



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
ESTOMATOLOGÍA

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA Y
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA, MICROSCÓPICA Y DE COMPOSICIÓN
DE TRES SISTEMAS RECIPROCANTES: ESTUDIO IN VITRO

COMPARISON OF CYCLIC FATIGUE RESISTANCE AND MACROSCOPIC,
MICROSCOPIC AND COMPOSITIONAL DESCRIPTION OF THREE
RECIPROCATING SYSTEMS: IN VITRO STUDY

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD
PROFESIONAL EN ENDODONCIA

AUTORES

PAMELA JAZMIN CAPCHA DUYSOVICH

MARIA MILAGROS PERCCA CONDO

JEAN CARLO VILLAR ZAPATA

ASESOR

MANUEL FERNANDO CORDOVA MALCA

CO-ASESOR

ERIC HERNAN COAGUILA LLERENA

LIMA – PERÚ

2025

JURADO

Presidente: MG. ESP. ANTONIO ERNESTO DENEGRI HACKING

Vocal: DR. MG. ESP. MARIO GEORGE CASARETTO GAMONAL

Secretario: MG. ESP. SHIRLEY VANESSA GRANADOS LAURA

Fecha de Sustentación: 16 de setiembre del 2025

Calificación: Aprobado

ASESORES DE TESIS

ASESOR

MG. MANUEL FERNANDO CORDOVA MALCA

Departamento Académico de Clínica Estomatológica

ORCID: 0000-0002-7220-2045

CO-ASESOR

DR. MG. ESP. ERIC HERNAN COAGUILA LLERENA

Departamento Académico de Clínica Estomatológica

ORCID: 0000-0002-9991-718X

DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo constante durante todo el largo camino de mi formación. A mi abuela cuya presencia perdura en cada logro y cuya memoria siempre estará conmigo. Y a

Nala, mi fiel compañera.

Pamela Jazmin Capcha Duymovich

Agradezco a mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores los cuales han sido importantes para ayudarme a salir adelante. A mis hijos que siempre serán una motivación en mi vida y especialmente a Dios por permitirme estar rodeada de compañeros y docentes que han motivado y ayudado a realizar este trabajo.

Maria Milagros Percca Condo

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres, que estuvieron a mi lado desde el día uno de la carrera y durante todo este proceso de crecimiento profesional. Por motivarme, alentarme y brindarme su apoyo incondicional, sobre todo en los momentos más complicados. Por siempre agradecido con ustedes.

Jean Carlo Villar Zapata

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a nuestros asesores Fernando Córdova Malca y Hernán Coaguila Llerena, por su tiempo, paciencia y guía constante para poder realizar este trabajo de investigación con éxito; y para todos nuestros docentes de la especialidad de Endodoncia, que fueron pilares importantes en nuestra formación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	CAPCHA DUYNAMOVICH PAMELA JAZMIN
2.	PERCCA CONDO MARIA MILAGROS
3.	VILLAR ZAPATA JEAN CARLO

Pertenecientes al programa de la **SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN ENDODONCIA**, autores del trabajo titulado: **COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA Y DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA, MICROSCÓPICA Y DE COMPOSICIÓN DE TRES SISTEMAS RECÍPROCANTES: ESTUDIO IN VITRO** el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN ENDODONCIA** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	CORDOVA MALCA MANUEL FERNANDO	ESTOMATOLOGÍA	ASESOR
2.	COAGUILA LLERENA ERIC HERNAN	ESTOMATOLOGÍA	CO-ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **17 %**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **trn:oid:::1:3385255762**; fecha de entrega: **24-10-2025**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 24 de octubre del 2025.**

Firma del asesor
N° DNI: 45759539

ORCID: 0000-0002-7220-2045

Firma del Co-asesor
N° DNI: 42782683

ORCID: 0000-0002-9991-718X



TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Resumen	
Abstract	
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. Materiales y Métodos	4
IV. Resultados	9
V. Discusión	11
VI. Conclusiones	14
VII. Referencias Bibliográficas	15
VIII. Tablas, figuras y gráficos	20
Anexos	

RESUMEN

Antecedentes: Los sistemas de instrumentación de níquel-titanio (Ni-Ti) con cinemática recíprocante han ganado amplia aceptación clínica, lo que ha impulsado el desarrollo de diversos sistemas.

Objetivo: Comparar la resistencia a la fatiga cíclica y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición de tres sistemas de limas endodónticas recíprocantes de Ni-Ti.

Materiales y métodos: Estudio experimental in vitro con 3 grupos (n=20): Wave One Gold (WOG), Roll Wave Blue (RWB) y TF4. La fatiga cíclica se evaluó con un dispositivo de conductos artificiales curvados y un motor endodóntico recíprocante, registrando el tiempo de fractura (TDF, s) y número de ciclos a fractura (NCF). La descripción de características macroscópicas, mediante fotografía macro, evaluó pitch, distribución y bordes cortantes. La descripción de características microscópicas, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), observó superficies y secciones transversales. La composición elemental se determinó con espectroscopía de dispersión de rayos X (EDX). Los datos de fatiga cíclica se analizaron con Kruskal-Wallis y post hoc de Dunn ($\alpha=0.05$).

Resultados: RWB presentó la mayor resistencia a la fatiga cíclica, con valores superiores de TDF y NCF. El pitch y su distribución variaron entre los grupos. El SEM evidenció mayor desgaste en TF4. El EDX no mostró diferencias en la composición elemental.

Conclusión: Existen diferencias entre los tres sistemas recíprocantes evaluados, siendo que RWB presentó la mayor resistencia a la fatiga cíclica. Además, presentan similar composición química pero diferencias en su desempeño, lo cual podría deberse a variaciones en su diseño, aleación y tratamiento térmico.

Palabras clave: Aleaciones, Endodoncia, Microscopía Electrónica de Barrido, Preparación del conducto radicular, Resistencia Flexional (DeCS)

ABSTRACT

Background: Nickel-titanium (Ni-Ti) instrumentation systems, specifically those used in reciprocating kinematics, have been widely accepted by clinicians. This has led to the introduction of several systems onto the market.

Objective: To compare the cyclic fatigue resistance and describe characteristics macroscopic, microscopic and compositional characteristics of three Ni-Ti reciprocating endodontic systems.

Materials and Methods: An in vitro experimental study was performed with 3 groups (n=20): WaveOne Gold (WOG), Roll Wave Blue (RWB), and TF4. Cyclic fatigue resistance was assessed using a custom device with artificial curved canals and an endodontic motor with reciprocating motion. For this parameter, the fracture time (TDF), in seconds, and the number of cycles to fracture (NCF) were evaluated. Macroscopic analysis was performed with macro photography, evaluating the pitch and its distribution along the instrument, and cutting edges. Microscopic analysis was based on scanning electron microscopy (SEM) was used to assess surface and cross-sectional features. Additionally, energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) was employed to determine the elemental composition. The data from the cyclic fatigue analysis were analyzed using the Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test ($\alpha=0.05$).

Results: RWB showed the highest resistance to cyclic fatigue, with a higher number of TDF and NCF. The pitch and its distribution were different for all groups. SEM analysis revealed greater wear on TF4 files. EDX analysis showed no differences in elemental composition among the systems.

Conclusion: There are differences among the three reciprocating systems evaluated, with RWB exhibiting the greatest resistance to cyclic fatigue. Furthermore, they have similar chemical compositions but differ in performance, which could be due to variations in their design, alloy, and heat treatment.

Keywords: Alloys, Endodontics, Microscopy Electron Scanning, Root canal preparation, Flexural Strength (MeSH)

I. INTRODUCCIÓN

La introducción de los instrumentos de níquel-titanio (NiTi) a finales de la década de 1980 marcó un hito importante en la Endodoncia (1). En las etapas iniciales de la instrumentación mecanizada, se preconizó el uso de la rotación continua de los conductos radiculares. Sin embargo, en la primera década de los años 2000's se propuso implementar en la práctica clínica el movimiento oscilatorio asimétrico, combinando rotación alterna del instrumento endodóntico en direcciones opuestas con amplitudes diferentes para optimizar el corte, la evacuación de residuos y la resistencia a la fractura (2). Esta cinemática estaba basada en el concepto de fuerzas balanceadas propuesto en 1984 por James Roane (3).

Específicamente, en el año 2008, Ghassan Yared propuso combinar la flexibilidad del NiTi con la reciprocación asimétrica. Para este propósito, utilizó el motor ATR, el cual permite alternar entre rotación continua y reciprocación. Además, utilizó un instrumento ProTaper F2 en una cinemática reciprocante asimétrica de 144° en sentido horario y 72° antihorario. Estas observaciones preliminares demostraron resultados prometedores en la reducción de separación de instrumentos, manteniendo la morfología original del conducto (2).

Este avance impulsó a la industria a diseñar sistemas específicos para aprovechar el movimiento reciprocante. Así, surgieron los primeros sistemas mecanizados basados en la reciprocación asimétrica, destacando Reciproc (VDW, Munich, Alemania) y WaveOne (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU.). Estos sistemas fueron diseñados con aleaciones mejoradas, geometrías optimizadas y motores controlados electrónicamente para aplicar la reciprocación de forma estandarizada

y segura (4). Ambos sistemas están fabricados con la aleación M-Wire, la cual proporciona una mayor flexibilidad y resistencia a la fractura en comparación con la aleación convencional de Ni-Ti (5).

Los sistemas reciprocantes han ganado popularidad por su eficiencia, tanto en tratamientos como retratamientos de los conductos radiculares. El movimiento en sentido horario y antihorario ofrece ventajas en comparación a los sistemas rotatorios tradicionales (6). Especialmente en conductos curvos (2). Por otro lado, durante el retratamiento endodóntico, aunque ningún sistema logra eliminar por completo el material de obturación previo, han mostrado ser más rápidos y eficientes en la remoción primaria de residuos (7).

El sistema WaveOne Gold (Dentsply Sirona) es la evolución del sistema WaveOne, cuya principal diferencia con su predecesor es el tratamiento Gold, el cual le confiere al instrumento el característico color dorado (8). El sistema WOG presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica en comparación a WaveOne y Reciproc (8,9). Su mejorada flexibilidad le permite navegar de forma segura por conductos curvos, reduciendo el riesgo de iatrogenias (10), manteniendo la curvatura original del conducto durante la instrumentación (11–13). Además, se ha asociado con una baja incidencia de fractura (14).

Recientemente, han aparecido en el mercado sistemas reciprocantes alternativos, especialmente de origen chino, que se han popularizado por su bajo costo. El sistema TF4 (D-Perfect, Shenzhen, China) es un claro ejemplo de ello. Este sistema presenta un tratamiento térmico *Gold*, y una flexibilidad mejorada. Tiene una presentación comercial similar a WOG (15). El sistema Roll Wave Blue - RWB

(Denco Medical, Shenzhen, China) presenta un tratamiento térmico *Blue*, movimiento recíprocante, punta optimizada, lo cual facilita la remoción de restos hacia coronal, reduciendo el efecto de atornillamiento. Cuenta con una conicidad fija de D0 a D3 y decreciente del D4 al D16 para preservar la dentina del conducto y no generar un desgaste excesivo (16).

Aunque los sistemas TF4 y RWB han sido previamente investigados, la comparación de las propiedades mecánicas y metalúrgicas con el sistema WOG no han sido suficientemente estudiadas. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue comparar la resistencia a la fatiga cíclica y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición de tres sistemas recíprocantes. La hipótesis nula fue que no existían diferencias entre los tres sistemas evaluados en los parámetros evaluados.

1. OBJETIVOS

Objetivo General

Comparar la resistencia a la fatiga cíclica (incluyendo tiempo de fractura (TDF) y el número de ciclos hasta la fractura (NCF)) y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición de los sistemas recíprocantes WaveOne Gold, Roll Wave Blue, TF4 .

Objetivos Específicos:

1. Determinar la resistencia a la fatiga cíclica [incluyendo tiempo de fractura (TDF) y el número de ciclos a la fractura (NCF)] y describir las

características macroscópicas, microscópicas y de composición del sistema WaveOne Gold.

2. Determinar la resistencia a la fatiga cíclica [incluyendo tiempo de fractura (TDF) y el número de ciclos a la fractura (NCF)] y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición del sistema TF4.
3. Determinar la resistencia a la fatiga cíclica [incluyendo tiempo de fractura (TDF) y el número de ciclos a la fractura (NCF)] y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición del sistema Roll Wave Blue.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El presente estudio es experimental, analítico y prospectivo.

Muestra

La estimación del tamaño de la muestra para la evaluación de la resistencia a la fatiga cíclica se basó en el estudio de Martins *et al.* (17), para un tamaño de efecto de 1.049. Se utilizó el programa G*Power (versión 3.1.9.7), considerando un poder estadístico del 95% y un error alfa de 0.05. El cálculo mostró que se necesitaban 6 instrumentos por grupo. Sin embargo, utilizamos 20 instrumentos por grupo para la prueba de la resistencia a la fatiga cíclica. Adicionalmente, se utilizaron 2 instrumentos de cada grupo para la descripción de características macroscópicas, microscópicas y de composición. Se utilizó la lima Primary (25/07) de cada sistema,

los instrumentos fueron obtenidos comercialmente en la longitud de 25mm y fueron distribuidas en los siguientes grupos (n=20): grupo RWB, grupo TF4 (lote #21040104), y grupo WOG (lote #1793827).

Evaluación de la resistencia a la fatiga cíclica

Se realizó en el laboratorio de biomateriales de la Facultad de Odontología de la Universidad Católica de Santa María a cargo del Dr. Wilfredo Escalante Otárola utilizando un dispositivo personalizado (Fabristem S.A.C., Lima, Perú), el cual está diseñado para permitir la evaluación reproducible de instrumentos girando libremente dentro de un conducto artificial curvo con una curvatura de 60° (13) hasta que se produjera la fractura. El radio de curvatura establecido fue de 5 mm, el cual fue medido sobre la superficie interna de la concavidad del conducto, con el centro de curvatura ubicado a 5 mm de la punta del instrumento y un segmento curvo de aproximadamente 5 mm de longitud.

La pieza de mano del motor endodóntico X-Smart Plus (Dentsply Sirona, Charlotte, Carolina del Norte, EE. UU.) fue montada sobre un soporte móvil que permitió posicionar con precisión el instrumento en el conducto artificial, asegurando de esta forma su alineación tridimensional y estabilidad durante las pruebas.

Para todos los grupos, el movimiento recíprocante programado en el motor fue el correspondiente al sistema WOG, que incluye un movimiento de 170° en sentido antihorario y 50° en sentido horario, operando a una velocidad de 350 revoluciones por minuto (RPM).

Los instrumentos para todos los grupos fueron acoplados en el contra-ángulo del motor, introducidos en el conducto artificial y activados. Se contabilizó el tiempo de fractura (TDF) en segundos (s); y se calculó el número de ciclos a la fractura (NCF) utilizando la fórmula:

$$(\text{RPM} \times \text{tiempo en "s"}) / 60.$$

El fragmento separado de cada instrumento fue conservado para su posterior medición en milímetros (mm), esto únicamente para fines informativos.

Descripción macroscópica

Se realizó un descripción morfométrico de cada instrumento mediante fotografía macro estandarizada, utilizando una lima adicional de cada sistema recíprocante. Para ello, se empleó una cámara profesional (EOS Rebel T5i; Canon Co., Tokio, Japón) equipada con un lente objetivo macro (EF 100mm f/2.8L Macro; Canon, Tokio, Japón) y un flash circular (Macro Ring Lite; Canon Co., Tokio, Japón). Todas las imágenes fueron capturadas con parámetros constantes de exposición: velocidad de obturación 1/30 s, apertura f/5 e ISO 100.

La cámara acoplada a un trípode con capacidad de rotación de 360°, se montó de forma perpendicular sobre un fondo blanco, a una distancia estandarizada de 30 cm de los instrumentos, garantizando la estandarización del encuadre y la iluminación en cada toma. Las imágenes obtenidas fueron analizadas con el software ImageJ (NIH, Bethesda, MD, EE. UU.), utilizando una escala previamente calibrada que permitió realizar mediciones de la parte activa de los instrumentos. La codificación para las mediciones se estableció como "P", siendo 1 al inicio de la

parte activa avanzando secuencialmente entre cada paso de *pitch* (definido como la distancia entre dos bordes cortantes consecutivos de un instrumento) hasta la punta del instrumento. Se evaluaron principalmente el número de *pitches*, la distribución a lo largo del instrumento, y el borde cortante de la porción activa de los instrumentos (18).

Descripción microscópica

Se llevó a cabo mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM). Se utilizó un instrumento nuevo adicional de cada sistema (lima primary) y estos fueron seccionados en dos niveles: a 5 mm y a 10 mm desde la punta, utilizando una máquina de corte de precisión (OCP 100 LC, Odeme Dental Research, Luzerna, SC, Brasil). El fragmento seccionado al nivel de 5 mm se destinó al análisis de la superficie activa del instrumento (bordes cortantes y punta), mientras que el fragmento restante (al nivel de 10 mm) se empleó para el estudio de la sección transversal de cada instrumento (19).

Todos los fragmentos fueron irrigados con agua destilada y llevados a limpieza ultrasónica durante 10 minutos (Cristófoli, Campo Mourão, PR, Brasil). Posteriormente, se montaron individualmente sobre stubs metálicos sin pasar por el proceso de metalización, y se analizaron mediante SEM (EVO 10MA; Carl Zeiss, Oberkochen, Alemania), operado a 20 kV. Se realizaron observaciones comparativas de las superficies activas y puntas de los instrumentos antes y después del uso utilizando diferentes aumentos, siendo para los cortes transversales a 700X, para la superficie activa del instrumento a 120X, y para la descripción de las puntas a 300X. También, se seleccionaron aleatoriamente 3 segmentos, uno de cada

sistema, previamente fracturados en la prueba de resistencia a la fatiga cíclica con una longitud aproximada de 5 mm para la misma evaluación microscópica para observar el patrón de fractura.

Descripción de composición

Adicionalmente, se llevó a cabo la caracterización de los instrumentos primary, mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDX), con los mismos instrumentos utilizados para descripción de características macroscópicas de cada sistema recíprocante (n=1 por grupo), los cuales fueron fragmentados para utilizarse las partes activas de los instrumentos correspondientes. El análisis EDX se realizó con un microscopio electrónico de barrido (EVO 10MA; Carl Zeiss, Oberkochen, Alemania), equipado con una sonda X-act (Oxford Instruments; High Wycombe, Reino Unido) en modo de alta vacuidad, a 20 kV y utilizando electrones secundarios. La identificación automática de los elementos fue realizada mediante el software AztecOne (Oxford Instruments; High Wycombe, Reino Unido), que también empleó un filtro propietario para la descripción de características.

Análisis estadístico

Los datos de TDF y NCF fueron analizados mediante estadística descriptiva. Se evaluó la normalidad con el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con el test de Levene. Posteriormente, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con un análisis post hoc de Dunn ($\alpha=0.05$).

IV. RESULTADOS

Evaluación de la resistencia a la fatiga cíclica

El grupo RWB mostró mayor TDF en comparación con los grupos TF4 y WOG ($p < 0.001$), no habiendo diferencias significativas entre las dos últimas ($p > 0.001$). Los valores promedio y la desviación estándar del TDF para cada grupo se presentan en la Tabla 1.

RWB mostró mayor NCF en comparación con los grupos TF4 Y WOG.

Descripción macroscópica

Hubo diferencias macroscópicas entre las limas RWB, TF4 y WOG. RWB presentó mayor número de *pitches* (8 en total) en comparación con TF4 y WOG, los cuales mostraron 7 *pitches* en total. Asimismo, se identificó una variación en la distribución del *pitch* a lo largo de la parte activa. Para TF4 y WOG, hubo una reducción gradual más pronunciada en la zona cervical (P1–P4). Para RWB, esta reducción se concentró en la zona apical (P5–P8). Los hallazgos se muestran en la Figura 1.

Descripción microscópica

El análisis estructural mediante SEM evidenció similitudes en el diseño de las partes activas de los instrumentos evaluados. Además, se observaron características de patrón de fractura por fractura cíclica, es decir, depresiones, patrón de espiga y estrías microscópicas en toda la superficie de fractura, las cuales suelen ubicarse cerca del origen de la grieta y se extienden hacia el centro de la sección transversal.

Se observó que el instrumento TF4 nuevo presentó angulaciones menores de las espiras en comparación con los instrumentos RWB y WOG nuevos, como se muestra en las Figuras 2A, 3A y 4A. Al examinar las partes activas de los instrumentos usados (Figuras 2D, 3D y 4D), se identificó pérdida del filo del borde cortante en los tres grupos, siendo más pronunciado en el instrumento TF4 usado (Figura 3D).

El análisis de las puntas reveló que el instrumento WOG nuevo mostró una punta inactiva (Figura 2B), la cual pareció agudizarse tras el uso. En el caso del instrumento TF4 nuevo, la punta es roma (Figura 3B), y perdió también agudeza tras el uso (Figura 3E). El instrumento RWB nuevo presentó una punta fina (Figura 4B), la cual perdió agudeza tras el uso (Figura 4E).

Respecto a las secciones transversales, WOG nuevo mostró una sección transversal en forma de paralelogramo (Figura 2C). El instrumento TF4 nuevo también mostró una sección rectangular, pero con angulaciones romas (Figura 3C), mientras que el instrumento RWB nuevo presentó una forma de paralelogramo (Figura 4C). El análisis de las secciones transversales de los instrumentos separados mostró una configuración similar que en los instrumentos nuevos (Figuras 2F, 3F y 4F). Cabe destacar que el patrón de fractura del instrumento TF4 fue con múltiples irregularidades en el metal (Figura 3F), mientras que WOG y RWB mostraron bordes más uniformes (Figuras 2F y 4F).

Descripción de composición

El análisis por EDX reveló que, aunque los porcentajes de peso atómico presentaron ligeras variaciones entre los instrumentos (Tabla 2), todos mostraron una

composición similar de Níquel (Ni) y Titanio (Ti). La figura 5 presenta imágenes representativas de la sección transversal de cada grupo, incluyendo los picos de la distribución elemental de cada uno de ellos.

V. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia a la fatiga cíclica y describir las características macroscópicas, microscópicas y de composición de los sistemas reciprocantes WOG, RWB y TF4. La hipótesis nula fue rechazada debido a que se encontraron diferencias entre los grupos estudiados, especialmente en la fatiga cíclica.

Los sistemas endodónticos con movimiento recíprocante han demostrado una mayor resistencia a la fatiga cíclica comparada con los sistemas rotatorios, lo que puede ser atribuido a la menor concentración de tensiones mecánicas generadas por su movimiento alternante (20,21). Silva *et al.* (2020) señalaron que los instrumentos martensíticos tratados térmicamente presentan mayor resistencia a la fatiga cíclica (22). En el presente estudio, los resultados relacionados a la fatiga cíclica mostraron que el grupo RWB mostró mejor comportamiento que los grupos TF4 y WOG. Esto puede deberse a la aleación Blue que presenta el sistema RWB, a diferencia de la aleación gold de los sistemas TF4 y WOG. Ya que, aunque ambas aleaciones presentan una capa de óxido de titanio, esta es más delgada en la aleación Blue con un grosor de 60 a 80 nm, mientras que la aleación gold presenta un grosor de 100 a 140 nm (23–25).

Keskin *et al.* (2017) compararon Reciproc Blue, Reciproc y WOG, encontrando que el tratamiento *Blue* con fase martensítica estable incrementa significativamente la

resistencia a la fatiga cíclica (26). Oh et al (2020) encontraron que el sistema Reciproc Blue presentó mayor resistencia a la fatiga cíclica en comparación con WaveOne Gold y esto fue atribuido a su tratamiento térmico post-mecanizado (27). De-Deus. *et al.*(2017) concuerdan en que los instrumentos tratados térmicamente presentan una mayor flexibilidad y resistencia, los cuales son factores cruciales para reducir errores de procedimiento (28). El sistema RWB, utilizado en nuestro estudio, es fabricado con la aleación *Blue* en fase martensítica (16), lo que pudo haber contribuido a una mejor resistencia a la fatiga cíclica en comparación a WOG y TF4.

Así como la aleación y el tratamiento térmico de los instrumentos, el presente estudio resalta la importancia del diseño geométrico. Por ejemplo, la RWB presentó un mayor número de *itches*, mostrando una reducción de la distribución de estos en la zona apical, lo que podría facilitar la evacuación de detritos y distribuir mejor las tensiones. Sin embargo, la correlación entre el diseño del instrumento y la capacidad de limpieza de este aún no está completamente establecida.

El análisis SEM reveló características típicas de fractura por fatiga cíclica tales como zonas de depresiones profundas y marcas en patrón de espiga. La apariencia fractográfica de un metal fatigado se caracteriza por su progreso desde el origen de la grieta hasta una zona de estrías por fatiga, es decir, marcas microscópicas incrementales ocasionadas por una grieta por fatiga creciente y, finalmente, una zona de ruptura de las depresiones (29). Características muy diferentes a una fractura por torsión, donde se observa bordes irregulares, fisuras abruptas y marcas helicoidales (29–31). Por otro lado, aunque los tres sistemas mostraron desgaste en

la punta tras su uso, esta pérdida fue más evidente en los sistemas RWB y TF4. En particular, se evidenció que TF4 presentó la mayor pérdida de capacidad de corte y micro defectos superficiales, lo que puede predisponer a fallas prematuras, sin embargo, esto requiere mayor investigación. Contrario a esto, el sistema WOG presentó una menor alteración en su estructura apical, lo que podría indicar una mayor resistencia al desgaste. Estos resultados laboratoriales deben interpretarse con cautela ya que no es posible extrapolar directamente estos resultados al ámbito clínico sin estudios complementarios que evalúen otras propiedades mecánicas relevantes.

Desde el punto de vista geométrico, WOG presenta una sección transversal en forma de paralelogramo, a diferencia del diseño triangular de su predecesor, WaveOne (32). De la misma forma, RWB presentó también una sección transversal en forma de paralelogramo. Esta característica, ha sido asociada con una mayor flexibilidad, lo que favorece la navegación en conductos curvos, mejora la eliminación de residuos y reduce el riesgo de fractura durante el uso clínico (33). En el caso de TF4, mostró una sección transversal rectangular con angulaciones romas, lo cual podría favorecer también el mantenimiento de la anatomía original del conducto radicular y facilitar la eliminación de residuos. En conjunto, más allá de la composición química de Ni-Ti, la eficacia clínica de los instrumentos está influida por diferentes parámetros tales como la aleación, tratamiento térmico y el diseño.

Una de las principales limitaciones del presente estudio radica en su naturaleza in vitro, lo cual restringe la extrapolación directa de los resultados a contextos clínicos

reales. Asimismo, la escasa evidencia científica disponible sobre RWB y TF4 dificulta la comparación con otros estudios previos y limita la profundidad del análisis contextual. No obstante, una de las fortalezas de este estudio reside en su carácter innovador, al centrarse en instrumentos endodónticos que han comenzado a adquirir mucha aceptación por parte de los clínicos, pero la evidencia científica aún es insuficiente para respaldar su uso generalizado.

Aunque RWB demostró mayor resistencia a la fatiga cíclica y WOG mostró menores alteraciones de la punta tras el uso, se necesita más investigación evaluando otros parámetros relacionados a la instrumentación de los conductos radiculares, por ejemplo, evaluación de fatiga torsional, evaluaciones in vivo, así como análisis complementarios de otras propiedades mecánicas, a fin de validar los hallazgos obtenidos y consolidar la evidencia sobre estos sistemas.

VI. CONCLUSIONES

El sistema RWB exhibió la mayor resistencia a la fatiga cíclica, presentando un mayor tiempo de fractura (TDF) y mayor número de ciclos a la fractura (NCF) comparado con los sistemas TF4 y WOG, lo cual puede atribuirse a su aleación y tratamiento térmico.

Los tres instrumentos reciprocantes presentan similar composición química, pero diferencias en su desempeño, lo cual podría deberse a variaciones en su diseño, aleación y tratamiento térmico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14(7):346–51.
2. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008 Apr 12;41(4):339–44.
3. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985 May;11(5):203-11.
4. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2012;45(7):614–8.
5. Bonessio N, Pereira ESJ, Lomiento G, Arias A, Bahia MGA, Buono VTL, *et al.* Validated finite element analyses of WaveOne Endodontic Instruments: a comparison between M-Wire and NiTi alloys. *Int Endod J.* 2015;48(5):441–50.
6. Madarati AA, Sammani AMN, Alnazzawi AA, Alrahlah A. Efficiency of the new reciprocating and rotary systems with or without ultrasonics in removing root-canals filling with calcium silicate-based sealer (MTA). *BMC Oral Health.* 2023;23(1):5.
7. You SY, Kim HC, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Lee W. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: A comparative study with micro-computed tomography. *J Endod.* 2011;37(9):1296–300.
8. Rios M de A, Villela AM, Cunha RS, Velasco RC, De Martin AS, Kato AS, *et al.* Efficacy of 2 Reciprocating Systems Compared with a Rotary

- Retreatment System for Gutta-percha Removal. *J Endod.* 2014;40(4):543–6.
9. Elnaghy AM, Elsaka SE. Effect of sodium hypochlorite and saline on cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold and Reciproc reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2017;50(10):991–8
 10. Fangli T, Maki K, Kimura S, Nishijo M, Tokita D, Ebihara A, *et al.* Assessment of mechanical properties of waveone gold primary reciprocating instruments. *Dent Mater J.* 2019;38(3):490–5.
 11. Al-labed H, layous K, Alzoubi H. The Efficacy of Three Rotary Systems (Reciproc Blue, WaveOne Gold, and AF Blue R3) in Preparing Simulated, Highly Curved Root Canals: An In Vitro Study. *Cureus.* 2022;14(10):e30232.
 12. Alsulaiman M, Alsofi L, Alhabib MA. Shaping ability of NiTi reciprocating file systems R-motion and waveOne gold in mesial canals of mandibular molars; micro CT study. *Sci Rep.* 2025;15(1):747.
 13. Bürklein S, Flöch S, Schäfer E. Shaping ability of reciprocating single-file systems in severely curved canals: WaveOne and Reciproc versus WaveOne Gold and Reciproc blue. *Odontology.* 2019;107(1):96–102.
 14. Bueno CSP, Oliveira DP, Pelegrine RA, Fontana CE, Rocha DGP, Gutmann JL, *et al.* Fracture incidence of WaveOne Gold files: a prospective clinical study. *Int Endod J.* 2020;53(9):1192–8.
 15. D-PERFECT Medical Instruments Co. TF4 NiTi Rotary File System [brochure]. D-PERFECT Medical Instruments Co.; [s.f.].

16. Denco Medical Instruments Co. Roll Wave Blue Reciprocating File System [brochure]. Denco Medical Instruments Co.; [s.f.].
17. Martins JNR, Silva EJNL, Marques D, Belladonna F, Simões-Carvalho M, Camacho E, *et al.* Comparison of design, metallurgy, mechanical performance and shaping ability of replica-like and counterfeit instruments of the ProTaper Next system. *Int Endod J.* 2021;54(5):780–92.
18. Zubizarreta-Macho A, Faus-Matoses V, *et al.* Comparative Study of the SEM Evaluation, EDX Assessment, Morphometric Analysis, and Cyclic Fatigue Resistance of Three Novel Brands of NiTi Alloy Endodontic Files. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(7):4414.
19. Hamdy TM, Galal M, Ismail AG, Abdelraouf RM. Evaluation of Flexibility, Microstructure and Elemental Analysis of Some Contemporary Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Open Access Maced J Med Sci.* 2019;7(21):3647-3654.
20. 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;*13(3):882.
21. Faus-Matoses V, Faus-Llácer V, Ruiz-Sánchez C, Jaramillo-Vásquez S, Faus-Matoses I, Martín-Biedma B, *et al.* Effect of rotational speed on the resistance of NiTi alloy endodontic rotary files to cyclic fatigue—An in vitro study. *J Clin Med.* 2022; 11(11):3143.

22. Silva E, Oliveira de Lima C, Vieira V, Antunes H, Lima Moreira EJ, Versiani M. Cyclic fatigue and torsional resistance of four martensite-based nickel titanium reciprocating instruments. *Eur Endod J.* 2020;5(3):231–5.
23. Liang Y, Yue L. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments. *Int J Oral Sci.* 2022;14(1):12.
24. Keskin NB, Inan U. Endodontic rotary files, what should an endodontist know? *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2022;16(2):109-18.
25. Ninan E, Berzins DW. Torsion and bending properties of shape memory and superelastic nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2013;39(1):101-4.
26. Keskin C, Inan U, Demiral M, Keleş A. Cyclic Fatigue resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold reciprocating instruments. *J Endod.* 2017;43(8):1360–3.
27. Oh S, Kum KY, Kim HJ, Moon SY, Kim HC, Chaniotis A, Perinpanayagam H, Pedullá E, Chang SW. Bending resistance and cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc Blue, and HyFlex EDM instruments. *J Dent Sci.* 2020 Dec;15(4):472-478.
28. De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, *et al.* Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. *J Endod.* 2017;43(3):462–6.
29. Sattapan B, Nervo G, Palamara J, Messer H. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod.* 2000;26(3):161–5.
30. Cheung GSP, Darvell BW. Fatigue testing of a NiTi rotary instrument. Part 2: Fractographic analysis. *Int Endod J.* 2007;40(8):619–25.

31. Drukteinis S, Peciuliene V, Bendinskaite R, Brukiene V, Maneliene R, Rutkunas V. Shaping and centering ability, cyclic fatigue resistance and fractographic analysis of three thermally treated niti endodontic instrument systems. *Materials*. 2020;13(24):1–13.
32. Adigüzel M, Capar ID. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne and WaveOne Gold Small, Primary, and Large Instruments. *J Endod*. 2017 Apr;43(4):623-627.
33. Leal Silva EJM, Tinoco JM, Tinoco EM, Vieira VT, Sassone LM, Lopes HP. Bending resistance and cyclic fatigue life of a new single-file reciprocating instrument WaveOne Gold. *Eur Endod J*. 2017;1(1):1–4.

VIII. TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

Tabla 1

Fatiga cíclica, que incluye tiempo de fractura (TDF) y número de ciclos a la fractura (NCF) de los instrumentos WaveOne Gold (WOG), Roll Wave Blue (RWB), y TF4.

Grupos	<i>n</i>	TDF(s)	NCF	min-max
RWB	20	660.19 ± 122.62 ^a	3851	2561-5454
TF4	20	158.25 ± 39.94 ^b	923	525-1418
WOG	20	122.52 ± 35.73 ^b	715	298-1010

Para TDF, se muestran valores promedio y desviación estándar. Letras minúsculas diferentes expresan diferencias significativas ($p < 0.05$). min-máx: número de ciclos mínimo y máximo. Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 2

Porcentajes promedio de peso atómico (%) de los elementos de los instrumentos de los grupos WaveOne Gold (WOG), Roll Wave Blue (RWB), y TF4, por espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDX), a 20 kV.

Grupo	Ti	Ni	O	C
RWB	26.16	25.37	32.44	16.03
TF4	30.19	29.39	23.24	17.18
WOG	32.46	31.89	19.11	16.54

Figura 1. Descripción macroscópica de los instrumentos. RWB: Roll Wave Blue (Denco), TF4: TF4 (D-Perfect), WOG: Wave One Gold (Dentsply Maillefer).

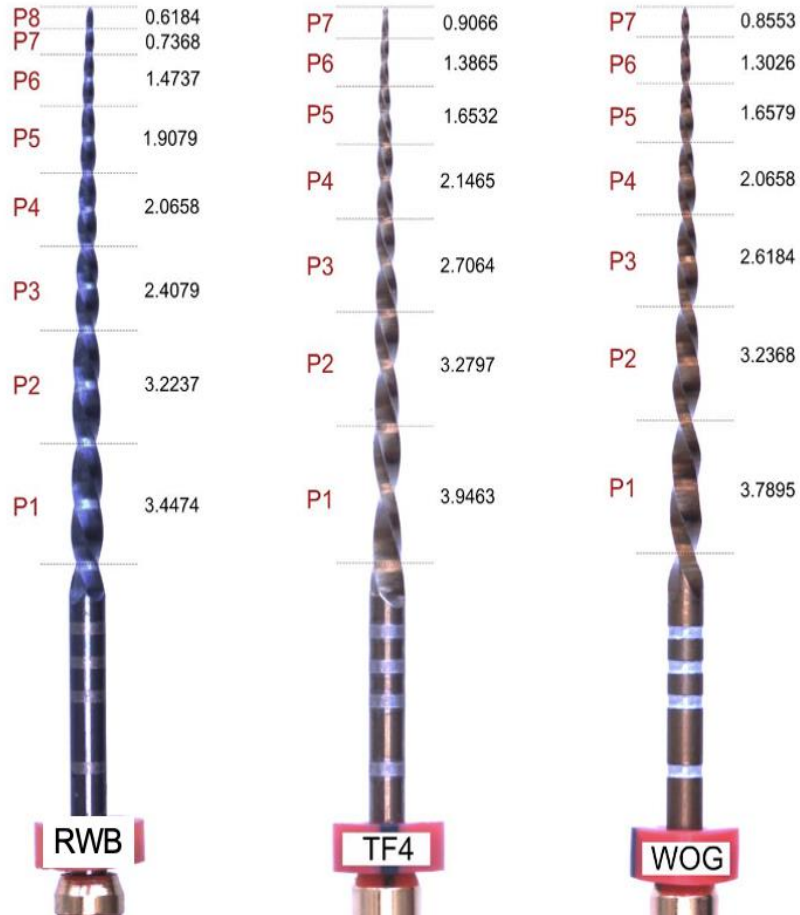


Figura 2. Descripción microscópica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) del instrumento WaveOne Gold (WOG). (A) y (B) Parte activa y punta de instrumento nuevo. (C) Sección transversal de instrumento nuevo. (D) y (E) Parte activa y punta de instrumento usado. (F) Sección transversal del instrumento fracturado.

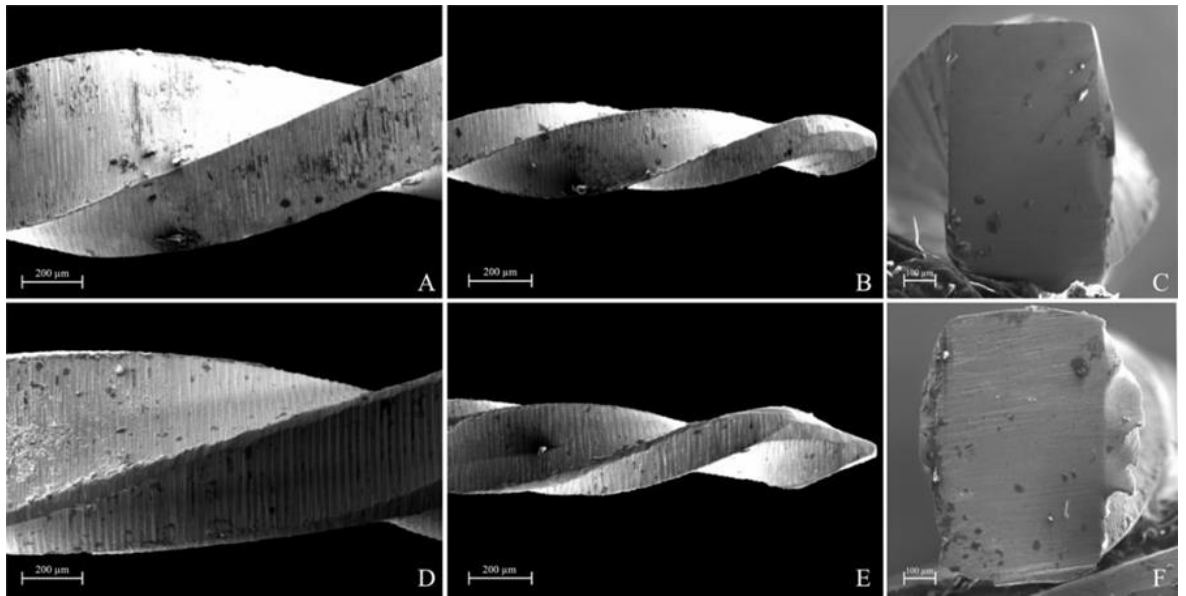


Figura 3. Descripción microscópica mediante microscopía de barrido (SEM) del instrumento TF4. (A) y (B) Parte activa y punta de instrumento nuevo. (C) Sección transversal de instrumento nuevo. (D) y (E) Parte activa y punta de instrumento usado. (F) Sección transversal del instrumento fracturado.

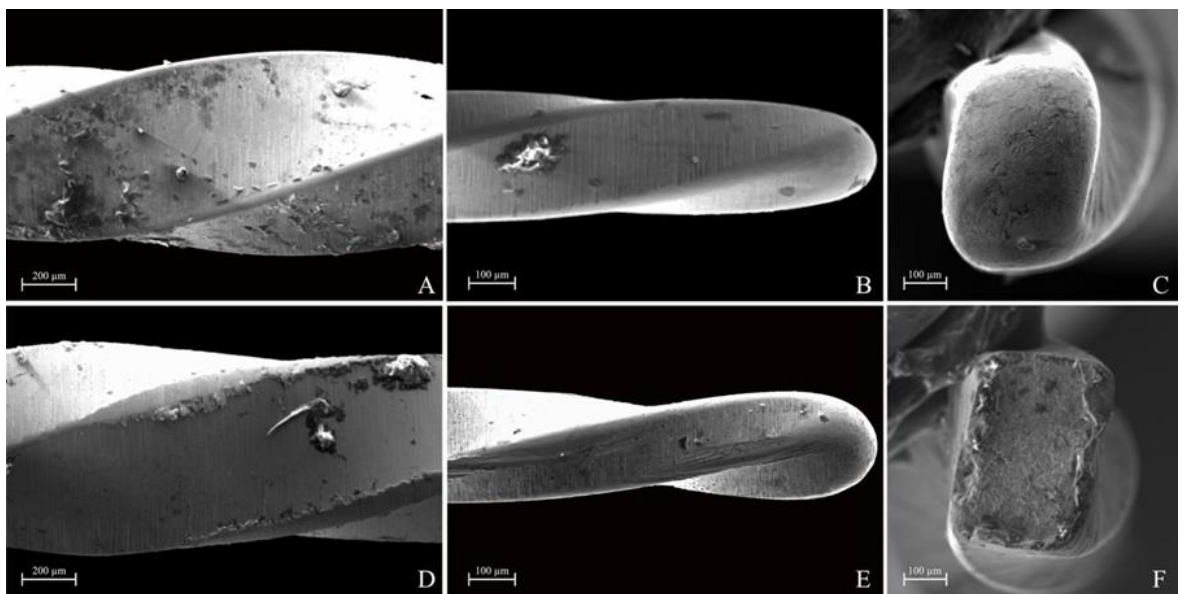


Figura 4. Descripción microscópica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) del instrumento Roll Wave Blue – RWB. (A) y (B) Parte activa y punta de instrumento nuevo. (C) Sección transversal de instrumento nuevo. (D) y (E) Parte activa y punta de instrumento usado. (F) Sección transversal del instrumento fracturado.

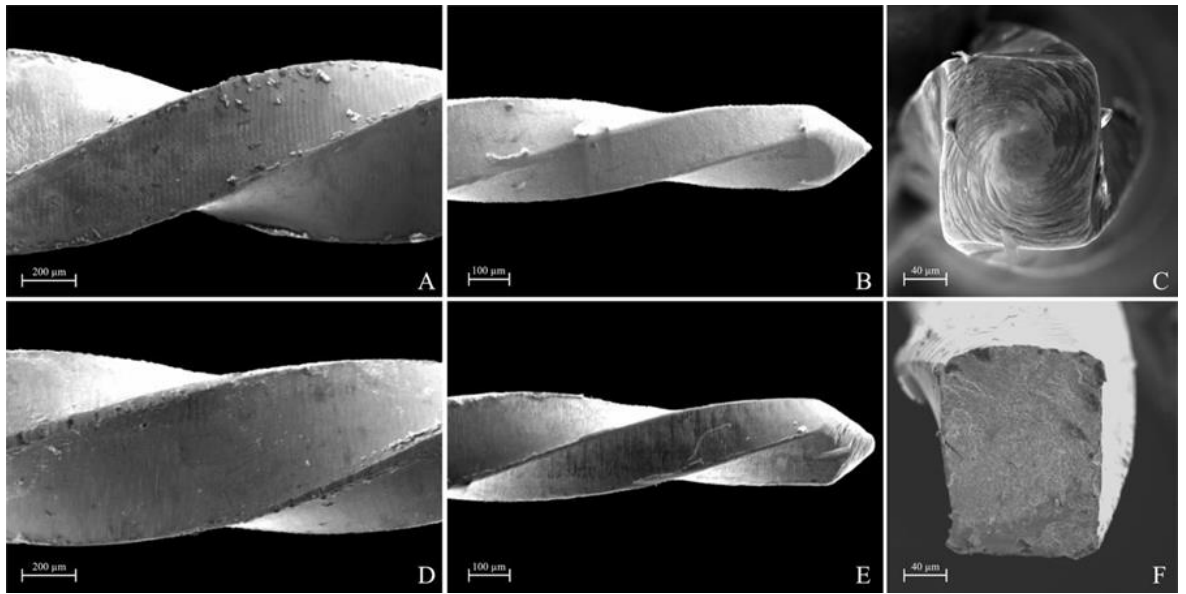
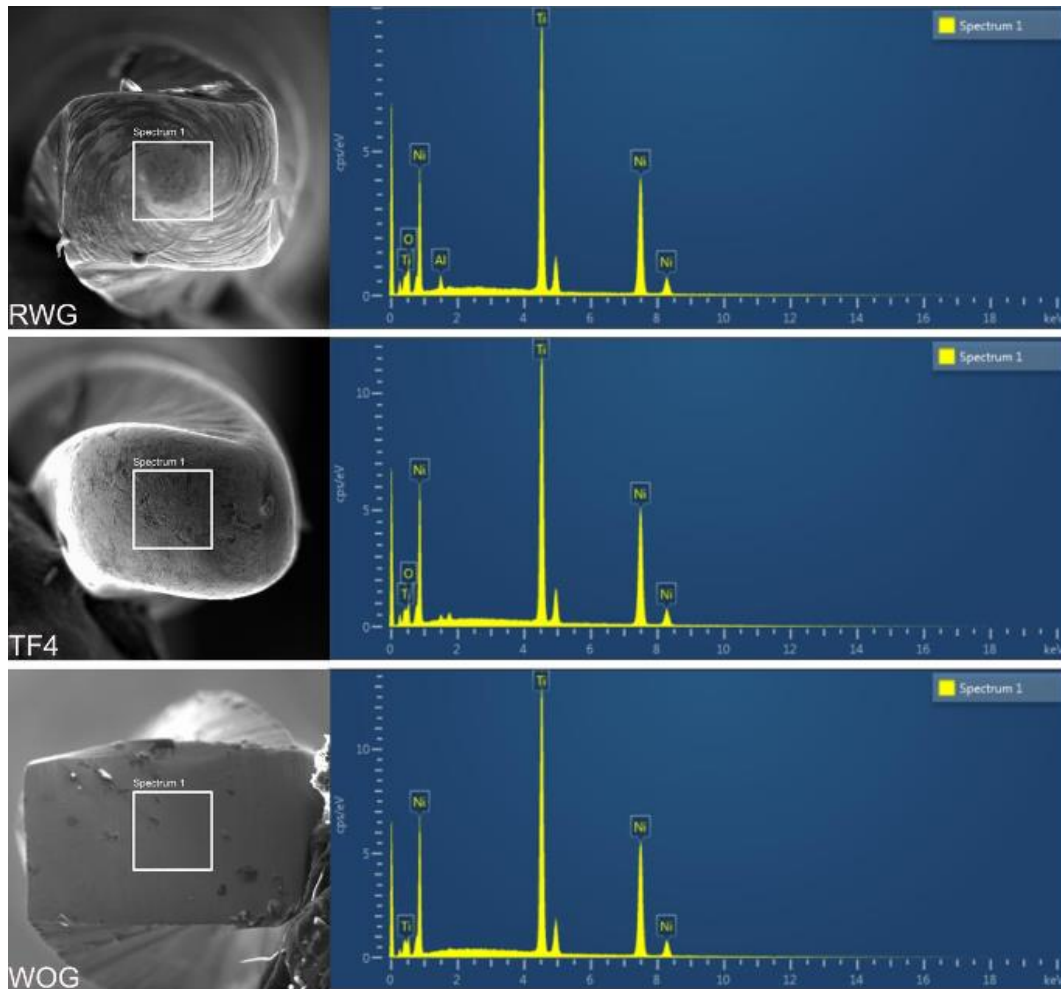


Figura 5. Descripción de composición mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDX) de los grupos Roll Wave Blue (RWB), TF4, WaveOne Gold (WOG). Ni: Níquel, Ti: Titanio, O: Oxígeno.



ANEXOS

ANEXO 1. Cuadro de operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPOS	ESCALA	VALORES
Sistema recíprocante	Instrumentos endodónticos de Ni-Ti que conforman el conducto radicular utilizando la cinemática recíprocante	Instrumentos endodónticos que serán colocados en un dispositivo artificial que presenta conductos simulados	Cualitativa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • WaveOne Gold • Roll Wave Blue • TF4
Fatiga cíclica	Proceso de debilitamiento y fractura de un instrumento endodóntico por tensión y compresión al girar dentro de un conducto curvo	Ruptura del instrumento endodóntico recíprocante en el dispositivo con conténia un conducto simulado	Cuantitativa	<p>Continua (para el Tiempo de fractura - TDF)</p> <p>Discreta (para el Número de ciclos hasta la fractura - NCF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • TDF: en segundos • NCF: usando la fórmula: rpm × tiempo en segundos) / 60.
Descripción macroscópica	Evaluación morfométrica, que permite observar características a simple vista, de forma directa.	Evaluación de la parte activa de los instrumentos por fotografía macro	Cualitativa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pitch</i> del instrumento • Punta del instrumento • Borde cortante del instrumento
Descripción microscópica	Evaluación estructural a través de un microscopio que permite observar características a escalas no visibles a simple vista.	Evaluación por microscopía electrónica de barrido (SEM) antes y después del uso.	Cualitativa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • Sección transversal del instrumento antes y después del uso • Parte activa del instrumento antes y después del uso • Punta del instrumento antes y después del uso
Descripción de composición	Identificación y cuantificación de la composición elemental de una muestra utilizando espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDX)	Evaluación de la composición de los elementos de los instrumentos recíprocantes por medio de EDX	Cuantitativa	Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje del peso atómico de un elemento en el instrumento recíprocante