina del instrumento, de martensita a austenita, lo que afecta drásticamente su flexibilidad y resistencia a la fractura durante el tratamiento (41,42,51).

Aunque los clínicos usan ampliamente los sistemas de limas rotatorios reciprocantes, su rendimiento mecánico respecto a la fractura por fatiga cíclica tras uno o varias sesiones de esterilización no ha sido suficientemente evaluado para los sistemas de limas más populares como WaveOne® Gold, Reciproc® Blue y para el sistema nuevo Excalibur®.

Objetivos

Objetivos Generales:

Comparar la resistencia a la fractura cíclica *in-vitro*, valorada a través de número de ciclos hasta la fractura (NCF), de tres sistemas reciprocantes - WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc) - nuevos y posterior a distintas sesiones de esterilización.

Objetivos Específicos:

1. Determinar el número de ciclos que transcurren desde que se accionan las limas hasta la fractura por fatiga cíclica al interior de la matriz en limas nuevas (con la esterilización de fábrica).
2. Determinar el número de ciclos que transcurren desde que se accionan las limas hasta la fractura por fatiga cíclica al interior de la matriz tras una sesión de esterilización.
3. Determinar el número de ciclos que transcurren desde que se accionan las limas hasta la fractura por fatiga cíclica al interior de la matriz tras tres sesiones de esterilización.
4. Comparar los datos obtenidos como resultado de la experimentación entre los diferentes sistemas de limas estudiados.

Preguntas de investigación:

1. ¿Existe diferencia en número de ciclos necesarios para producir fractura por fatiga cíclica del instrumento entre los sistemas WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc)?
2. Y, en caso de existir esta diferencia, ¿Se ve afectada la resistencia a la fractura cíclica por las sesiones de esterilización?

Hipótesis nula (H0): No hay diferencias significativas en el número de ciclos necesarios para producir una fractura por fatiga cíclica entre los sistemas WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc), tanto antes como después de las sesiones de esterilización.

Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en el número de ciclos necesarios para producir la fractura por fatiga cíclica entre los sistemas WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc), tanto antes como después de las sesiones de esterilización.

Materiales y métodos

Diseño de estudio: experimental *in-vitro*.

Material utilizado: Limas endodónticas de tres marcas: WaveOne® Gold Primary (Dentsply), Reciproc® Blue R25 (VDW), y Excalibur® Regular E25 (Zarc).

Cálculo muestral: El tamaño muestral se calculó mediante el software EPIDAT 4.2 estableciendo un nivel de confianza del 95% y una potencia del 80%, basado en estudio previo, similar al actual (44). El análisis determinó un requerimiento mínimo de 21 limas por grupo, conformando una muestra total de 63 instrumentos.

Muestra: 63 limas en total, 21 limas por sistema.

Criterios (inclusión y exclusión):

- Inclusión: Limas nuevas, de las marcas WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc), selladas en su envase original y en buen estado de conservación.
- Exclusión: limas fuera de su empaque original, en mal estado de conservación inicial, que se fracturen en el proceso de esterilización, o deformadas al interior del modelo de prueba antes de activar el motor.

Variables:

- Variable independiente:

Marca del instrumento:

Grupo 1: WaveOne® Gold (WOG) (Dentsply), Grupo 2: Reciproc® Blue (RB) (VDW) y Grupo 3: Excalibur® (EXC) (Zarc). Corresponden a variables cualitativas nominales.

Número de sesiones de esterilización:

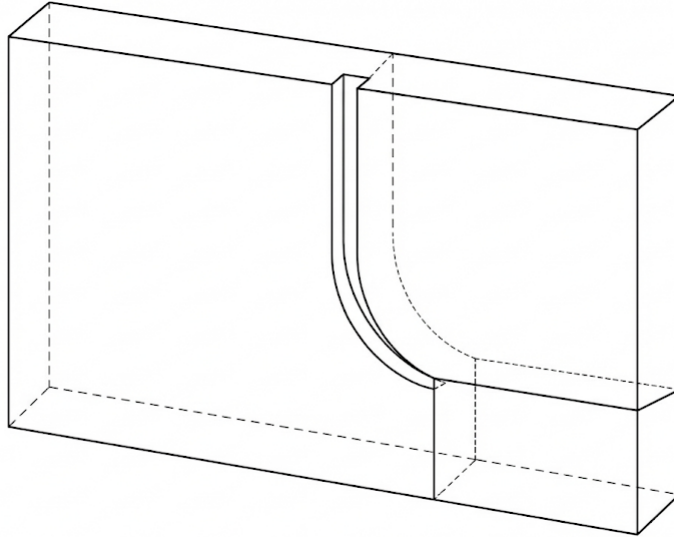
S0 (de fábrica), S1 (una sesión de esterilización) y S3 (tres sesiones de esterilización). Corresponden a variables cuantitativas discretas.

- Variable dependiente: Número de ciclos que tardan las limas en fracturarse (expresado en NCF), Variable cuantitativa continua. Ver **Tabla 3**.

Procedimiento Experimental:

Instrumento de medición: Se diseñó y se fabricó un canal que simula una curvatura del sistema de conductos radiculares, en base a una matriz metálica de Acero ('A2 Tool Steel') en el Laboratorio NIAR de Wichita State University (Kansas, USA). Una de las paredes de la matriz se dejó abierta, para permitir observar la lima mientras se instrumentaba. El diseño de la matriz metálica se detalla en la **Figura 7**. El largo total del canal fue de 20 mm, el ancho canal fue de 1,5 mm, su profundidad de 2,5 mm, el ángulo de la curvatura fue de 60° y el radio de curvatura de 5 mm, la distancia a la punta de 5 mm.

Figura 7: Diseño de la matriz metálica.



- El motor endodóntico inalámbrico utilizado fue la marca Rijnders® Endo Motor R-One (Foshan, China).
- El movimiento recíprocante utilizado fue de 150° anti-horario (CCW) y 30° horario (CW), correspondiente al modo WaveOne® Gold del motor mencionado.
- Se fijó el motor endodóntico y la matriz en un soporte universal especialmente adaptado para la instrumentación, para eliminar la intervención del operador.
- El estudio *in-vitro* se realizó a temperatura ambiente (20°C).
- Se formaron tres grupos de sistemas: Grupo 1: limas WOG, Grupo 2: limas RB y Grupo 3: limas EXC. Cada Grupo se dividió en tres subgrupos de siete limas cada uno. El primer subgrupo consistió en limas nuevas, S0 (con esterilización de fábrica); el segundo fue sometido a una sesión (S1) y el tercero a tres sesiones de esterilización (S3).
- Para determinar las Revoluciones por Segundo del motor (RPS), se insertó una lima endodóntica angulada a 90°. Se realizó un registro del funcionamiento del

dispositivo durante 60 segundos utilizando un teléfono móvil. Posteriormente, mediante el análisis del video en cámara lenta, se cuantificaron las revoluciones, dividiendo el total por 60 para obtener el valor por segundo. Este procedimiento se repitió 10 veces, obteniendo una media de 2,8 RPS.

- Se multiplicó el valor obtenido en RPS por el tiempo transcurrido hasta la fractura, medido en segundos, en cada lima y se obtuvo el valor del Número de Ciclos hasta la Fractura (NCF).
- Se introdujo la lima 19 mm al interior del canal metálico. Se procedió a instrumentar cada lima, cronometrando el tiempo en segundos y registrando cada prueba mediante video con un teléfono móvil.

En la **Figura 8 y 9** se muestran las vistas superior y lateral del montaje experimental.

Figura 8: Vista superior del montaje



Figura 9: vista lateral del montaje



- Plan de recolección de datos: Para registrar el tiempo en segundos se utilizó un temporizador y un teléfono móvil para corroborar exactamente el tiempo hasta el punto de la fractura por fatiga cíclica. El tiempo quedó registrado en una tabla Excel®.
- El método de esterilización que se usó en nuestro estudio fue la esterilización mediante autoclave, se utilizó a una temperatura de 134° por 40 minutos (62).
- Los procesos de esterilización se realizaron en el centro de esterilización del Edificio Clínico R3 de la Universidad de Valparaíso.
- Entre las sesiones de esterilización, las limas no fueron sometidas a uso dentro del canal simulado.

Pruebas estadísticas: El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATA SE versión 18.0, con nivel de significancia estadística $p < 0,05$. Para evaluar las diferencias en la resistencia a la fractura por fatiga cíclica entre las marcas de limas WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) y Excalibur® (Zarc), se siguió una secuencia de cuatro pasos:

1. **Evaluación de normalidad:** En primer lugar, se determinó si los datos de cada subgrupo presentaban una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk.
2. **Estadística descriptiva:** En función de la normalidad, los datos se reportaron utilizando media y desviación estándar (para distribución normal) o mediana y rango intercuartílico (para distribución no normal).
3. **Comparación de grupos:** Para el análisis inferencial se seleccionaron las pruebas según la distribución de los datos; se aplicaron pruebas paramétricas (ANOVA) en casos de distribución normal y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, en caso contrario.
4. **Análisis Post-hoc:** Finalmente, cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicaron pruebas *post-hoc* - prueba de Levene para evaluar la homogeneidad y test de Tukey, Tamhane T2 para datos de distribución normal y prueba de Dunn para datos de distribución no normal - para establecer las comparaciones específicas entre los pares de grupos.

Consideraciones éticas: Para este estudio experimental *in-vitro* hay que considerar un protocolo de bioseguridad de la eliminación de material cortopunzante, que fue la eliminación de las limas fracturadas en los contenedores amarillos para cortopunzantes de la Universidad de Valparaíso.

Tabla 3: Variables del estudio

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Clasificación	Nivel de Medición	Valores
Número de Ciclos hasta la Fractura (NCF)	El número de ciclos que tarda una lima endodóntica en fracturarse bajo condiciones de fatiga cíclica.	Medido en ciclos desde el inicio de la prueba de fatiga cíclica hasta la fractura de la lima.	Variable cuantitativa	Continua	Valor continuo en NCF.
Sistema de limas	El tipo de sistema de limas endodónticas utilizadas en el estudio.	Clasificación de las limas en tres categorías: WaveOne® Gold (Dentsply), Reciproc® Blue (VDW) Excalibur® (Zarc)	Variable cualitativa	Nominal	WaveOne® Gold, Reciproc® Blue, Excalibur®
Sesiones de esterilización	La cantidad de veces que las limas endodónticas han sido sometidas a procesos de esterilización antes de la prueba de fatiga.	Número de sesiones de esterilización aplicados a cada lima antes de la prueba: 0 (esterilización de fábrica), 1, 3.	Variable cuantitativa	Discreta	0 ciclos, 1 ciclo, 3 ciclos.

Resultados

Durante el experimento no se registraron pérdidas de limas por deformación al interior de la matriz metálica ni por separación en el proceso de esterilización.

Al evaluar la distribución de los datos obtenidos, se observa que todos los subgrupos tienen distribución normal, excepto en el subgrupo S0 del Grupo 1 (WOG) cuya distribución no fue normal. Los datos crudos de todos los subgrupos de las limas estudiadas y la descripción de los estudios de normalidad están disponibles en la sección **anexos**.

La estadística descriptiva del número de ciclos a la fractura (NCF) de los nueve subgrupos estudiados se detalla en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Número de Ciclos hasta la fractura (NCF) en sistemas reciprocantes nuevos y sometidos a sesiones de esterilización

	S0 (NCF)	S1 (NCF)	S3 (NCF)
Grupo 1	770 (84) *	1133,3 ± 176,3	1108,3 ± 142,7
Grupo 2	2524,4 ± 283,8	2390,7 ± 647,1	3569,1 ± 948,2
Grupo 3	4761,6 ± 1260,2	4794,0 ± 878,9	6222 ± 2308,6

Grupo 1= WOG (WaveOne Gold); Grupo 2 = RB (Reciproc Blue); Grupo 3= EXC (Excalibur). S0 = Esterilización de fábrica. S1= una sesión de esterilización, S3 = 3 sesiones de esterilización. Distribución normal expresada en media ± desviación estándar. *Distribución no normal, expresada en mediana (Rango Intercuartílico)

Para la comparación entre grupos, se analizan de manera horizontal, comparando el comportamiento a la fractura por fatiga cíclica de las distintas marcas en la misma sesión de esterilización, repitiendo el proceso en las distintas sesiones de esterilización, y de manera vertical comparando la misma marca y su variación con las sesiones de esterilización.

La comparación se realiza con pruebas paramétricas para el análisis vertical de los Grupos 2 y 3 y para la comparación horizontal de los subgrupos S1 y S3 de los tres sistemas de limas estudiados, utilizando la prueba de ANOVA. Para la comparación de los sistemas de limas nuevos (S0), dado que la distribución del subgrupo S0 del Grupo 1 no es normal, se realiza prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) para la comparación horizontal de las limas nuevas y la comparación vertical del Grupo 1. Los resultados se muestran en las **Tablas 5 y 6** y en la **Figura 10**. La descripción de los estudios post-hoc se detallan en los **anexos**.

Tabla 5. Comparación por Instrumento entre Sesiones de Esterilización

Grupo (instrumento)	Prueba Global (Valor p)	Prueba Post-Hoc	Comparación de Pares (Post-Hoc)	Diferencia / IC (95%)	Valor p (Significancia)
Grupo 1 (WOG)	Kruskal-Wallis (p=0.0021)	Dunn	S0 vs S1 S0 vs S3 S1 vs S3	Z = -3.08 Z=-2.99 Z = 0.08	p=0.0014 (E.S.) p<0.05 (E.S.) p=0.4657 (N.E.S.)
Grupo 2 (RB)	ANOVA (p=0.0087)	Tamhane	S1 vs S0 S3 vs S0 S3 vs S1	IC: [-332.3 a 236.8] IC: [-41.9 a 788.1] IC: [-17.5 a 859.2]	N.E.S.(Cruza 0) N.E.S.(Cruza 0) N.E.S.(Cruza 0)
Grupo 3 (EXC)	ANOVA (p=0.1785)	Tukey	S1 vs S0 S3 vs S0 S3 vs S1	IC: [-768.4 a 791.5] IC: [-258.4 a 1301.5] IC: [-270.0 a 1290.0]	N.E.S.(Cruza 0) N.E.S. (Cruza 0) N.E.S.(Cruza 0)

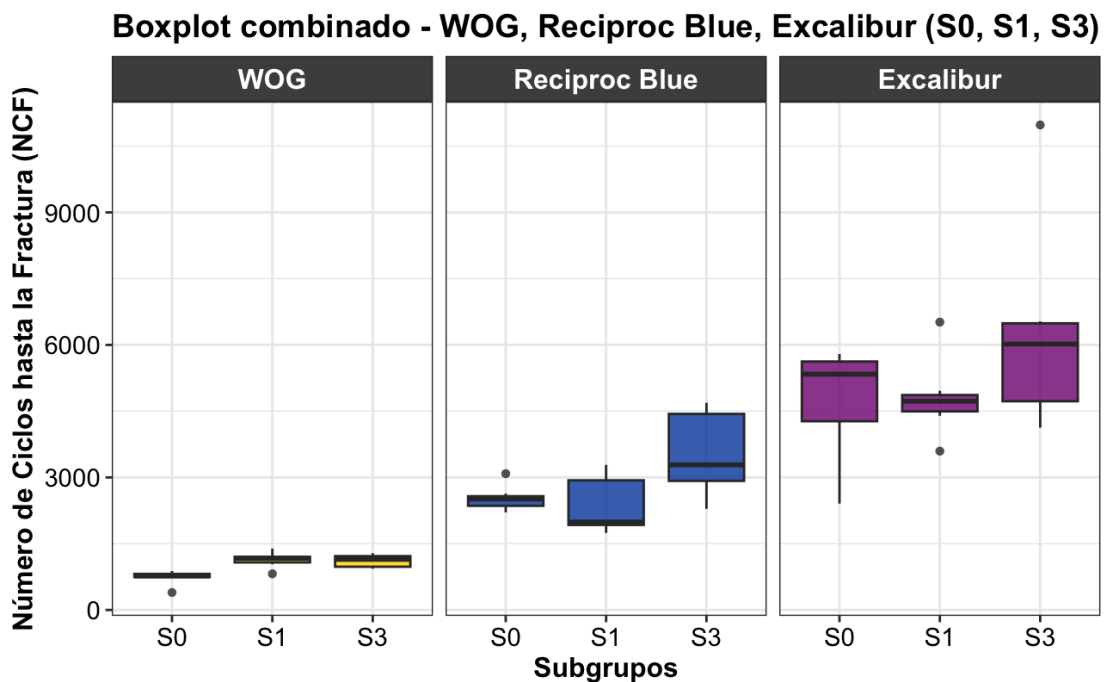
WOG = WaveOne® Gold, RB = Reciproc® Blue, EXC= Excalibur®. E.S= Estadísticamente significativo; N.E.S. = No estadísticamente significativo

Tabla 6. Comparación por Sesiones de Esterilización entre Instrumentos

Sesión Esterilización	Prueba Global (Valor p)	Prueba Post-Hoc	Comparación de Pares (Post-Hoc)	Diferencia Media / IC (95%)	Interpretación / Valor p
S0 (de fábrica)	Kruskal-Wallis (p=0.0003)	Dunn	RB vs WOG EXC vs WOG EXC vs RB	Z = -2.28 Z = -4.04 Z = -1.76	p=0.0112 (E.S.) p<0.001 (E.S.) p=0.0387 (E.S.)
S1 (1 Sesión)	ANOVA (p≈0)	Tukey	RB vs WOG EXC vs WOG EXC vs RB	IC: [138.21 a 760.07] IC: [996.50 a 1618.36] IC: [547.35 a 1169.21]	E.S. (No cruza 0) E.S. (No cruza 0) E.S. (No cruza 0)
S3 (3 Sesiones)	ANOVA (p≈0)	Tamhane	RB vs WOG EXC vs WOG EXC vs RB	IC: [461.53 a 1296.17] IC: [806.84 a 2845.72] IC: [-65.78 a 1960.64]	E.S. (No cruza 0) E.S. (No cruza 0) N.E.S.(Cruza 0)

WOG = WaveOne® Gold, RB = Recipro® Blue, EXC= Excalibur®. E.S= Estadísticamente significativo; N.E.S. = No estadísticamente significativo

Figura 10.



En el análisis vertical, el subgrupo S0 es significativamente diferente al subgrupo S1 y al subgrupo S3. Entre S1 y S3 no hay diferencias estadísticamente significativas.

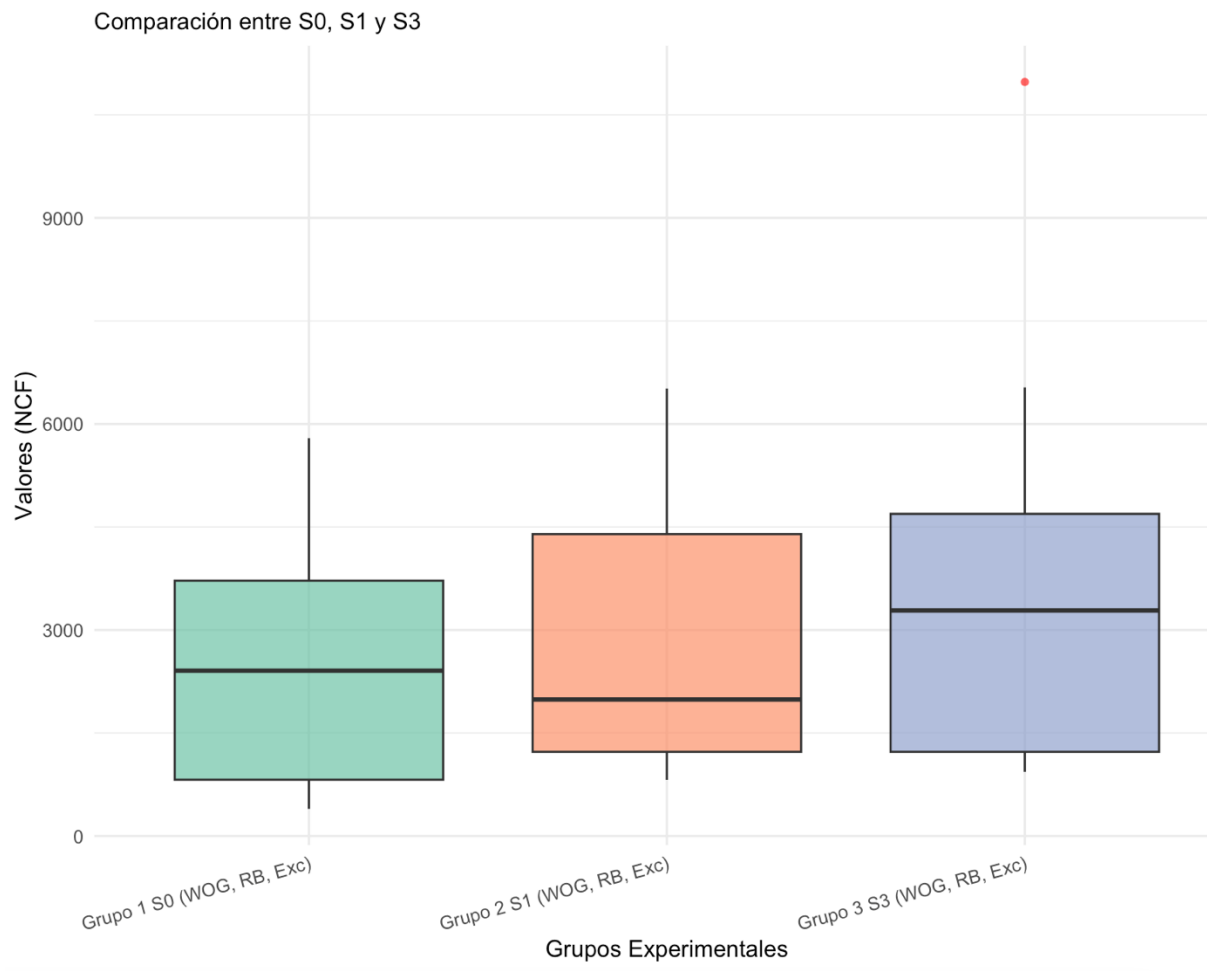
La diferencia del Grupo 1 (WOG) con el Grupo 2 (RB) y Grupo 3 (EXC) es estadísticamente significativa. La diferencia entre el Grupo 2 y 3 no es estadísticamente significativa.

Dentro del Grupo 2 (RB) no existen diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tres subgrupos comparados.

Dentro del Grupo 3 (EXC), no existen diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tres subgrupos comparados.

Los Grupos 2 (RB) y 3 (EXC) tienen NCF significativamente superiores al Grupo 1. Comparando el Grupo 2 vs el 3 no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

Figura 11.



En el análisis global de la esterilización, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el Grupo 1 S0 (Fábrica), el Grupo 2 S1 (1 sesión) y el Grupo 3 S3 (3 sesiones).

La diferencia del Grupo 1 S0 comparada con el Grupo 2 S1 y con el Grupo 3 S3 no es estadísticamente significativa. Del mismo modo, al comparar el Grupo 2 S1 con el Grupo 3 S3 no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

Discusión

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la fatiga cíclica entre los sistemas evaluados. En términos generales, los sistemas Excalibur® y Reciproc® Blue mostraron un mejor rendimiento mecánico en comparación con WaveOne® Gold.

Aunque Excalibur® presentó valores promedio de NCF más elevados, la alta dispersión de los datos impidió establecer diferencias estadísticamente significativas respecto de Reciproc® Blue.

Los resultados evidenciaron un patrón consistente de comportamiento mecánico, independiente de las sesiones de esterilización, en el cual Excalibur® y Reciproc® Blue superaron a WaveOne® Gold.

Los análisis estadísticos indican que los tres sistemas son distintos entre sí en términos de Número de Ciclos hasta la Fractura (NCF). A pesar de tener un promedio más alto de NCF, no se puede afirmar que el Grupo 3 (Excalibur®) sea superior al Grupo 2 (Reciproc® Blue), debido probablemente a la elevada dispersión de los datos de este grupo.

Las limas Excalibur® (Zarc) mostraron los mayores NCF en todos los grupos de esterilización, lo que sugiere una resistencia superior a la fatiga cíclica en comparación con Reciproc® Blue y WaveOne® Gold. Estos resultados se condicen con lo que relata un estudio in-vitro de Aranguren et al. (2024), con metodología similar a este estudio, con muestra de 20 limas por grupo, superior a las siete de nuestro estudio. En este estudio se determinó que las limas Excalibur® presentan la mayor resistencia a la fatiga cíclica, superando a Reciproc® Blue y posicionándose significativamente por encima de WaveOne® Gold (15).

En nuestro estudio, Reciproc® Blue (VDW) se situó en un nivel intermedio de resistencia a la fatiga cíclica, siendo significativamente superior a WaveOne® Gold, pero sin diferencias estadísticamente significativas con Excalibur® al comparar los Grupos S1 y S3. Reciproc® Blue se fabrica con un tratamiento térmico que le confiere su color azul, mejor flexibilidad y alta resistencia a la fatiga cíclica (25, 26). El alto promedio obtenido en el subgrupo de 3 ciclos sugiere una posible resistencia que lo posiciona cerca de Excalibur®.

WaveOne® Gold mostró de manera consistente los valores más bajos de NCF en las tres condiciones de esterilización. El Grupo S0 (WOG) fue claramente diferente y el menos resistente de los tres grupos de limas nuevas, coincidiendo con múltiples estudios que reportan que Reciproc Blue® tiene una mayor resistencia a la fatiga cíclica que WaveOne® Gold (WOG) (40,44,45,51,61).

Tanto WaveOne® Gold como Reciproc® Blue se fabrican con tecnología de alambre de control de memoria ('CM-Wire') y tratamientos térmicos (Gold y Blue, respectivamente) (22, 25-28,41,42). Sin embargo, a pesar de compartir la tecnología 'CM-Wire', el tratamiento térmico específico y el diseño de la sección transversal (paralelogramo con borde de corte activo de 85 grados (25,26)), parecerían determinar una menor resistencia a la fatiga cíclica en WaveOne® Gold en este modelo experimental.

En relación a las sesiones de esterilización, en el Grupo 1 (WaveOne® Gold), se encontró que en el subgrupo con esterilización de fábrica (S0) la resistencia a la fatiga cíclica fue significativamente inferior (menor NCF) que los subgrupos S1 y S3. No evidenciándose diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos S1 y S3.

El aumento de la resistencia a la fatiga cíclica observado en el sistema WaveOne® Gold tras la esterilización resulta un hallazgo inusual. La literatura tiende a sugerir que la esterilización repetida afecta negativamente las propiedades de las limas de NiTi debido a la corrosión o cambios estructurales (47). Sin embargo, en este caso el subgrupo con 1 y 3 sesiones de esterilización mostró una resistencia mayor que el subgrupo de fábrica (S0). Este efecto aparentemente beneficioso requeriría una investigación más profunda en este tipo de instrumento. Dicho comportamiento podría relacionarse con cambios microestructurales inducidos por el calor en las aleaciones tratadas térmicamente, tales como la liberación de tensiones residuales o modificaciones en la fase cristalina. Esto concuerda con estudios previos que han reportado mejoras similares de propiedades tras el paso por autoclave en otros sistemas con control de memoria, tal como se observó con el sistema HyFlex CM (46). Entre Reciproc® Blue y Excalibur® no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos de esterilización, lo que indica que uno o tres ciclos de esterilización en autoclave no afectan significativamente la resistencia a la fatiga cíclica.

Este hallazgo es clínicamente relevante, y es coincidente con estudios que sugieren la confiabilidad de las limas en hasta dos o tres usos y re-esterilizaciones (41, 51).

La evidencia experimental in-vitro, sugiere que el sistema Reciproc® Blue exhibe una alta estabilidad en su resistencia a la fatiga cíclica tras múltiples usos simulados y esterilizaciones, superando a la WaveOne® Gold en términos de durabilidad bajo estas condiciones. Mientras que, en el uso clínico, la re-esterilización reduce la resistencia de algunos sistemas como ProDesign® R y WaveOne® Gold. En suma, la esterilización por sí sola no parecería ser el factor principal de deterioro de la resistencia a la fractura en los sistemas de aleación 'Blue' y 'Gold' estudiados (63,64).

En la literatura científica destacan dos estudios *in-vitro*, de diseño similar al de la tesis. En el estudio de *Champa (2017)* observó un efecto variable en la aleación M-Wire ante la re-esterilización múltiple (5 ciclos), la cual aumentó significativamente la resistencia a la fatiga cíclica de las limas RB tanto en curvaturas de 30° como de 60°. Para las limas WOG, el efecto fue mixto: la resistencia aumentó en curvaturas moderadas (30°), pero disminuyó significativamente tras múltiples ciclos de autoclave en curvaturas severas (60°). Por otro lado, *Peraca (2021)* observó que los ciclos de esterilización no influyeron estadísticamente en el número estimado de usos (resistencia a la fractura) de las limas RB ni de las WOG. Aunque ese estudio notó que RB fue generalmente más resistente que WOG, el factor de esterilización por sí solo no alteró la vida útil de estos instrumentos tratados térmicamente (64,65).

En una investigación *ex-vivo* realizada por dos Reis el año 2023, al analizar instrumentos tipo réplica de Reciproc® Blue mediante Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), observaron distorsiones en los instrumentos después su tercer uso; pero en todos los instrumentos probados se halló que poseían una resistencia similar a la fatiga cíclica y son confiables para su uso en hasta dos usos sucesivos, con re-esterilización (66).

Un metanálisis realizado por Dioguardi (2021) concluye que se produciría una reducción en la capacidad de corte después de la esterilización en autoclave, volviéndose estadísticamente significativa después de cinco sesiones de esterilización. Observándose un efecto corrosivo adicional después del uso de desinfectantes a base de hipoclorito de sodio por 12 a 48 horas y después de la aplicación de esterilización por calor (67).

Entre las fortalezas de este estudio se encuentran el tipo de diseño experimental *in-vitro*, que permite controlar las variables confundentes, la alta calidad de la matriz metálica utilizada y la valoración del factor de re-esterilización en forma aislada al de uso. Las observaciones de este estudio pueden servir de base para futuros estudios clínicos *in-vivo*.

Entre las limitaciones del estudio destacan que las re-esterilizaciones realizadas no fueron precedidas de uso de la lima en el canal simulado. En la práctica clínica, las condiciones del estudio son diferentes tanto en factores como la temperatura de trabajo, el tejido circundante, la simulación de un conducto que podría no representar la realidad y la aplicación de la lima en un material diferente a la dentina humana.

El reducido tamaño muestral de cada subgrupo pudo haber influido en los resultados de las limas nuevas (S0), contribuyendo a la distribución no normal observada en el grupo 1 y a la falta de significancia estadística en la diferencia entre los grupos 1 y 2.

Conclusiones

Basado en los resultados de este estudio experimental *in-vitro* sobre la comparación de la resistencia a la fractura por fatiga cíclica de los sistemas WaveOne® Gold, Reciproc® Blue y Excalibur® nuevos y tras sesiones de esterilización, podemos concluir lo siguiente:

- Existe una diferencia significativa en el número de ciclos necesarios para producir la fractura por fatiga cíclica entre los tres sistemas de limas reciprocantes. La tendencia de resistencia observada fue mayor en Excalibur® y Reciproc® Blue que en WaveOne® Gold.
- El grupo de WaveOne® Gold sin sesiones de esterilización (S0, de fábrica) mostró una resistencia significativamente menor a la fatiga cíclica en comparación con los subgrupos de WOG sometidos a una (S1) y tres (S3) sesiones de esterilización.
- Los sistemas Reciproc® Blue y Excalibur® mostraron una resistencia a la fatiga cíclica estable, sin diferencias estadísticamente significativas en el número de ciclos a la fractura (NCF) entre los subgrupos sometidos a 0 (de fábrica), 1 y 3 sesiones de esterilización en autoclave.

En relación con la pregunta de investigación planteada en este estudio; sí existe una diferencia significativa en el número de ciclos necesarios para producir una fractura (NCF) por fatiga cíclica entre los sistemas estudiados. Aunque el sistema WaveOne® Gold experimenta un aumento en su NCF tras el primer ciclo de esterilización, sus valores de resistencia siguen siendo significativamente inferiores en comparación con Reciproc® Blue y Excalibur®.

Además, Reciproc® Blue y Excalibur® se mantienen estables cuando son sometidos a re-esterilización.

En este estudio se determinó que las limas Excalibur® presentan la mayor resistencia a la fatiga cíclica, superando a Reciproc® Blue y posicionándose ambos sistemas significativamente por encima de WaveOne® Gold.

No existe evidencia estadística de que las sesiones de esterilización (1 o 3) modifiquen el rendimiento en comparación con limas nuevas.

Sugerencias

Tras el análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio, recomendamos para futuras investigaciones en esta área lo siguiente:

Sugerimos ampliar el tamaño de la muestra, específicamente incrementando el número de limas endodónticas asignadas a cada subgrupo experimental, particularmente a los subgrupos de limas nuevas (S0). Esta ampliación es crucial para robustecer la potencia estadística de los hallazgos y, consecuentemente, elevar la validez y la representatividad de las conclusiones que se puedan extraer. Un mayor tamaño de la muestra por grupo permitiría minimizar el impacto de variaciones individuales y aumentar la confiabilidad de la comparación entre los diferentes sistemas de instrumentación evaluados.

Sugerimos que este estudio sirva de base para una nueva investigación que considere el uso de las limas previo a la re-esterilización, siguiendo la metodología de los estudios *in-vitro* existentes, instrumentando la matriz por dos minutos, previo al paso al autoclave (64).

Dada la importancia de la integridad estructural y la longevidad de las limas utilizadas en la práctica clínica, sugerimos la realización de un estudio complementario y de seguimiento centrado en la evaluación detallada del desgaste instrumental. Este

estudio debería emplear metodologías de alta resolución, como el uso de un microscopio electrónico de barrido (MEB).

La aplicación del MEB permitiría visualizar y cuantificar con precisión el factor de desgaste, la aparición de microfisuras, la deformación de las estrías y otros signos de fatiga superficial en cada tipo de lima, tras someterlas a ciclos de uso controlados y estandarizados, como se observó en la mayoría de los estudios *in-vitro* previos sobre los cuales se contrastó esta tesis (40–42,44–46,53,54).

Bibliografía

1. Brand A, Allen L, Altman M, Hlava M, Scott J. Beyond authorship: attribution, contribution, collaboration, and credit. Learn Publ [Internet]. 2015 Apr 1;28(2):151–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1087/20150211>
2. Soares IJ, Goldberg F. Endodoncia. Técnica y fundamentos [Internet]. Ed. Médica Panamericana; 2002. 348 p. Available from: <https://books.google.com/books?id=P6W48Hf6tggC&newbks=1>
3. American Association of Endodontists [Internet]. 2017 [cited 2024 Nov 24]. Guide to Clinical Endodontics. Available from: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/guide-clinical-endodontics>
4. Hargreaves KM. Cohen. Vías de la Pulpa 10 ed. + Student Consult.es © 2011 [Internet]. Elsevier; 2011. Available from: https://books.google.com/books/about/Cohen_V%C3%ADas_de_la_Pulpa_10_ed_+_Student.html?id=6DKUoWfGonQC
5. Gutiérrez JH. ¿Cuál es o son los protocolos de irrigación que Ud utiliza en la terapia endodóntica? [Internet]. [cited 2024 Nov 24]. Available from: <https://www.socendochile.cl/upfiles/revistas/15.pdf>
6. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am [Internet]. 1974 Apr;18(2):269–96. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4522570>
7. Soares CJ, Rodrigues M de P, Faria-E-Silva AL, Santos-Filho PCF, Veríssimo C, Kim HC, et al. How biomechanics can affect the endodontic treated teeth and their restorative procedures? Braz Oral Res [Internet]. 2018 Oct 18;32(suppl 1):e76. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0076>
8. Johnson WT. AAE. [cited 2024 Dec 18]. Cleaning and Shaping. Available from: <https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2017/07/cleaning-and->

9. Cayón R, Basilio Monne M, Sahli J. Canalada, de conductos ra- CIM. Instrumentación manual de conductos radiculares. Revisión de la última década [Internet]. Available from: <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/68572/1/062919.pdf>
10. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* [Internet]. 1985 May;11(5):203–11. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3858415/>
11. LIMPIEZA Y CONFORMACIÓN: Movimientos [Internet]. [cited 2024 Dec 15]. Available from: <https://www.iztacala.unam.mx/rrivas/NOTAS/Notas11Limpieza/movfuersecuencia.html>
12. Dablanca-Blanco AB, Castelo-Baz P, Miguéns-Vila R, Álvarez-Novoa P, Martín-Biedma B. Endodontic rotary files, what should an endodontist know? *Medicina (Kaunas)* [Internet]. 2022 May 27;58(6):719. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/medicina58060719>
13. Cayón R. Preparación biomecánica en endodoncia con nuevas técnicas de instrumentación mecánico rotacionales [Internet]. 1995. Available from: <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/172699/1/172699.pdf>
14. Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J* [Internet]. 2017 Feb;50(2):143–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12613>
15. Aranguren J, Oliveros-Porras F, Ramírez-Muñoz A, Pérez I, Salamanca-Ramos M, Aazzouzi-Raiss K, et al. Comparative analysis of NiTi instruments with different alloy treatments. *Materials (Basel)* [Internet]. 2024 Sep 30;17(19):4817. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ma17194817>
16. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. *Int Endod J* [Internet]. 2018 Oct;51(10):1088–103. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12924>
17. Silva EJNL, Giraldes JFN, de Lima CO, Vieira VTL, Elias CN, Antunes HS. Influence of heat treatment on torsional resistance and surface roughness of nickel-titanium instruments. *Int Endod J* [Internet]. 2019 Nov;52(11):1645–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/iej.13164>
18. Ruiz-Sánchez C, Faus-Llácer V, Faus-Matoses I, Zubizarreta-Macho Á, Sauro S, Faus-Matoses V. The influence of NiTi alloy on the cyclic fatigue resistance of endodontic files. *J Clin Med* [Internet]. 2020 Nov 21;9(11):3755. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm9113755>
19. Vasconcelos RA, Arias A, Peters OA. Lateral and axial cutting efficiency of instruments manufactured with conventional nickel-titanium and novel gold

- metallurgy. *Int Endod J* [Internet]. 2017 Jul 26;51(5):577–83. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28744859/>
20. RAE-ASALE, RAE. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. [cited 2024 Jul 31]. cinemático, cinemática. Available from: <https://dle.rae.es/cinem%C3%A1tico>
 21. Julcapoma D, José. J. Influencia de los movimientos rotatorios y reciprocantes sobre la resistencia de dos instrumentos de níquel titanio. 2018; Available from: <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/1510>
 22. Sanar [Internet]. [cited 2024 Jul 31]. A cinemática recíprocante na endodontia. Available from: <https://www.sanarsaude.com/portal/carreiras/artigos-noticias/colunista-odontologia-a-cinematica-reciprocante-na-endodontia>
 23. Zubizarreta-Macho Á, Albaladejo Martínez A, Falcão Costa C, Quispe-López N, Agustín-Panadero R, Mena-Álvarez J. Influence of the type of reciprocating motion on the cyclic fatigue resistance of reciprocating files in a dynamic model. *BMC Oral Health* [Internet]. 2021 Apr 7;21(1):179. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12903-021-01538-8>
 24. De Pedro-Muñoz A, Rico-Romano C, Sánchez-Llobet P, Montiel-Company JM, Mena-Álvarez J. Cyclic fatigue resistance of rotary versus reciprocating endodontic files: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* [Internet]. 2024 Feb 2;13(3):882. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38337577/>
 25. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* [Internet]. 2008 Apr;41(4):339–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01351.x>
 26. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future: Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endod Topics* [Internet]. 2013 Sep;29(1):3–17. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/etp.12049>
 27. Rosero M, Cristina M. Comparación de las propiedades de torsión y flexión de dos sistemas recíprocantes. 2018; Available from: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/64387599-d376-4e36-81dd-33872ad93885>
 28. Kuzekanani M. Nickel-titanium rotary instruments: Development of the single-file systems. *J Int Soc Prev Community Dent* [Internet]. 2018 Sep;8(5):386–90. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6187886/#:~:text=FIRST%20GENERATION,over%20the%20full%20working%20lengths>
 29. Kim JY, Cheung GSP, Park SH, Ko DC, Kim JW, Kim HC. Effect from cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files on torsional resistance. *J Endod* [Internet]. 2012 Apr;38(4):527–30. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0099239911014518>

30. Ríos-Osorio N, Caviedes-Bucheli J, Murcia-Celedón J, Gutiérrez C, Sierra-Collazo D, Alvarado-Cacedo B, et al. Comparison of dynamic cyclic fatigue resistance of Reciproc® Blue and WaveOne® Gold after sterilization and/or immersion in sodium hypochlorite. *J Clin Exp Dent* [Internet]. 2024 Jan;16(1):e1–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.4317/jced.60870>
31. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod* [Internet]. 2017 Jul;43(7):1192–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.009>
32. Dentsply Sirona [Internet]. [cited 2024 Dec 16]. WaveOne Gold Tip Card. Available from: <https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/web/Endodontics/global-page-templates-assets/download-pdfs/waveonegold/WaveOne>
33. Aranguren J. WaveOne Gold, Surfea El Conducto Con Confianza [Internet]. 2018 [cited 2024 Aug 2]. Available from: https://easydental.cl/wp-content/uploads/2018/01/Articulo_Wave_One_Gold.pdf
34. Dentsply Sirona [Internet]. [cited 2024 Dec 15]. Sistema WaveOne Gold. Available from: https://www.proclinic.es/tienda/media/fichas_tecnicas/limas_waveone_gold_ifu_es.pdf
35. VDW Dental [Internet]. Reciproc Blue. Available from: <https://www.vdw-dental.com/en/products/detail/reciproc-blue/>
36. VDW Dental [Internet]. [cited 2024 Dec 16]. Reciproc Blue Product Card. Available from: <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/Reziproke-Aufbereitung/RECIPROC-family/VDW-Dental-Reciproc-Family-RECIPROCblue-Product-card-EN.pdf>
37. VDW Dental [Internet]. [cited 2024 Dec 15]. Step by Step Card Reciproc Blue. Available from: <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/Reziproke-Aufbereitung/RECIPROC-blue/VDW-Dental-RECIPROCblue-Step-by-Step-Card-EN.pdf>
38. ZARC [Internet]. [cited 2024 Dec 16]. Excalibur DFU ES. Available from: <https://zarc4endo.com/wp-content/uploads/2022/05/DFU-Excalibur-ES-1.pdf>
39. ZARC [Internet]. [cited 2024 Dec 16]. Tip Card Excalibur. Available from: <https://zarc4endo.com/wp-content/uploads/2022/05/Tip-Card-Excalibur.pdf>
40. Al-Obaida MI, Merdad K, Alanazi MS, Altwaijry H, AlFaraj M, Alkhamis AA, et al. Comparison of cyclic fatigue resistance of 5 heat-treated nickel-titanium reciprocating systems in canals with single and double curvatures. *J Endod* [Internet]. 2019 Oct;45(10):1237–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2019.06.011>

41. Gündoğar M, Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* [Internet]. 2019 Oct 7;13(3):166–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.15171/joddd.2019.026>
42. Olcay K, Eyuboglu TF, Erkan E. Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature. *Niger J Clin Pract* [Internet]. 2019 Oct;22(10):1335–40. Available from: http://dx.doi.org/10.4103/njcp.njcp_655_18
43. Elsaka SE, Elnaghy AM. Cyclic fatigue resistance of OneShape and WaveOne instruments using different angles of curvature. *Dent Mater J* [Internet]. 2015 Apr 23;34(3):358–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2014-252>
44. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2018 May;22(4):1865–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-017-2295-8>
45. Thu M, Ebihara A, Maki K, Miki N, Okiji T. Cyclic fatigue resistance of rotary and reciprocating nickel-titanium instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod* [Internet]. 2020 Nov;46(11):1752–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.08.006>
46. Ribeiro Camargo CH, Bittencourt TS, Hasna AA, Palo RM, Talge Carvalho CA, Valera MC. Cyclic fatigue, torsional failure, and flexural resistance of rotary and reciprocating instruments. *J Conserv Dent* [Internet]. 2020 Jul;23(4):364–9. Available from: http://dx.doi.org/10.4103/JCD.JCD_409_20
47. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J* [Internet]. 2013 Apr;214(7):341–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.324>
48. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* [Internet]. 2012 Jul;45(7):614–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02015.x>
49. Sánchez CR. Comparación de la resistencia a la fatiga cíclica estática y dinámica de diferentes sistemas rotatorios [Internet]. Universitat de València; 2020 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=292725>
50. Chi D, Zhang Y, Lin X, Tong Z. Cyclic fatigue resistance for six types of nickel titanium instruments at artificial canals with different angles and radii of curvature. *Dent Mater J* [Internet]. 2021 Sep 30;40(5):1129–35. Available from: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2020-358>
51. Klymus ME, Alcalde MP, Vivan RR, Só MVR, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated

- reciprocating instruments. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2019 Jul;23(7):3047–52. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2718-1>
52. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, Rapisarda E, et al. Influence of cyclic torsional preloading on cyclic fatigue resistance of nickel - titanium instruments. *Int Endod J* [Internet]. 2015 Nov;48(11):1043–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12400>
 53. Hou XM, Yang YJ, Qian J. Phase transformation behaviors and mechanical properties of NiTi endodontic files after gold heat treatment and blue heat treatment. *J Oral Sci* [Internet]. 2020 Dec 23;63(1):8–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.2334/josnurd.19-0331>
 54. Schoppmeier CM, Sun L, Janson M, Wittich FK, Barbe AG. Influence of thermal pretreatments on the cyclic fatigue resistance of novel reciprocating nickel-titanium files: A comparison of low- and high-temperature modified systems. *Eur Endod J* [Internet]. 2025 Jul;10(4):333–42. Available from: <http://dx.doi.org/10.14744/eej.2025.95866>
 55. Mohapatra S. Chapter 59 - Sterilization and Disinfection. In: Prabhakar H, editor. *Essentials of Neuroanesthesia* [Internet]. Academic Press; 2017. p. 929–44. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128052990000592>
 56. Borse VS, Pandit VS, Gaikwad AA, Handa AN, Jadhav AB, Bhamare RK. An Update on Sterilization and Disinfection of Endodontic Instruments. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization* [Internet]. 2022 [cited 2024 Aug 1];14(2):83. Available from: https://journals.lww.com/jicd/fulltext/2022/14020/an_update_on_sterilization_and_disinfection_of.3.aspx
 57. Ameer B, Khatib MS, Peerzade SM, Bambawale A, Damade Y, Mannur NA. Comparing Sterilization of Endodontic Hand Files by Four Different Methods: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* [Internet]. 2022 Mar-Apr;15(2):149–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2346>
 58. Buchanan GD, Warren N. Single-use of endodontic hand files: perceptions and practise. *J Infect Prev* [Internet]. 2019 Jan;20(1):32–6. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1757177418802356>
 59. Selvaraj H, Krithikadatta J, Venkata Teja K. Scanning electron microscopic analysis of deformation of TruNatomy file systems: An ex-vivo study. *Cureus* [Internet]. 2023 Aug;15(8):e44183. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10520576/>
 60. Ozden I, Durmazpınar PM, Sazak Ovecoglu H. Scanning electron microscopic evaluation of surface defects of Remover retreatment file after single and multiple uses. *J Vis Exp* [Internet]. 2024 Oct 11;(212). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39465959/>
 61. Bürklein S, Maßmann P, Schäfer E, Donnermeyer D. Cyclic fatigue of different

- reciprocating endodontic instruments using matching artificial root canals at body temperature in vitro. *Materials (Basel)* [Internet]. 2024 Feb 8;17(4):827. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ma17040827>
62. Dioguardi M, Laneve E, Di Cosola M, Cazzolla AP, Sovereto D, Aiuto R, et al. The effects of sterilization procedures on the cutting efficiency of endodontic instruments: A systematic review and network meta-analysis. *Materials (Basel)* [Internet]. 2021 Mar 22;14(6):1559. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8004799/#B38-materials-14-01559>
 63. Duque JA, Bramante CM, Duarte MAH, Alcalde MP, Silva EJNL, Vivan RR. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium reciprocating instruments after simulated clinical use. *J Endod* [Internet]. 2020 Nov;46(11):1771–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.08.010>
 64. Peraça V de O, Xavier SR, de Almeida Gomes F, Dos Santos LGP, Souza EM, Pappen FG. Effect of number of uses and sterilization on the instrumented area and resistance of reciprocating instruments. *Restor Dent Endod* [Internet]. 2021 May;46(2):e28. Available from: <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e28>
 65. Champa C, Divya V, Sirekha A, Karale R, Shetty A, Sadashiva P. An analysis of cyclic fatigue resistance of reciprocating instruments in different canal curvatures after immersion in sodium hypochlorite and autoclaving: An in vitro study. *J Conserv Dent* [Internet]. 2017 May;20(3):194–8. Available from: <https://doi.org/10.4103/0972-0707.218307>
 66. Dos Reis FAS, Abu Hasna A, Ragozzini G, de Moura FB, Campos TMB, de Martin AS, et al. Assessing the cyclic fatigue resistance and sterilization effects on replica-like endodontic instruments compared to Reciproc Blue. *Sci Rep* [Internet]. 2023 Dec 27;13(1):22956. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-50096-2>
 67. Dioguardi M, Arena C, Sovereto D, Aiuto R, Laino L, Illuzzi G, et al. Influence of sterilization procedures on the physical and mechanical properties of rotating endodontic instruments: a systematic review and network meta-analysis. *Front Biosci* [Internet]. 2021 Dec 30;26(12):1697–713. Available from: <http://dx.doi.org/10.52586/5062>

Anexos

Contribución de los autores según taxonomía de roles de colaboración académica CRediT en Tesis de postgrado: 'Comparación de la resistencia a la fractura por fatiga cíclica de tres instrumentos reciprocantes Excalibur®, WaveOne® Gold y Reciproc® Blue tras sesiones de esterilización: Estudio *in-vitro*'. Valparaíso, Chile, 2025.

Rol	Descripción	Autor
Conceptualización	Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios Dr. Pedro Alarcón Goldenberg
Curación de datos	Actividades de gestión para anotar (producir metadatos), depurar datos y mantener los datos de la investigación (incluido el código de software, cuando sea necesario para interpretar los propios datos) para su uso inicial y su posterior reutilización.	Dr. Ruperto Correa Torres
Análisis formal	Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio.	Dr. Ruperto Correa Torres
Adquisición de fondos	Adquisición del apoyo financiero para el proyecto que conduce a esta publicación.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios
Investigación	Realización de una investigación y proceso de investigación, realizando específicamente los experimentos, o la recolección de datos / evidencia.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios
Metodología	Desarrollo o diseño de la metodología y creación de modelos.	Dr. Ruperto Correa Torres
Administración del proyecto	Responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y realización de la actividad de investigación.	Dr. Ruperto Correa Torres
Recursos	Suministro de materiales de estudio, reactivos, materiales, pacientes, muestras de laboratorio, animales, instrumentación, recursos informáticos u otras herramientas de análisis.	Dr. Ruperto Correa Torres
Software	Programación, desarrollo de software, diseño de programas informáticos, implementación del código informático y de los algoritmos de apoyo, pruebas de los componentes de código existentes.	Dr. Ruperto Correa Torres
Supervisión	Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y realización de actividades de investigación, lo que incluye la tutoría externa al equipo central.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios Dr. Pedro Alarcón Goldenberg
Validación	Verificación, ya sea como parte de la actividad o por separado, de la replicabilidad / reproducción general de los resultados / experimentos u otros productos de la investigación.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios Dr. Pedro Alarcón Goldenberg
Visualización	Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la visualización / presentación de datos.	Dr. Ruperto Correa Torres
Redacción – borrador original	Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la redacción del borrador inicial (se incluye la traducción sustantiva).	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios
Redacción – revisión y edición	Preparación, creación o presentación del trabajo publicado por los miembros del grupo de investigación original, específicamente revisión crítica, comentario o revisión – se deben incluir las etapas previas o posteriores a la publicación.	Dr. Ruperto Correa Torres Dra. Pía Alarcón Barrios Dr. Pedro Alarcón Goldenberg

Brand A, Allen L, Altman M, Hlava M, and Scott J. 2015. "Beyond Authorship: Attribution, Contribution, Collaboration, and Credit." *Learned Publishing* 28 (2): 151–155. doi:10.1087/20150211.

Tiempo de fractura por fatiga cíclica medido en segundos de las limas con esterilización de fábrica.

Esterilización de fábrica (S0)	Lima Primary Wave One Gold (s)	Lima R25 Reciproc® Blue (s)	Lima Regular E25 Excalibur® (s)
Lima 1	293	840	1906
Lima 2	141	897	2069
Lima 3	275	844	1328
Lima 4	270	789	1724
Lima 5	290	941	860
Lima 6	263	898	1980
Lima 7	315	1102	2037

Tiempo de fractura por fatiga cíclica medido en segundos de las limas con un ciclo de esterilización.

1 ciclo de esterilización (S1)	Lima Primary Wave One Gold (s)	Lima R25 Reciproc® Blue (s)	Lima Regular E25 Excalibur® (s)
Lima 1	496	710	1703
Lima 2	399	693	1284
Lima 3	421	682	1570
Lima 4	438	623	1688
Lima 5	292	1173	1772
Lima 6	370	1131	2327
Lima 7	417	965	1641

Tiempo de fractura por fatiga cíclica medido en segundos de las limas con tres sesiones de esterilización.

3 sesiones de esterilización (S3)	Lima Primary Wave One Gold (s)	Lima R25 Reciproc® Blue (s)	Lima Regular E25 Excalibur® (s)
Lima 1	360	818	2302
Lima 2	438	1675	2333
Lima 3	409	1652	1474
Lima 4	432	1056	2150
Lima 5	334	1031	3921
Lima 6	459	1173	1824
Lima 7	339	1518	1551

Números de ciclos necesarios para producir la fractura por fatiga cíclica de las limas con esterilización de fábrica.

Esterilización de fábrica (S0)	Lima Primary Wave One Gold (NCF)	Lima R25 Reciproc® Blue (NCF)	Lima Regular E25 Excalibur® (NCF)
Lima 1	820	2352	5337
Lima 2	395	2512	5793
Lima 3	770	2363	3718
Lima 4	756	2209	4827
Lima 5	812	2635	2408
Lima 6	736	2514	5544
Lima 7	882	3086	5704

Números de ciclos necesarios para producir la fractura por fatiga cíclica de las limas con un ciclo de esterilización.

1 ciclo de esterilización (S1)	Lima Primary Wave One Gold (NCF)	Lima R25 Reciproc® Blue (NCF)	Lima Regular E25 Excalibur® (NCF)
Lima 1	1389	1988	4768
Lima 2	1117	1940	3595
Lima 3	1179	1910	4396
Lima 4	1226	1744	4726
Lima 5	818	3284	4962
Lima 6	1036	3167	6516
Lima 7	1168	2702	4595

Número de ciclos necesarios para producir la fractura por fatiga cíclica de las limas con tres sesiones de esterilización.

3 sesiones de esterilización (S3)	Lima Primary Wave One Gold (NCF)	Lima R25 Reciproc® Blue (NCF)	Lima Regular E25 Excalibur® (NCF)
Lima 1	1008	2290	6446
Lima 2	1226	4690	6532
Lima 3	1145	4626	4127
Lima 4	1210	2957	6020
Lima 5	935	2887	10979
Lima 6	1285	3284	5107
Lima 7	949	4250	4343

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

por Variable dentro de cada Nivel (S0, S1, S3), medido en tiempo hasta la fractura (TTF) en segundos.

Nivel	Variable (seg)	Valor Swilk (P-value)	Interpretación (H0: Normalidad)	Decisión
S0	WOG	0.01158	< 0.05. Los datos no siguen distribución normal.	Rechaza H0
S0	Reciproc® Blue	0.24558	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S0	Excalibur®	0.08013	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S1	WOG	0.78213	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S1	Reciproc® Blue	0.08861	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S1	Excalibur®	0.21349	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S3	WOG	0.29647	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
S3	Reciproc® Blue	0.33836	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0

S3	Excalibur®	0.06469	> 0.05. Los datos sí siguen una distribución normal.	No Rechaza H0
-----------	------------	---------	--	---------------

Pruebas de Comparación Global (ANOVA / Kruskal-Wallis)

1. Comparación por Variable entre Niveles (S0, S1, S3)

Variable	Prueba	P-value	Interpretación Global (H0: No Hay Diferencias)	Decisión
WOG	Kruskal-Wallis	0.0021	Hay diferencias. El P-value es menor a 0.05.	Rechaza H0
Reciproc® Blue	ANOVA	0.0087	Hay diferencias. El P-value es menor a 0.05.	Rechaza H0
Excalibur®	ANOVA	0.1785	No hay diferencias. El P-value es mayor a 0.05.	No Rechaza H0

2. Comparación por Nivel entre Variables (WOG, Reciproco® Blue, Excalibur®)

Nivel	Prueba	P-value	Interpretación Global (H0: No Hay Diferencias)	Decisión
S0	Kruskal-Wallis	0.0003	Hay diferencias. El P-value es menor a 0.05.	Rechaza H0
S1	ANOVA	0	Hay diferencias. El P-value es muy bajo.	Rechaza H0
S3	ANOVA	0	Hay diferencias. El P-value es muy bajo.	Rechaza H0

Comparación de Varianzas (Homocedasticidad)

1. Homocedasticidad por Variable entre Niveles (S0, S1, S3)

Variable	Prueba (S0, S1, S3)	P-value (Pr > F / W0 / W50)	Interpretación (H0: Varianzas Iguales)	Decisión
Reciproc® Blue	Test de Levene	W0 = 0.001 W50 = 0.08	HETEROCEDASTICIDAD. A pesar de un valor no significativo W50 = 0.08, el valor W0 = 0.001 es muy bajo y la diferencia en Desviaciones Estándar es grande.	Rechaza H0 (Heterocedasticidad)
Excalibur®	Test de Levene	W0 = 0.2747 W50 = 0.3425 W10 = 0.2747	HOMOCEDASTICIDAD. El P-value es mayor a 0.05 en los tres casos.	No Rechaza H0

2. Homocedasticidad por Nivel entre Variables (WOG, Reciproc® Blue, Excalibur®)

Se comparan las variables WOG, Reciproc® Blue y Excalibur® dentro de cada nivel de agrupación (S1, S3).

	Prueba (WOG, Reciproc® Blue, Excalibur®)	P-value (Pr > F)	Interpretación (H0: Varianzas Iguales)	Decisión
S1	Test de Levene	W0 =0.098 W50 = 0.267 W10: 0.09808	HOMOCEDASTICIDAD. Todos los valores son mayores a 0.05.	No Rechaza H0
S3	Test de Levene	W0=0.0473 W50: 0.067368 W10:0.047394	HETEROCEDASTICIDAD. El P-value W0 es menor a 0.05.	Rechaza H0

Pruebas Post-Hoc (Dunn, Tukey, Tamhane)

1. Post-Hoc por Variable entre Niveles (S0, S1, S3)

Variable	Prueba Post-Hoc	Grupos Comparados	Hallazgo Clave
WOG	Dunn	<p>Grupo 1 vs Grupo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Z = -3.080723$ <p>Grupo 1 vs Grupo 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Z = -2.994549$ 	<p>El Grupo 1 (S0) es significativamente diferente al Grupo 2 y al Grupo 3.</p> <p>Valor $p = 0.0014$ (Es menor a 0.05 → Hay diferencia significativa).</p>
		<p>Grupo 2 vs Grupo 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Z = 0.086174$ 	<p>Valor $p = 0.4657$ (Es mayor a 0.05 → No hay diferencia significativa).</p>

<p>Reciproc® Blue</p>	<p>Tamhane</p>	<p>2 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia de medias (Contrast): -47.71 ● Intervalo: De -332.3 a 236.8. ● Resultado: Atraviesa el 0. No es significativo. <p>3 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia de medias (Contrast): 373.14 ● Intervalo: De -41.9 a 788.1. ● Resultado: Atraviesa el 0 (apenas, pero lo hace). No es significativo. <p>3 vs 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia de medias (Contrast): 420.85 ● Intervalo: De -17.5 a 859.2. ● Resultado: Atraviesa el 0. No es significativo. 	<p>No existen diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los pares de grupos comparados.</p>
----------------------------------	----------------	---	--

<p>Excalibur®</p>	<p>Tukey</p>	<p>Grupo 2 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: 11.57 ● Intervalo: [-768.4 a 791.5] <p>→ Cruza el cero. No significativo.</p> <p>Grupo 3 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: 521.57 ● Intervalo: [-258.4 a 1301.5] <p>→ Cruza el cero. No significativo.</p> <p>Grupo 3 vs 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: 510 ● Intervalo: [-270.0 a 1290.0] <p>→ Cruza el cero. No significativo.</p>	<p>No existen diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tres grupos.</p>
--------------------------	--------------	--	---

2. Post-Hoc por Nivel entre Variables (WOG, Reciproc® Blue, Excalibur®)

Nivel	Prueba Post-Hoc	Grupos Comparados	Hallazgo Clave
S0	Dunn	<p>Grupo 2 vs. Grupo 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● $Z = -2.282872$ ● Valor $p = 0.0112$ (Es menor a $0.05 \rightarrow$ Significativo). <p>Grupo 3 vs. Grupo 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● $Z = -4.048867$ ● Valor $p = 0.0000$ (Es menor a $0.05 \rightarrow$ Altamente significativo). <p>Grupo 3 vs. Grupo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● $Z = -1.765995$ ● Valor $p = 0.0387$ (Es menor a $0.05 \rightarrow$ Significativo). 	El Grupo 1 (WOG) es claramente diferente tanto del Grupo 2 (Reciproc® Blue) como del Grupo 3 (Excalibur®).

<p>S1</p>	<p>Tukey</p>	<p>Grupo 2 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +449.14 ● Intervalo: [138.21 a 760.07] → No toca el 0. Significativo. ● <i>Interpretación:</i> El Grupo 2 tiene una media mayor que el 1. <p>Grupo 3 vs 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +1307.43 ● Intervalo: [996.50 a 1618.36] → No toca el 0. Muy Significativo. ● <i>Interpretación:</i> El Grupo 3 es inmensamente superior al 1. <p>Grupo 3 vs 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +858.28 ● Intervalo: [547.35 a 1169.21] → No toca el 0. Significativo. ● <i>Interpretación:</i> El Grupo 3 también es superior al 2. 	<p>Existe una tendencia: Grupo 3 (Excalibur®) > Grupo 2 (Reciproc® Blue) > Grupo 1 (WOG)⁵⁷. Todos son distintos entre sí.</p>
------------------	--------------	---	--

<p>S3</p>	<p>Tamhane</p>	<p>Grupo 2 vs. 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +878.85 ● IC 95%: [461.53 a 1296.17] <p>→ No cruza el 0. Significativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Interpretación:</i> El Grupo 2 es superior al 1. <p>Grupo 3 vs. 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +1826.28 ● IC 95%: [806.84 a 2845.72] <p>→ No cruza el 0. Significativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Interpretación:</i> El Grupo 3 es superior al 1. <p>Grupo 3 vs. 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diferencia: +947.42 ● IC 95%: [-65.78 a 1960.64] <p>→ Cruza el 0. No es Significativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Interpretación:</i> Aunque hay una gran diferencia numérica (947 puntos), la variabilidad (error estándar) es tan alta que estadísticamente no podemos asegurar que sean diferentes. 	<p>El Grupo 2 y el Grupo 3 son significativamente superiores al Grupo 1.</p> <p>Comparando el Grupo 2 vs el 3 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. A pesar de un promedio más alto, no se puede afirmar que el Grupo 3 sea superior al 2 debido a la alta variabilidad.</p>
------------------	----------------	--	--