

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Cambios superficiales de los sistemas WaveOne Gold® y Reciproc Blue®.

Revisión de literatura

Adriana Miryed Arboleda Gaviria

Edna Rocio Huertas Valens

Trabajo de grado para optar título de especialistas en endodoncia

Asesores científicos:

Dra. María Fernanda Serpa

Especialista en endodoncia

Dr. Javier Fernando Gutiérrez

Especialista en endodoncia

Asesor metodológico

Dr. Mauricio Jiménez

Odontólogo, Magister en Administración en Salud

Doctor en Salud Pública

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga

Facultad de odontología

Posgrado endodoncia extensión Bogotá

2020

Tabla de contenido

Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Justificación	8
2. Marco teórico	8
3. Objetivos	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. Método.	11
4.1 Tipo de estudio: Revisión de literatura	11
4.2 Selección y descripción de participantes población.	11
4.2.2 Criterios de selección.	11
4.3 Variables	12
4.5 Implicaciones bioéticas.	16
5. Resultados	17
6. Análisis bibliométrico	20
7. Discusión	21
8. Conclusiones	23
9. Recomendaciones	24
10. Referencias bibliográficas	25

Resumen

Recientemente se introdujeron en el mercado dos instrumentos NiTi con tratamiento térmico y movimiento recíprocante: Reciproc Blue (REB) (RPC Blue; VDW, Munich, Alemania) y WaveOne Gold (WOG) (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EE. UU). La fabricación e instrumentación de conductos radiculares ocasionan defectos superficiales en los instrumentos NiTi que se observan a través de Microscopía electrónica de barrido (SEM). El objetivo de esta investigación es determinar a través de una revisión de literatura los cambios superficiales que se asocian con cargas torsionales y cíclicas en las limas del sistema WaveOne Gold y Reciproc Blue posterior a la preparación de conductos artificiales observado en microscopia electrónica de barrido. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión de la literatura, utilizando vocabulario controlado (términos MESH) y palabras naturales asociadas a los términos de la pregunta problema, en las bases de datos: PubMed, LILACS, Cochrane, Scopus, Web of Science y el buscador Google Scholar. La búsqueda produjo un total de 2249 artículos, finalmente se realizó revisión completa de 9 artículos. **Resultados:** Únicamente dos de los nueve artículos incluidos en esta revisión, analizaron la superficie externa del instrumento. Encontraron microgrietas longitudinales a lo largo del eje de la lima, y distorsión en los surcos mecanizados en ambas limas, cuando fueron sometidas a cargas torsionales. 3 artículos evaluaron los sistemas WOG y REB, cuatro el sistema WOG y dos el sistema REB. Los estudios más recientes fueron publicados en el año 2019 (n=2), la mayor cantidad de artículos (n=3) están publicados en la revista International Endodontic Journal, clasificados en Quartil 1 (n=7) y como país de afiliación en Brasil (n=4). **Conclusión:** Los nueve artículos incluidos evaluaron bajo SEM el patrón de la fractura. Solo dos estudios observaron la superficie externa del instrumento, encontrando microgrietas longitudinales a lo largo del eje de la lima, y distorsión en los surcos mecanizados en la lima WOG y en REB, cuando fueron sometidas a cargas torsionales. No existe un consenso en cuanto a las definiciones de los cambios superficiales, lo que limita el análisis de estos. La mayoría de los estudios con publicación reciente, son de Brasil y Corea del Sur y fueron publicados en la revista International Endodontic Journal (Q1).

Palabras claves: revisión, NiTi, recíprocante, fractura, in vitro, carga torsional, carga cíclica

Abstract

Recently, two Niti instruments with heat treatment and reciprocal motion were introduced on the market: Reciproc Blue (REB) (RPC Blue; VDW, Munich, Germany) and WaveOne Gold (WOG) (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, U.S. USA). Manufacture and root canal instrumentation cause surface defects in Niti instruments that can be observed through Scanning Electron Microscopy (SEM). The aim of this research is to determine through a literature review, the surface changes associated with torsional and cyclic loads in the Waveone Gold and Reciproc Blue system files, after preparation of artificial canals observed under scanning electron microscopy. **Materials and Methods:** A literature review was performed, using controlled vocabulary (MESH terms) and natural words related to terms of the problem question on this databases: Pubmed, LILACS, Cochrane, Scopus and Web of Science and the Google Scholar search engine. The search result showed a total of 2249 articles, at the end only 9 articles were fully reviewed. **Results:** Only 2 of the 9 articles included in this review analyzed the external surface of the instrument. Longitudinal microcracks along the axis and distortion in the machined grooves were founded in both files, when they were subjected to torsional loads. 3 articles evaluated the WOG and REB systems, 4 the WOG system and 2 the REB system. The most recent studies were published in 2019 (n=2), the largest number of articles (n=3) are published in the International Endodontic Journal, classified in Quartil 1 (n=7) and Brazil as affiliation country (n=4). **Conclusion:** all the 9 included articles, evaluated the fracture pattern through SEM. Only 2 studies observed the external surface of the instrument, finding longitudinal microcracks along the file axis and distortion in the machined grooves in the WOG and REB files under torsional loads. There is no concensus about definition of superficial changes, which limits their analysis. Most of the recently published studies are from Brazil and South Korea, and were published in the International Endodontic Journal (Q1).

Keywords: revision, NiTi, reciprocating, fracture, in vitro, torsional load, cyclical load

1. Introducción

Diferentes estudios (1-4) han reportado que los instrumentos fabricados en aleación de níquel titanio (NiTi) son más flexibles y tienen mayor resistencia a la fractura torsional y cíclica cuando se comparan con instrumentos de acero inoxidable. Las mejoras tecnológicas de los instrumentos NiTi, los nuevos diseños, procesos de fabricación y diferentes cinemáticas extienden la vida útil de los instrumentos, disminuyen la incidencia de fracturas y permiten preparaciones del conducto más fáciles y rápidas (5). Estas modificaciones en los instrumentos incluyen el movimiento recíprocante (también conocido como alternativo), el cual se ha definido como un movimiento repetitivo en sentido horario-antihorario o antihorario-horario que es usado clínicamente desde 1958; los estudios(6-11) han mostrado que el uso de este movimiento extiende la vida útil de los instrumentos NiTi debido al menor efecto de atornillamiento y la disminución del estrés mecánico que conllevará a menor riesgo de fractura por fatiga (8); adicionalmente da como resultado que el instrumento experimente menos rotaciones completas y ciclos de compresión-tensión durante la preparación de un conducto curvo (8,12).

Recientemente se introdujeron en el mercado dos instrumentos NiTi con tratamiento térmico y movimiento recíprocante: Reciproc Blue (REB) (RPC Blue; VDW, Munich, Alemania) y WaveOne Gold (WOG) (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EE. UU). El sistema Reciproc Blue presenta una sección transversal en forma de “S”, un tratamiento térmico de calentamiento y enfriamiento que deja una capa de óxido de titanio sobre la superficie, permitiendo a la aleación tener presencia de fase martensita en estado de reposo, aumentando la resistencia a la fatiga cíclica y flexibilidad. El movimiento en sentido antihorario es 150° y en sentido horario 30°, el cual protege de ángulos de distorsión superiores y mantiene el instrumento por debajo de su límite pseudoelástico, al tiempo que extiende su vida útil y eficiencia clínica (11). El sistema WaveOne Gold es fabricado con un nuevo tratamiento térmico de calentamiento y enfriamiento llamado Gold, que crea un precipitado de Ti_3Ni_4 en la superficie e induce mayor transformación a fase martensítica aumentando la flexibilidad, presenta sección transversal en forma de paralelogramo con dos hojas de corte 85° que mejoran la capacidad de corte y eliminación de detritus, el movimiento en sentido antihorario es 170° y en sentido horario 50° (8, 9, 13).

Durante su fabricación, las limas NiTi son maquinadas y esto da como resultado imperfecciones en su superficie; Mohsen y col. (14) reportaron que estos defectos de superficie pueden disminuir la eficiencia de corte aumentando el riesgo de fractura; dichos defectos pueden aumentar o aparecer nuevos defectos con el uso repetitivo de la lima. Las alteraciones superficiales de los instrumentos NiTi pueden observarse a través de una microscopía electrónica de barrido (SEM), la cual, ofrece imágenes de alta resolución y permite la caracterización de las estructuras topográficas que aparecen en las superficies de las limas ya sean producto de su fabricación o de su uso (15). Se han reportado defectos superficiales observados a través de SEM antes y después del uso, tales como, microfisuras, deformación de estrías, cráteres, bordes romos, punta deformada, presencia de barrillo dentinario y fractura (1).

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

Durante la instrumentación de los conductos radiculares, las limas NiTi sufren dos tipos de carga: cíclica en la cual el instrumento es sometido a ciclos repetidos de tensión y compresión durante la preparación de conductos curvos. La segunda es la torsional la cual ocurre de dos formas: carga dinámica que resulta de la fuerza de fricción causada por la resistencia de la dentina al corte de la lima y la carga estática que se produce durante la preparación del conducto cuando la punta se atasca y el vástago sigue rotando (1-7), estas cargas pueden llevar a una fatiga torsional o cíclica que ocasionaran una fractura del instrumento (16).

Debido a que los cambios superficiales pueden influir en la resistencia a la fractura de los instrumentos NiTi, nos planteamos la siguiente pregunta de investigación ¿Qué cambios superficiales generan las cargas cíclicas y torsionales en las limas NiTi waveOne Gold y Reciproc Blue? Para responder esta pregunta en el presente trabajo se plantea como objetivo determinar a través de una revisión de literatura los cambios superficiales que se asocian con cargas torsionales y cíclicas en las limas del sistema Wave One Gold y Reciproc blue posterior a la preparación de conductos artificiales observado en microscopía electrónica de barrido.

1.1 Planteamiento del problema

Los instrumentos NiTi presentan defectos superficiales atribuidos al proceso de maquinado durante su fabricación (14). Estos defectos pueden ser observados a través de una microscopia electrónica de barrido (SEM) ya que esta nos brinda imágenes de alta resolución (15). Se ha demostrado que dichos defectos superficiales alteran la vida útil, ya que, durante la preparación de un conducto, el instrumento es sometido a cargas cíclicas y torsionales, las cuales, hacen que se aumenten o aparezcan nuevas imperfecciones que conducen a una fractura (14).

La fatiga cíclica se produce cuando el instrumento es sometido a ciclos repetidos de tensión y compresión durante la preparación de conductos radiculares curvos. La fatiga torsional ocurre de dos formas: fatiga dinámica que resulta de la fuerza de fricción causada por resistencia de la dentina al corte de la lima y la fatiga estática que se produce durante la preparación del conducto cuando la punta se atasca y el vástago sigue rotando (1,17).

Los estudios han evaluado estos defectos superficiales a través de SEM observando bordes romos, microfisuras, cráteres, presencia de barrillo dentinario, marcas de abrasión concéntricas, hoyos(1), y coinciden con que estos alteran la vida útil de las limas, sin embargo, en la literatura no se evidencia la importancia y la definición de cada defecto superficial, lo cual es importante conocerlo ya que permite al clínico llevarlo a la práctica diaria y mejorar el rendimiento de estos instrumentos cuando se está preparando un conducto radicular.

Pregunta problema

¿Qué cambios superficiales generan las cargas cíclicas y torsionales en las limas NiTi waveOne Gold y Reciproc Blue?

1.2 Justificación

La fabricación de los instrumentos endodónticos NiTi es compleja, su maquinado ocasiona imperfecciones de la superficie que pueden reducir la eficiencia de corte y aumentar la posibilidad de fractura (3). Los fabricantes recomiendan un solo uso del instrumento para evitar la contaminación cruzada y prevenir la fractura (1). La realidad de la práctica clínica es que son usadas un mayor número de veces, debido a su alto costo en comparación con las limas manuales convencionales de acero inoxidable.

A pesar de un adecuado uso durante la instrumentación y la flexibilidad de las aleaciones NiTi, estos instrumentos mantienen un riesgo de fractura sin observarse alteraciones visibles, por lo que es recomendable hacer una exploración magnificada con microscopio antes y después del uso. Aunque es imposible anticiparse a la separación de un instrumento rotatorio, si se observa con microscopio se pueden hallar indicios, aunque no definitivos, de una futura fractura.

La fractura de los instrumentos rotativos se ha atribuido a fatiga torsional y fatiga cíclica (16). Por lo tanto es necesario conocer los cambios superficiales que se generan en las limas NiTi, cuando son sometidas a estas cargas.

La calidad en la superficie de corte de las limas rotatorias NiTi después de varios usos, en la actualidad sigue siendo de mucho interés clínico, por tanto, es importante examinar las limas antes y después del proceso de instrumentación, es esencial para comprender los cambios superficiales que se producen antes que el instrumento falle. Esto ayudara en la selección y aplicación durante el tratamiento del conducto radicular y proporciona ideas para el uso clínico intentando reducir el riesgo de fractura del instrumento.

2. Marco teórico

2.1 Historia.

La aleación de níquel-titanio fue desarrollada a principios de la década de los sesenta por W.E Buchler, un ingeniero metalúrgico del Naval Ordnance Laboratory, en Silverspring, Maryland, Estados Unidos. Esta aleación se denominó Nitinol, un acrónimo de los elementos que la conforman; ni de níquel, ti de titanio y nol por Naval Ordnance Laboratory. Nitinol es el nombre que recibe una familia de aleaciones intermetálicas de níquel-titanio que se ha visto tienen propiedades únicas de memoria de forma y superelasticidad, además de propiedades mecánicas superiores, alta resistencia a la corrosión. (14)

2.1.2 Microscopia electrónica de barrido.

La microscopia electrónica de barrido (SEM) es una técnica de análisis superficial, que consiste en enfocar sobre una muestra electrodensa (opaca a los electrones) un fino haz de electrones acelerado con energías de excitación desde 0,1 kv hasta 30 kv. El haz de electrones se desplaza sobre la superficie de la muestra realizando un barrido que obedece a una trayectoria de líneas paralelas. La variación morfológica de la muestra entrega diversas señales (electrones secundarios, electrones retro dispersados, emisión de rayos X etc.) que son recogidas por distintos detectores; los cuáles permiten la observación, caracterización y microanálisis superficial tanto orgánicos como inorgánicos. (18)

La microscopia electrónica de barrido (SEM) ofrece imágenes de alta resolución y permite la caracterización de las estructuras topográficas que aparecen en las superficies de las limas, como grietas, fisuras, hoyos, aplanamiento de la hoja de corte y restos metálicos, sin afectar las propiedades físicas del metal (19)

2.1.3 Limas Wave One Gold®

El sistema de limas Wave One Gold® (WOG) está disponible en el mercado en envases tipo blíster pre-esterilizadas y listas para su uso, conformada por cuatro instrumentos: pequeña, primaria, mediana y grande con anillos de identificación de colores en el mango, respectivamente, amarillo, rojo, verde y blanco. Su movimiento es reciprocante y están disponibles en longitudes de 21, 25 y 31mm y tienen un mango de 11mm, presentan conicidad variable. En su presentación maneja un tope de silicona y un anillo de color en el mango que coincide con la norma ISO. La longitud en su parte activa es de 16mm. La lima primaria tiene un tope y un anillo de color rojo en el mango que indica que en su punta el diámetro es de 25 y su conicidad es del 7% en los 3mm apicales.

Wave One Gold® tiene un tratamiento térmico posterior a su fabricación, denominado “Gold”, el cual es un proceso especial que se realiza en presencia de oxígeno. Presenta un ángulo helicoidal constante de 24° este le permite a la lima ser más resistente a la fractura y con su movimiento reciprocante disminuye el efecto de atornillamiento dentro del conducto. Tiene una sección transversal de paralelogramo la cual no tiene contactos con todas las paredes del conducto durante la instrumentación disminuyendo la fricción y el riesgo de fractura. La aleación “Gold” reduce la fuerza del instrumento contra la pared del conducto, minimizando el transporte radicular(1).

2.1.4 Limas Reciproc Blue®

El sistema de limas Reciproc Blue está disponible en el mercado en envases tipo blíster pre-esterilizadas y listas para su uso, conformada por tres instrumentos R25, R40 Y R50, están disponibles en longitudes de 21, 25 y 31mm, su movimiento es reciprocante, presenta sección transversal en forma de S, su nuevo tratamiento térmico Blue, es un método especial de calentamiento y enfriamiento que da como resultado instrumentos con un color azul debido a una capa de óxido de titanio. Este tratamiento reduce la aleación con memoria de forma del

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

NiTi e induce la aparición de la transformación martensítica en dos fases, aumentando la resistencia a la fatiga cíclica y la flexibilidad. (8)

Reciproc Blue presenta 170 ° en sentido antihorario y 50 ° en sentido horario, Esos movimientos fueron diseñados para proteger contra ángulos de distorsión superiores y mantener el instrumento por debajo de su límite pseudoelástico al tiempo que extiende su vida útil y eficiencia clínica.(13)

2.1.5 Conductos simulados en bloques de resina.

En 1975, Weine et al. introdujeron los bloques de resina de conductos simulados para superar las variaciones en la forma del conducto de los dientes extraídos antes de la preparación. Desde entonces, muchos estudios de instrumentación se han realizado en conductos simulados en bloques de resina (RSCs). Las ventajas de los RSCs incluyen la posibilidad de estandarizar la forma, la curvatura y la dimensión del conducto, y el hecho de que no hay problemas por control de infección. El conducto puede ser colado en resina transparente de modo que la instrumentación puede ser visualizada directamente. Por estas razones, los CSRs se utilizan con frecuencia como herramientas de enseñanza y modelos de investigación. La validez del uso de los RSCs como sustitutos de dientes humanos extraídos, fue verificado por Lim y Webbe. (20)

2.1.6 Cambios superficiales

Diferentes estudios (1,4,7,14,18) han demostrado que los instrumentos NiTi presentan defectos superficiales atribuidos al proceso de maquinado durante su fabricación. Mohsen 2018 evaluó los cambios superficiales de las limas reciprocantes, reportando la dificultad de hacer instrumentos libres de defectos de maquinado (14) Los cambios superficiales son observados a través de microscopia electrónica de barrido (SEM); comúnmente se han reportado en los diferentes estudios cambios superficiales tales como: bordes romos, microfisuras, cráteres, presencia de barrillo dentinario, marcas de abrasión concéntricas, hoyos (1). Es importante resaltar que la presencia de imperfecciones encontradas en los instrumentos NiTi nuevos pueden contribuir al deterioro del instrumento o llevar a mayores defectos, afectando la vida útil ya que aumenta la probabilidad de fractura al ser sometidos a cargas cíclicas y torsionales durante la instrumentación de conducto radicular (4). Según Sobotkiewicz 2020 el 66-93% de las fracturas de la lima rotatoria se debieron a falla por fatiga cíclica, mientras que el 7-34% se debió a falla por fatiga torsional (12).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar a través de una revisión de literatura los cambios superficiales que se asocian con cargas torsionales y cíclicas en las limas del sistema Wave One Gold y Reciproc Blue posterior a la preparación de conductos artificiales observado en microscopía electrónica de barrido.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los cambios superficiales que generan las cargas cíclicas en los sistemas Wave One Gold y Reciproc Blue.
- Identificar los cambios superficiales que generan las cargas torsionales en los sistemas Wave One Gold y Reciproc Blue.
- Establecer un análisis bibliométrico para determinar la calidad del artículo y la revista donde fueron publicados.

4. Método.

4.1 Tipo de estudio: Revisión de literatura

4.2 Selección y descripción de participantes población.

4.2.1 Población: Todos los artículos indexados en las bases de datos PubMed, Lilacs, Latindex, Scielo, Cochrane, Scopus, Web of Science y el buscador Google Scholar entre los años 2015 a 2020

4.2.2 Criterios de selección.

Criterios de inclusión: estudios en inglés y español publicados a partir del año 2015, que presenten alta calificación de Q1 a Q4, donde su objetivo de estudio sean las limas del sistema WaveOne Gold y del sistema Reciproc Blue con pruebas realizadas en conductos simulados, estudios experimentales in vitro, meta análisis y revisiones sistemáticas. Se excluyeron estudios realizados en dientes naturales, estudios de reporte de caso y cartas editoriales.

Criterios de exclusión: estudios realizados en dientes naturales, estudios de reporte de caso y cartas editoriales.

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

4.3 Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	NATURALEZA	ESCALA DE MEDICIÓN	VALORES QUE ASUME
FUENTE	Sitio donde fue publicado el artículo	Sitio de publicación	Cualitativa	Nominal	International endodontic Journal Clinical Oral Investigations Journal Of endodontics Materials European journal of dentistry
QUARTIL	Mide la clasificación de la revista dentro de todo el conjunto de las revistas del área	Cantidad de citas por año	Cualitativa	Ordinal	Q1 Q2 Q3 Q4
ÍNDICE H	Mide la revista de acuerdo a la coincidencia entre cantidad de publicaciones con cantidad de citas de cada publicación	Cantidad de publicaciones con cantidad de citas	Cuantitativa	De Razón	De 1 en adelante
ÍNDICE SJR	Factor de medición que establece calidad de publicaciones científicas, basándose en el recuento de citas	Cantidad de citas	Cuantitativa	De razón	De 0.01 en adelante
AÑO DE PUBLICACIÓN	Fecha cuando fue publicado el artículo	Fecha de publicación	Cualitativa	Ordinal	2015 al 2020
NÚMERO DE CITAS	Cantidad de veces que se ha citado el artículo	Cantidad de citas	Cuantitativa	De razón	De cero en adelante
CAMBIOS SUPERFICIALES	Alteraciones que se aprecian en la lima	Cambios microscópicos visibles en la parte activa	Cualitativa	Nominal	Microcracks Grietas ,Hoyos Marcas de abrasión concéntricas Estrías
FATIGA CÍCLICA	Ciclos repetidos de tensión y compresión durante la instrumentación	Número de segundos que tarda en fracturarse	cuantitativa	De razón	De 1 segundo en adelante
FATIGA TORSIONAL	Fuerza de fricción causada por la resistencia de la dentina al corte de la lima y punta atascada mientras que el vástago sigue rotando	Cantidad de fuerza de torque requerido para fracturarse	Cuantitativa	De razón	De 1 NW en adelante

Figura 1. Operacionalización de variables

4. 4 Procedimiento

La búsqueda en esta revisión de literatura, se realizó utilizando vocabulario controlado (términos MESH) y palabras naturales asociadas a los términos de la pregunta problema. Las palabras naturales fueron seleccionadas de 60 artículos, Las cuales fueron: “WaveOne Gold”, “Reciproc Blue“, “metallurgy”, “scanning electron microscopy”, “cyclic fatigue”, “torsional fatigue” y “Surface Changes”. Las bases de datos consultadas fueron: PubMed, Lilacs, Latindex, Scielo, Cochrane, Scopus , Web of Science y el buscador Google Scholar. En la estrategia de búsqueda, el término usado fue WaveOne Gold OR Wave One Gold y Reciproc Blue. Siempre se utilizaron comillas en ambas palabras, y el conector AND, excepto en Google Scholar (Tabla 1). Las bases de datos Latindex y Scielo fueron descartadas debido a que las búsquedas siempre arrojaron cero.

Los criterios de inclusión fueron: estudios en inglés y español publicados a partir del año 2015, que presenten alta calificación de Q1 a Q4 , donde su objetivo de estudio sean las limas del sistema WaveOne Gold y del sistema Reciproc Blue con pruebas realizadas en conductos simulados, estudios experimentales in vitro, meta análisis y revisiones sistemáticas. Se excluyeron estudios realizados en dientes naturales, estudios de reporte de caso y cartas editoriales.

La búsqueda produjo un total de 2249 artículos, de los cuales 1495 fueron excluidos por ser duplicados, quedando 754 artículos, se excluyen 700 teniendo en cuenta que el título era irrelevante al tema de investigación quedaron 54 artículos a los que se realizó revisión de resumen y se descartaron 45 por no cumplir con los criterios de inclusión y exclusión, finalmente se realizó revisión completa de 9 artículos, como se explica en el diagrama de flujo (figura 2).

Para realizar análisis se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: título del estudio, autores del estudio, año de publicación, tamaño de la muestra, instrumento estudiado, resistencia a fatiga cíclica, resistencia a fatiga torsional, SEM de fatiga cíclica, SEM de fatiga torsional, afiliación y número de citas. En cuanto a la revista: se tuvo en cuenta la fuente, cuartil, índice H, e índice SJR, para realizar análisis bibliométrico (Tabla 2 y tabla 3).

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

Tabla 1. Estrategia de búsqueda adoptada para usar en las bases de dato seleccionadas.

PALABRAS CLAVES	Googe scholar	Pub med	Lilacs	Cochr ane	Escop us	Web of Science
"Waveone Gold" AND "metallurgy"	177	0	0	0	0	0
"Waveone Gold" AND "scanning electron microscopy"	278	9	0	0	11	8
"Waveone Gold" AND "cyclic fatigue"	670	40	1	2	40	72
"Waveone Gold" AND "torsional fatigue"	182	2	0	0	0	2
"Waveone Gold" AND "surface changes"	14	0	0	0	0	0
"Reciproc Blue" AND "metallurgy"	75	1	0	0	2	0
"Reciproc Blue" AND "scanning electron microscopy"	123	7	0	0	9	5
"Reciproc Blue" AND "cyclic fatigue"	307	23	0	0	25	48
"Reciproc Blue" AND "torsional fatigue"	100	2	0	0	2	2
"Reciproc Blue" AND "surface changes"	10	0	0	0	0	0
	1936	84	1	2	9	137

Nota: Términos de búsqueda.

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

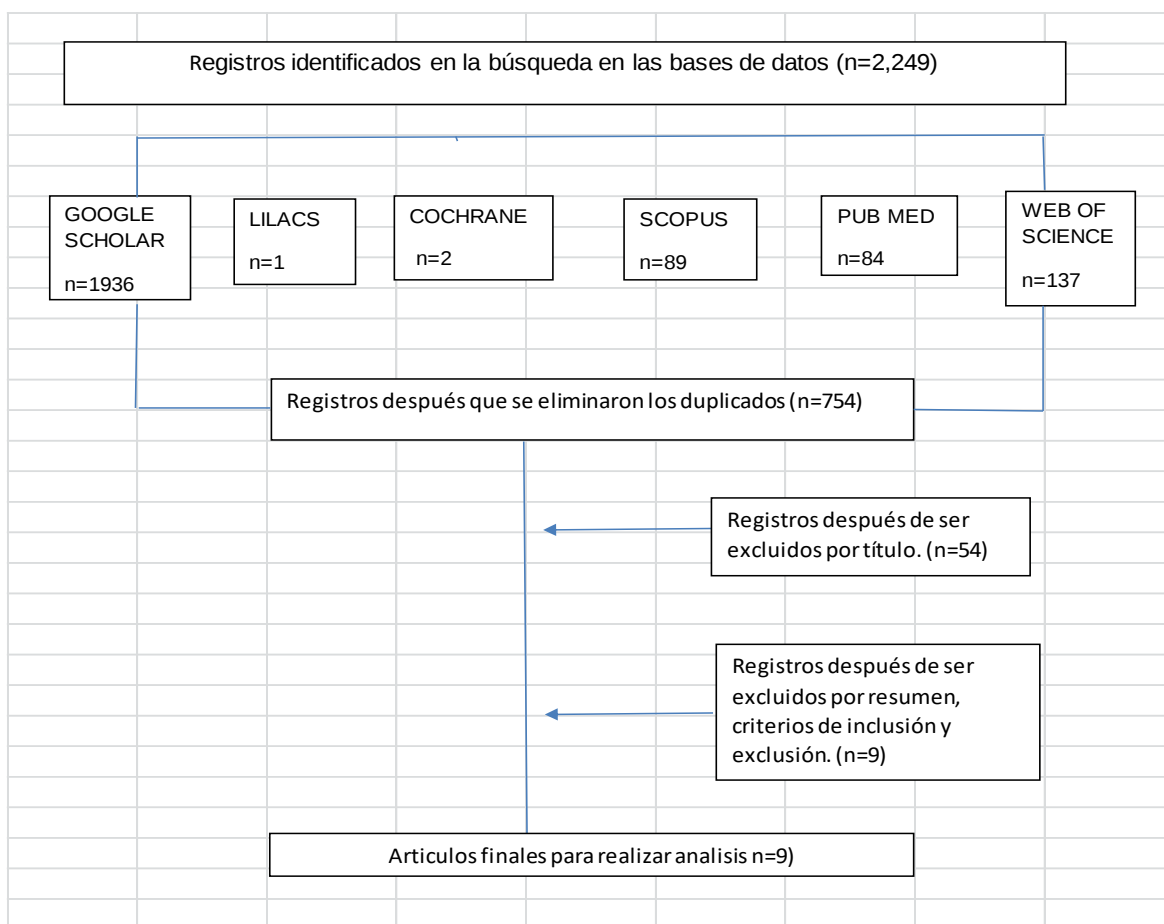


Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda de literatura

Tabla 2. *Título de los artículos finales para realizar análisis (n=9)*

TÍTULO DEL ARTÍCULO	
1	Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted file adaptive instruments
2	Influence of different angles of file access on cyclic fatigue resistance of Reciproc and Reciproc Blue instruments
3	Comparison of cyclic fatigue resistance of 5 heat-treated nickel-titanium reciprocating systems in canals with single and double curvatures
4	Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instrument
5	Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments
6	Effect of interrupted motion on the cyclic fatigue resistance of reciprocating nickel-titanium instrument
7	Bending resistance and cyclic fatigue life of a new single-file reciprocating instrument WaveOne Gold
8	Torsional behavior of WaveOne Gold endodontic file with the dedicated motor of the original WaveOne file
9	Safe pseudo-elastic limit range under torsional loading with Reciproc Blue

4.5 Implicaciones bioéticas.

Según el artículo 11 de la Resolución 8430 1993, esta investigación se clasifica como sin riesgo, porque es una investigación de tipo documental.

5. Resultados

Tabla 3. Descripción de los artículos finales para realizar análisis (n=9)

ESTUDIO	FUENTE	AÑO DE PUBLICACION	AFILIACIÓN	NUMERO DE CITAS DEL ESTUDIO	QUARTIL	ÍNDICE H	ÍNDICE SJR	TAMAÑO DE MUESTRA	INSTRUMENTO ESTUDIADO	RESISTENCIA FATIGA CÍCLICA	RESISTENCIA FATIGA TORSIONAL	SEM- FATIGA CÍCLICA	SEM- FATIGA TORSIONAL
1	Elsaka, S.E., Elnaghy, A.M., Badr, A.E.	2017	Mansoura University	33	Q1	107	2.15 (2017)	n =60limas (3 grupos)	Waveone Gold	No se evaluó	3.18 ± 0.25 N.cm > resistencia fatiga torsional para WOG cuando se comparó con Reciproc y Twisted File Adaptive	no se realizo	Hoyos cerca al centro de rotación y ranuras de abrasión concéntricas.
2	Pedullà, E., La Rosa, G.R.M., Boninelli, S., (...), Rapisarda, E., Kim, H.-C.	2018	Pusan National University Università degli Studi di Catania	5	Q1	131	1.82 (2018)	n= 120, limas (8 grupos)	Reciproc Blue	288.2 segundos > resistencia fatiga cíclica para REB, cuando se comparó con Reciproc	No se evaluó	Áreas de iniciación de la grieta simples o múltiples, y hoyos en los fragmentos de fractura.	No se realizo
3	Al-Obaida, M.I., Merdadi, K., Alanazi, M.S., (...), Alkhamis, A.A., Al-Mad	2019	Al Safeer Dental Polyclinic King Abdulaziz University King Saud University	3	Q1	131	1.82 (2018)	n=120 limas (5 grupos)	Waveone Gold Reciproc Blue	167.67segundos 421.92segundos >resistencia fatiga cíclica para REB	No se avaluó	Se observaron grietas en uno o más puntos, estrías y hoyos en la superficie fracturada	No se realizo

Nota: Descripción de los artículos

Tabla 3. Continuación

ESTUDIO	FUENTE	AÑO DE PUBLICACION	AFILIACIÓN	NUMERO DE CITAS DEL ESTUDIO	QUARTIL	ÍNDICE H	ÍNDICE SJR	TAMAÑO DE MUESTRA	INSTRUMENTO ESTUDIADO	RESISTENCIA FATIGA CICLICA	RESISTENCIA FATIGA TORSIONAL	SEM- FATIGA CICLICA	SEM- FATIGA TORSIONAL	
4	Nogueira, E.J.N.L., Silva Vieira, V.T.L., Heksher, F., (...), dos Santos Antunes, H., Moreira, E.J.L.	Clinical Oral Investigations	2018	Grande Rio University UNIGRANRIO	14	Q1	69	0,99 (2018)	n=60 limas (3 grupos)	Waveone Gold Reciproc Blue	149±15segundos 211±30segundos >Resistencia a fatiga cíclica para REB	1.4±0.1torqueN.cm 1.9±0.1torqueN.cm >resistencia a fatiga torsional para REB	Se observó el inicio de la grietas en la superficie fracturada	marcas de abrasión concéntrica y microcavidades en el centro de rotación
5	Alcalde, Duarte, Bramante, Carvalho de Vasconselos, Tanomaru-Filho, Guerreiro-Tanomaru, Pinto, Reis Só.	Clinical Oral Investigations	2017	Bauru Dental School, University of São Paulo Federal University of Ceará, Campus Sobral Araraquara Dental School, São Paulo State University Federal University of Rio Grande do Sul, Paulo	24	Q1	69	0,98 (2017)	n=60 limas (3 grupos)	Waveone Gold Reciproc Blue	409.3 segundos 876.5 segundos > resistencia fatiga cíclica para REB	1.230 torqueN.cm 1.380 torqueN.cm >resistencia fatiga torsional para REB	crack y hoyos extendidos sobre la superficie fracturada en ambos instrumentos	abrasión concéntricas y hoyos cerca del centro de rotación, en ambos instrumentos
6	Keskin, C., Inan, U., Demiral, M.	International Endodontic Journal	2018	Cekmekoy Oral and Dental Health Center Ondokuz Mayıs Üniversitesi	8	Q1	107	2.15 (2018)	n=162 limas (3 grupos)	Waveone Gold	303.62±5.26 seg. >resistencia fatiga cíclica para Waveone Gold Cuando se comparó con Wave one y Reciproc	No se evaluó	grietas y estrías de fatiga en la superficie de fractura	No se realizo

Nota: Descripción de los artículos

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

Tabla 3. Continuación

ESTUDIO	FUENTE	AÑO DE PUBLICACION	AFILIACIÓN	NUMERO DE CITAS DEL ESTUDIO	QUARTIL	ÍNDICE H	ÍNDICE SJR	TAMAÑO DE MUESTRA	INSTRUMENTO ESTUDIADO	RESISTENCIA FATIGA CÍCLICA	RESISTENCIA FATIGA TORSIONAL	SEM- FATIGA CÍCLICA	SEM- FATIGA TORSIONAL	
7	Silva, Tinoco, Barretto Tinoco, Vieira, Pereira Lopes	European Journal of Dentistry	2016	Universidade do Rio de Janeiro State University	5	Q2	22	0.62 (2016)	n=60 limas (3 grupos)	WaveOne Gold	92.2 ± 4.6 seg. < resistencia fatiga cíclica para WOG cuando se comparó con Wave One y Reciproc	No se evaluó	Inicio de grietas hasta la zona de estrés por sobre carga y microcavidades en superficie de fractura	No se realizo
8	Ha, J.-H., Sigurdson, A., DeDeus, G.,(...), Kwak, S.W., Kim, H.-C.	Materials	2018	Universidade Federal Fluminense University of Tennessee HealthScience Center Pusan NationalUniversity KyungpookNationalUniversity New York University.	0	Q2	83	0.69 (2018)	n=30 limas (2 grupos)	Waveone Gold	No se evaluó	1.39 ± 0.24 N.cm >resistencia fatiga torsional para WOG, cuando se comparó con Wave On	No realizo	Microgrietas longitudinales que corren a lo largo del eje de la lima, distorsión en los surcos mecanizados. Marcas de abrasión concéntricas y hoyos fibrosos en la superficie fracturada.
9	JH Ha, G De-Deus, A Versluis, SW Kwak, H-C Kim	International Endodontic Journal	2019	School of Dentistry, Kyungpook National University College of Dentistry, Universidade Federal Fluminense College of Dentistry, University.	5	Q1	107	2.15 (2018)	n=60 limas (2 grupos)	Reciproc Blue	No se evaluó	1.57 ± 0.21. N.cm < resistencia a fatiga torsional para REB, cuando se compara con Reciproc	No realizo	Microgrietas longitudinales a lo largo del eje de la lima, ranuras mecanizadas distorsionadas, marcas de abrasión concéntricas y hoyos fibrosos desde el centro torsional.

Nota: Descripción de los artículos

6. Análisis bibliométrico

De los nueve artículos seleccionados, tres evaluaron las limas WaveOne Gold y Reciproc Blue, cuatro limas WaveOne Gold y dos la lima Reciproc Blue. El mayor número de citas con 33 fue para el estudio de Elaska y col, y el menor número de citas fue cero para el estudio de Ha, J.-H y col. Los dos estudios más recientes fueron publicados en el año 2019, y el estudio más antiguo fue Publicado en el año 2016. Siete estudios están publicados en revistas Q1, y dos estudios en revistas Q2. Teniendo en cuenta la fuente, la mayor cantidad de artículos (n=3) están publicados en la revista International Endodontic Journal (Tabla 4). En promedio el índice SJR fue de 1.48, siendo mayor para la revista International Endodontic Journal con 2.15 en el año 2018 y el más bajo con 0.62 en el año 2016 para la revista European Journal of Dentistry. El promedio del índice H fue de 91.7, siendo mayor para la revista International Endodontic Journal, con 107 y el índice H menor con 22 es para la revista European Journal of Dentistry. (Tabla 3)

Tabla 4. Características bibliométricas

Característica	n	porcentaje %
Año de publicación		
2019	2	22%
2018	4	44%
2017	2	22%
2016	1	11%
Fuente		
International endodontic journal	3	33%
Clinical oral investigations	2	22%
Journal of endodontics	2	22%
Materials	1	11%
European journal of dentistry	1	11%
Quartil		
Q1	7	77%
Q2	2	22%
País de afiliación		
Brasil	4	44%
Corea del sur	2	22%
Egipto	1	11%
Turquía	1	11%
Arabia Saudita	1	11%

7. Discusión

El objetivo del estudio fue determinar a través de una revisión de literatura los cambios superficiales que se asocian con cargas torsionales y cíclicas en las limas del sistema WaveOne Gold y Reciproc Blue posterior a la preparación de conductos artificiales observado en microscopía electrónica de barrido. Para esto se tuvieron en cuenta palabras claves con vocabulario controlado términos (MESH); cabe resaltar que los términos Wave One Gold OR WaveOne Gold, Reciproc Blue, cyclic fatigue y torsional fatigue no son términos MESH, pero fueron necesarios para realizar la estrategia de búsqueda, por lo cual se sugiere actualizar los términos MESH para aumentar la eficacia de las estrategias de búsqueda y poder definir las de una manera más exacta. Para realizar la búsqueda se consultaron las bases de datos PubMed, LILACS, Latindex, Scielo, Cochrane, Scopus, Web of Science, e incluso el buscador Google Scholar (tabla 1), sin embargo, los resultados fueron pocos e incluso en Latindex, y Scielo arrojaron cero.

Después de revisar los criterios de inclusión y exclusión, quedaron 11 artículos y se descartaron dos, debido a que el objeto de estudio eran las limas Wave One Gold glider, las cuales se utilizan para realizar pre- ensanchamiento. A los nueve artículos seleccionados se le realizó un análisis bibliométrico para determinar la calidad del artículo y la revista donde fueron publicados (tabla 4). En esta revisión todos los estudios fueron experimentales in vitro, por lo tanto no se pudo realizar el análisis de sesgo de Cochrane, porque los errores de sesgos están enfocados a estudios in vivo.

En cinco artículos (5,10-12, 21) las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) del segmento fracturado del instrumento mostraron patrones similares de fatiga torsional y cuatro artículos (8, 9, 16, 22) de fatiga cíclica (tabla 3). Los cambios superficiales de fatiga torsional observados en el fragmento fracturado del instrumento fueron microcavidades cerca al núcleo interno (centro de rotación), ranuras de abrasión concéntricas, y hoyos; por fatiga cíclica, en los fragmentos fracturados se observaron áreas de iniciación de la grieta simples o múltiples, estrías y cracks. Los nueve artículos evaluaron bajo SEM el patrón de la fractura. Cabe resaltar que solo dos artículos (11,13) observaron la superficie externa del instrumento, encontrando microgrietas longitudinales que corren a lo largo del eje de la lima, y distorsión en los surcos mecanizados tanto en la lima WaveOne Gold como en Reciproc Blue, cuando fueron sometidas a cargas torsionales. Según Park y col. en el 2010, Yum y col. en el 2011 y Kim y col. en el 2012, tal como se citó en el artículo de Elaska y col (5), los instrumentos NiTi pueden presentar defectos superficiales como resultado de su proceso de fabricación. Mohsen y col. en el 2018 (14), evaluaron los defectos superficiales de las limas reciprocantes Wave One y Wave One Gold antes y después del uso, atribuyendo dichos defectos antes del uso al proceso de maquinando y resaltando que la presencia de estas imperfecciones pueden contribuir al deterioro del instrumento o llevar a mayores defectos, tales como, microgrietas, debris, aplanamiento de la hoja de corte, surcos y cráteres. Estos resultados también concuerdan con el estudio de Nieto y Mendoza en el 2017 (1), donde adicionalmente relacionan la cantidad de defectos superficiales al número de usos del instrumento NiTi. Assayag y col. en 2015 (4), evaluaron las características de la superficie de instrumentos reciprocantes antes y después de su uso mediante SEM, encontrando presencia de excesos o partículas de metal y defectos

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

superficiales en los bordes cortantes del instrumento debido al proceso de maquinado durante la fabricación, y observaron que ningún instrumento nuevo de NiTi está libre de estas imperfecciones. Al-Obaida y col. (22) define los cambios superficiales e indica que los hoyos redondos se producen por una ruptura normal causada por tensiones de tracción. Por lo tanto, se sugiere para próximas investigaciones realizar una descripción de los cambios superficiales para permitir una estandarización de dichos términos, debido a que las definiciones en los artículos no concuerdan y en algunos casos no existen.

Seis de los nueve artículos incluidos, evaluaron resistencia a fatiga cíclica (8-10, 16, 21, 22), y de estos, tres evaluaron ambos sistemas (8, 21, 22) (tabla 3), donde se encontró gran variación en los tiempos de fractura de los instrumentos, debido a que los conductos simulados tenían diferentes grados de curvatura. El estudio de Al-Obaida, y col. 2019 (22), utilizó conductos simulados con doble curvatura, en coronal de 60° y radio de 5mm y en apical 70° y radio de 2mm, mientras que el estudio de Nogueira, y col. 2018 (21), realizó la prueba en conductos simulados con curvatura severa de 80° y 3 mm de radio, por otro lado el estudio de Alcalde, y col. 2017(8), utilizó conductos simulados con curvaturas de 60° y 5 mm de radio. Al pasar el tiempo se añaden complejidades a la metodología para acercarse más a la realidad y esto resulta en un menor tiempo de fractura de los instrumentos. Los tres artículos que evaluaron los dos sistemas (8, 21, 22), coinciden con que la resistencia a fatiga cíclica depende de varios factores como son la conicidad, el tamaño de la punta, el diseño de la sección transversal, el diámetro y el tipo de tratamiento térmico de la aleación NiTi (22-25).

Asimismo estos tres estudios (8, 21, 22) están de acuerdo con que el instrumento Reciproc Blue presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica cuando se compara con WaveOne Gold, como también lo indica el estudio de Gündoğar y Özyürek en 2017 (27), donde mostraron que Reciproc Blue 25/08 presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que WaveOne Gold 25/07. Keskin y col en 2017 (28) encontraron que los instrumentos Reciproc Blue R25 presentan una resistencia a la fatiga cíclica significativamente mayor que los instrumentos WaveOne GOLD y Reciproc R25, y De-Deus, y col en 2017 (29), mostró que Reciproc Blue tenía un mejor rendimiento general en comparación con las limas convencionales. Alcalde, y col en 2017. (8) incluido en este estudio, indica que la sección transversal del instrumento Reciproc Blue 25/08 es en forma de S, y la del instrumento WaveOne Gold 25/07 es en forma de paralelogramo. En un examen complementario, se capturó la configuración de la sección transversal de cada instrumento a 5 mm de la punta mediante SEM para medir el área utilizando un software (AutoCAD) (29, 30), dando como resultado que Reciproc Blue 25/08 tiene un área de 274.780 μm^2 y WaveOne Gold 25/07 de 309.861 μm^2 . Estudios previos han demostrado que un mayor volumen de masa metálica en el punto de máxima tensión de los instrumentos NiTi afecta la resistencia a la fatiga cíclica (26, 30,31). También Se ha indicado que un mayor porcentaje de fase martensítica en la aleación de NiTi promueve más flexibilidad y mayor resistencia a la fatiga (5, 24, 32). Por lo tanto es probable que los diferentes tratamientos térmicos den como resultado diferentes transformaciones de fase martensítica y puedan inducir diferentes disipaciones de la energía requerida para la formación y/o propagación de grietas durante las pruebas de fatiga cíclica (24).

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

Cuatro de los nueve artículos incluidos evaluaron resistencia a la fatiga torsional (5, 8, 11, 13,21) y dos de ellos evaluaron ambos sistemas (8,21) (tabla 3), en ambos estudios la prueba se realizó según la especificación ISO 3630-1. Los 3 mm de la punta de cada instrumento, se sujetaron a un motor que gira en sentido antihorario a una velocidad de 2 rpm. El punto de 3 mm desde la punta, es el más susceptible a la fractura durante la preparación del conducto radicular (31) Además, se utilizó la rotación en sentido antihorario porque es la dirección de sus estrías (33). Los dos estudios coinciden en que los instrumentos Reciproc Blue presentan mayor resistencia a fatiga torsional (8,21). Esto podría implicar una menor probabilidad de fractura en una situación clínica cuando la punta del instrumento se atasca dentro del conducto (21), estos resultados podrían explicarse porque la conicidad de Reciproc Blue es mayor (0.08) en los primeros 3 mm, lo que produce una mayor área de sección en el punto de la prueba de torsión. Nogueira y col en 2018 (21), indica que el tipo de aleación de NiTi utilizada en la fabricación de la lima Reciproc Blue es lo que la hace más resistente a la fatiga torsional. Alcalde y col 2017 (8), establece que el tratamiento térmico Blue es un método especial de calentamiento y enfriamiento que da como resultado instrumentos con un color azul debido a una capa de óxido de titanio (8, 9). Este tratamiento reduce la aleación con memoria de forma del NiTi e induce la aparición de la transformación martensítica en dos fases, aumentando la resistencia a la fatiga y la flexibilidad (9).

La sección transversal de Reciproc Blue aumenta su resistencia a la fatiga torsional. Alcalde, y col en 2017 (8), realizaron capturas de pantalla en el SEM en D3, para medir el área de la sección transversal por medio del software (AutoCAD) antes de la prueba de torsión (29, 34), dando como resultado que la lima Reciproc Blue 25/08 presenta una mayor área en comparación la lima WaveOne Gold 25/07 . Estudios anteriores han demostrado que los instrumentos con mayor área de sección transversal son más resistentes a la carga torsional (8, 33, 35, 36).

Los resultados de la microscopía electrónica de barrido (SEM), tanto en fatiga cíclica como en fatiga torsional de las limas Reciproc Blue y WaveOne Gold (tabla 3) fueron muy diversos, porque los autores no definen cada cambio superficial, por lo tanto existe limitación al realizar un análisis, por lo tanto se sugiere estandarizar dichas definiciones. Los nueve artículos incluidos analizaron los cambios superficiales en el fragmento fracturado; y dos de ellos evaluaron también la superficie externa después de la fractura del instrumento, pero ninguno los evaluó antes de la fractura por lo tanto es importante conocer los cambios que sufren los instrumentos al ser sometidos a cargas cíclicas o torsionales antes de su fractura para llevarlo a una situación clínica y conocer la vida útil de estos.

8. Conclusiones

- Los cambios superficiales observados en microscopía electrónica de barrido (SEM) que presentan las limas Reciproc Blue y WaveOne Gold cuando son sometidas a cargas torsionales in vitro fueron: microcavidades cerca al núcleo interno del instrumento (centro de rotación), ranuras de abrasión concéntricas, hoyos y microgrietas; y cuando fueron sometidas a cargas cíclicas se observaron áreas de iniciación de la grieta simples o múltiples, estrías y cracks en el fragmento fracturado.

CAMBIOS SUPERFICIALES. REVISIÓN

Únicamente dos estudios observaron la superficie externa del instrumento, encontrando microgrietas longitudinales que corren a lo largo del eje de la lima, y distorsión en los surcos mecanizados en la lima Wave One Gold y Reciproc Blue, cuando fueron sometidas a cargas torsionales.

- No existe un consenso en cuanto a las definiciones de los cambios superficiales, lo que limita el análisis de estos.
- La mayoría de los estudios son de reciente publicación, provienen de países como Brasil y Corea del Sur y fueron publicados en revistas que en su momento estaban clasificadas en Q1.

9. Recomendaciones

Se sugiere para próximas investigaciones realizar una descripción de los cambios superficiales, para permitir una estandarización de dichos términos.

10. Referencias bibliográficas

1. Nieto C, Mendoza D. Estudio comparativo de los defectos superficiales de las limas Reciproc y Wave One Gold después de la instrumentación de conductos radiculares en molares extraídos mediante el uso de Microscopía Electrónica de Barrido [Tesis]. Quito (Ecuador): Universidad San Francisco de Quito; 2017.
2. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. *Int endod J*. 2018; 51(10):1088-103. <https://doi.org/10.1111/iej.12924>
3. Plotino G, et al. Experimental evaluation on the influence of autoclave sterilization on the cyclic fatigue of new nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2012; 38(2): 222-5.
4. Assayag A, et al. Surface characteristics of reciprocating instruments before and after use—A SEM analysis. *Braz Dent J*. 2015; 26(2):121-127. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.10.017>
5. Elsaka S, Elnaghy A, Badr A. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. *Int Endod J*. 2017; 50(11): 1077-83. <https://doi.org/10.1111/iej.12728>
6. Shen Y, Coil J, Mo A, Wang Z, Hieawy A, Yang Y, et al. WaveOne rotary instruments after clinical use. *J Endod*. 2016; 42(2): 186-9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.10.008>
7. Pirani C, Paolucci A, Ruggeri O, Bossù M, Polimeni A, Antonella M, et al. Wear and metallographic analysis of WaveOne and reciproc NiTi instruments before and after three uses in root Canals. *Scanning*. 2014; 36(5): 517-25. <https://doi.org/10.1002/sca.21150>
8. Alcalde M, Hungaro M, Monteiro C, Carvalho B, Tanomaru-Filho M, Guerreiro J, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2018; 22(4): 1865-71
9. Keskin C, Inan U, Demiral M. Effect of interrupted motion on the cyclic fatigue resistance of reciprocating nickel-titanium instruments. *Int Endod J*. 2018; 51(5): 549-55. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2321-x>
10. Nogueira E, Monnerat J, Barretto E, Leal V, Moura L, Pereira H. Bending resistance and cyclic fatigue life of a new single-file reciprocating instrument WaveOne Gold. *Eur Endod J*. 2016; 1(4): 1-4. [https:// DOI 10.5152/eej.2016.16018](https://doi.org/10.5152/eej.2016.16018)
11. Hong J, Sigurdsson A, De-Deus G, Versluis A, Won S, Cheol H. Torsional Behavior of WaveOne Gold Endodontic File with the Dedicated Motor of the Original WaveOne File. *Materials (Basel)*. 2018; 11(7): 1107-1150. <https://doi.org/10.3390/ma11071150>
12. Sobotkiewicz T. Effect of canal curvature location on the cyclic fatigue resistance of reciprocating files [Tesis]. Vancouver (Columbia): The University of British Columbia; 2020. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0388573>

13. Ha J, De-Deus G, Versluis A, Kwak S, Kim H. Safe pseudo-elastic limit range under torsional loading with Reciproc Blue. *Int Endod J*. 2019; 52(2): 244-49. <https://doi.org/10.1111/iej.12988>
14. Mohsen A, Sallam N, Ahmed S. Evaluation of Surface characteristics changes of WaveOne Gold and WaveOne single reciprocating files using scanning electronmicroscopy: An in-vitro study. *JDMT*. 2018; 7(1): 25-32.
15. Hamdy T, Galal M, Galal A, Abdelraouf R. Evaluation of Flexibility, Microstructure and Elemental Analysis of Some Contemporary Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019; 7(21): 3647-54. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.811>
16. Pedullà E, Maria G, Boninelli S, Rinaldi O, Rapisarda E, Cheol H. Influence of Different Angles of File Access on Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc and Reciproc Blue Instruments. *J Endod*. 2018; 44(12): 1849-55. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.08.012>
17. Hilfer P, Bergeron B, Mayerchak M, Roberts H, Jeansonne B. Multiple autoclave cycle effects on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files produced by new manufacturing methods. *J endod*. 2011; 37(1):72-74. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.09.011>
18. Alapati S, Brantley W, Svec T, Powers J, Mitchell J. Scanning electron microscope observations of new and used nickel-titanium rotary files. *J endod*. 2003; 29(10):667-669. <https://doi.org/10.1097/00004770-200310000-00014>
19. Faraj R, Capelas J, Vieira M. Effect of repeated use on topographical features of protaper next endodontic rotary file. *J Int Or He*. 2016; 8(4): 445-450. <https://doi.org/10.2047/jioh-08-04-07>
20. Shen Y, Cheung G. Methods and models to study nickel-titanium instruments. *Endod Topics*. 2013; 29(1): 18-41. <https://doi.org/10.1111/etp.12046>
21. Nogueira E, Leal V, Hecksher F, Silva M, Dos Santos H, Lima E. Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Investig*. 2018; 22(7): 2633-8. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2362-9>
22. Al-Obaida M, Merdad K, Alanazi M, Altwaijry H, Alfaraj M, Alkhamis A, et al. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of 5 Heat-treated Nickel-titanium Reciprocating Systems in Canals with Single and Double Curvatures. *J Endod*. 2019; 45(10): 1237-41. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.06.011>
23. Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, Maxwell R, Ammon D. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod*. 2012; 38(3): 398–401. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.11.004>
24. Shen Y, Zhou H, Zheng Y, Peng B, Haapasalo. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2013; 39(2):163–72. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.005>
25. Zhang E, Cheung G, Zheng Y. A mathematical model for describing the mechanical behaviour of root canal instruments. *Int Endod J*. 2011; 44(1):72–6. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01801.x>

26. Kaval M, Capar I, Ertas H. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. *J Endod.* 2016; 42(12):1840–3. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.07.015>
27. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc blue nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2017; 43(7):1192–6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.009>
28. Keskin C, Inan U, Demiral M, Keles A. Cyclic Fatigue resistance of Reciproc Blue, Reciproc and WaveOne Gold reciprocating instruments. *J Endod.* 2017; 43(8): 1360–3. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.036>
29. De-Deus G, Silva E, Vieira V, Belladonna F, Elias C, Plotino G, et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. *J Endod.* 2017; 43(3):462–6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.039>
30. Sattapan B, Nervo G, Palamara J, Messer H. Defects in rotary nickel–titanium files after clinical use. *J Endod.* 2000; 26(3):161–5. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>
31. Capar I, Kava M, Ertas H, Hakan B. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire and controlled memory wire. *J Endod.* 2015; 41(4):535–8. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.008>
32. Kim J, Ha J, Cheung G, Versluis A, Wong S, Cheol H. Safety of the factory preset rotation angle of reciprocating instruments. *J Endod.* 2014; 40(10):1671– 5. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.06.002>
33. Kim H, Kwak S, Cheung G, Ko D, Chung S, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod.* 2012; 38(4): 541–4. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.11.014>
34. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang Z, Shen Y. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *J Endod.* 2015; 41(7):1134–8. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.02.030>
35. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande M, La Rosa G, et al. Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. *J Endod.* 2016; 42(1):156–9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.10.004>
36. Vasconcelos R, Murphy S, Carvalho C, Govindjee R, Govindjee S, Peters O. Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *J Endod.* 2016; 42(5):782–7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.01.025>