

Universidad Católica Redemptoris Mater

Facultad de Odontología



Tesis monográfica para optar al título de Especialista en Endodoncia y Microcirugía

Línea de investigación en Endodoncia

Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares con modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, UNICA 2025

AUTOR

Fonseca-Talavera, Eva María

<https://orcid.org/0009-0007-2103-0224>

Managua, Nicaragua

13 de noviembre de 2025

Universidad Católica Redemptoris Mater

Facultad de Odontología



Tesis monográfica para optar al título de Especialista en Endodoncia y Microcirugía

Línea de investigación en Endodoncia

Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares en modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, UNICA 2025.

AUTOR

Fonseca-Talavera, Eva María

<https://orcid.org/0009-0007-2103-0224>

TUTOR CIENTÍFICO

Dra. Ana Cecilia Baldizón

Especialista en Endodoncia

<https://orcid.org/0009-0003-7247-028X>

TUTOR METODOLÓGICO

PhD. José Jesús Mendoza Casanova

Profesor Investigador/UNICA

<https://orcid.org/0009-0006-9968-1986>

ASESOR REDACCIÓN/ESTILO

MSc. Marvin Antonio González Ortega

Profesor de Tiempo Completo/UNICA

<https://orcid.org/0009-0006-7545-4172>

Managua, Nicaragua

13 de noviembre de 2025

CARTA AVAL TUTOR CIENTÍFICO

Managua, 10 de octubre del 2025

Maestra

Tania Andina Matus Baltodano

Vicerrectora de Posgrado

Universidad Católica Redemptoris Máter

Estimada Maestra Matus:

Por medio de la presente, quien suscribe, Ana Cecilia Baldizón, con cédula de identidad número 281-101171-0005A, hago de su conocimiento que he aceptado ser tutor de tesis del maestrando Eva María Fonseca Talavera, carnet número 20170402, para el trabajo de investigación titulado: "*Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares en modelos de molares mandibulares 3D*", el que corresponde al Programa de Especialidad en Endodoncia y Microcirugía (3^a. Edición).

Asimismo, expreso mi compromiso para brindar el acompañamiento académico necesario, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la Vicerrectoría de Posgrado. Mi rol de tutor tiene una duración estimada de diez horas (20), las que se distribuirán en el período académicos definido por la Coordinación Académica del Programa.

Sin más en particular, quedo a su disposición para cualquier consulta adicional.

Atentamente,



Dra. Ana Cecilia Baldizón
Especialista en Endodoncia
acbaldizon@hotmail.com

Cc: Archivo

CARTA AVAL TUTOR METODOLÓGICO

Por medio de la presente, y en mi calidad de tutor metodológico, certifico que el trabajo de investigación titulado:

Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares en modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, UNICA 2025.

Realizado por ***Eva María Fonseca Talavera***, cumple con las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas, que regulan esta actividad académica, y constituye su tesis monográfica para optar al título de Especialista en Endodoncia y Microcirugía (3^a. Edición).

Y para que así conste, en cumplimiento con la normativa vigente, autorizo a la ***Dra. Fonseca Talavera***, reproducir el documento definitivo para su entrega oficial a la facultad correspondiente, para que pueda ser tramitada su lectura y defensa pública.

Managua, Nicaragua, 10 de octubre de 2025.

Atentamente,

**PhD. José Jesús Mendoza Casanova
Profesor Investigador/UNICA**
jmendoza8@unica.edu.ni

Dedicatoria

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a Dios Padre y a mi Jesús de la Divina Misericordia, por ser luz y guía constante en cada paso de este camino, fortaleciendo mi fe y renovando mi esperanza en los momentos de mayor dificultad.

A mis padres, René y María, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar de mi vida: gracias por sostenerme con su esfuerzo, por brindarme ayuda económica, escucharme en mis debilidades y transmitirme siempre la fortaleza necesaria para seguir adelante.

De manera muy especial, a mi querida mamita Imara, por ser compañía en mis momentos más difíciles, consejera amorosa y guía incansable que ha iluminado mis días con paciencia y ternura.

A cada uno de ustedes les ofrezco este logro, que no me pertenece solo a mí, sino que es fruto de su amor, de sus oraciones y de la confianza que siempre depositaron en mí.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a mis docentes, quienes con su entrega y dedicación despertaron en mí la pasión por el fascinante mundo de la endodoncia. En especial, a la Dra. Tatiana Martínez, Dra. Janilda Torrez y Dr. Rodolfo Sánchez, por compartir sus conocimientos y ser ejemplo de vocación y compromiso profesional. Expreso mi gratitud particular al Dr. Erick Collado y a la Dra. Ana Cecilia Baldizón, por su guía y acompañamiento constante en el desarrollo de esta tesis, convirtiéndose en pilares fundamentales de este logro académico.

Asimismo, mi reconocimiento a mis asesores metodológicos, el PhD. Jesús Mendoza y la Profe Hazel, quienes me orientaron con paciencia y rigor en la construcción científica de este trabajo. Mi especial gratitud a mi tío, el MSc. Marvin A. González, por estar siempre pendiente de mí, brindarme su apoyo incondicional y guiarme con sabiduría durante este proceso de investigación.

De manera muy especial, agradezco a mi novio, Gustavo Silva, por su compañía y motivación constante, así como a sus padres, el Dr. Gustavo Silva Mendoza y la Dra. Leyla Trewin, por abrirme las puertas de su clínica y brindarme el espacio necesario para llevar a cabo mi proyecto de tesis, gesto que guardo con profunda gratitud.

Finalmente, a mis compañeros de especialidad, quienes hicieron de esta etapa una experiencia enriquecedora y llena de momentos memorables. Gracias por su amistad, por las sonrisas compartidas y por ser parte de una etapa que quedará marcada en mi vida personal y profesional.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar comparativamente la eficacia de tres tipos de diseños de agujas de irrigación endodóntica (extremo abierto, lateral simple y lateral doble) en la limpieza de conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape clasificación C2 de Fan, utilizando modelos tridimensionales impresos en resina y análisis mediante fotografía microscópica. El estudio se desarrolló ante la necesidad de optimizar los protocolos de irrigación en anatomías complejas donde la morfología irregular limita la penetración del irrigante y compromete la desinfección del sistema de conductos.

El trabajo se enmarcó en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, correlacional, transversal y de campo. La población estuvo conformada por treinta modelos tridimensionales de segundos molares mandibulares, distribuidos equitativamente en tres grupos experimentales ($n=10$ por grupo), cada diente mecanizado con sistema blue perfect hasta lima 30 taper 04. Los datos se recolectaron mediante registro fotográfico con microscopio Seiler Alpha Air 3 acoplado a cámara Canon EOS Rebel T6i, evaluando la cantidad de residuos por tercios radiculares (Cervical, medio y apical) con una escala visual de limpieza. El análisis estadístico ANOVA de un factor reveló diferencias significativas entre los tres tipos de agujas ($F=18.934$; $p=0.000$), evidenciando que la aguja de salida lateral simple presentó el menor promedio de residuos (2.20), seguida de la doble salida lateral (3.30) y la de punta abierta (3.90).

En conclusión, el diseño de la aguja influye significativamente en la eficacia de limpieza del sistema de conductos radiculares. La aguja de salida lateral simple demostró un rendimiento superior en la eliminación de residuos, siendo la opción más efectiva para la irrigación en conductos con anatomía tipo C-shape.

Palabras claves:

Irrigación endodóntica, agujas de irrigación, anatomía C-shape.

Abstract

The aim of this study was to comparatively evaluate the effectiveness of three types of endodontic irrigation needle designs (open tip, single lateral, and double lateral) in cleaning root canals of mandibular second molars with Fan's C2 classification C-shape anatomy, using three-dimensional resin-printed models and microscopic photography analysis. The study was developed in response to the need to optimize irrigation protocols in complex anatomies where irregular morphology limits irrigant penetration and compromises root canal system disinfection.

The work was framed within a quantitative, applied, correlational, cross-sectional, and field approach. The population consisted of thirty three-dimensional models of mandibular second molars, distributed equally into three experimental groups ($n=10$ per group), each tooth machined with the Blue Perfect system up to file 30 taper 04. Data were collected by photographic recording with a Seiler Alpha Air 3 microscope coupled to a Canon EOS Rebel T6i camera, evaluating the amount of debris per root third (cervical, middle, and apical) with a visual cleaning scale. One-way ANOVA statistical analysis revealed significant differences between the three types of needles ($F=18.934$; $p=0.000$), showing that the single lateral exit needle had the lowest average residue (2.20), followed by the double lateral exit needle (3.30) and the open tip needle (3.90).

In conclusion, needle design significantly influences the cleaning efficiency of the root canal system. The single lateral exit needle demonstrated superior performance in debris removal and is the most effective option for optimizing irrigation in C-shaped canals.

Keywords:

Endodontic irrigation, irrigation needles, C-shape anatomy.

Índice de contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes	4
3.	Contexto del problema	8
4.	Pregunta de investigación.....	11
5.	Objetivos.....	12
5.1	Objetivo General.....	12
5.2	Objetivos Específicos	12
7.	Limitantes de la investigación	16
8.	Marco teórico.....	18
8.1	Marco referencial	18
8.2	Marco conceptual.....	24
9.	Marco metodológico	39
9.2	Hipótesis de investigación	41
9.3	Definición operativa de las variables.....	42
9.4	Población y muestra	44
9.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
9.6	Validez y confiabilidad de los instrumentos	66
9.7	Procedimientos para el procesamiento y análisis de información	66
9.8	Consideraciones éticas	67
10.	Resultados y discusión.....	68
11.	Conclusiones	78
12.	Recomendaciones	80
13.	Referencias	82
14.	Apéndices / Anexos	87
14.1	Apéndices	87
14.2	Anexos	107

Índice de tablas

Tabla 1	43
Tabla 2	43
Tabla 3	44
Tabla 4	70

Índice de figuras

Figura 1	26
Figura 2	27
Figura 3	46
Figura 4	47
Figura 5	48
Figura 6	49
Figura 7	49
Figura 8	50
Figura 9	51
Figura 10	54
Figura 11	54
Figura 12	55
Figura 13	55
Figura 14	56
Figura 15	56
Figura 16	56
Figura 17	57
Figura 18	57
Figura 19	57
Figura 20	58
Figura 21	58
Figura 22	59
Figura 23	59
Figura 24	60
Figura 25	60
Figura 26	61
Figura 27	62
Figura 28	62

Figura 29	62
Figura 30	63
Figura 31	63
Figura 32	64
Figura 33	64
Figura 34	65
Figura 35	65
Figura 36	68
Figura 37	71
Figura 38	72
Figura 39	73
Figura 40	74
Figura 41	76

1. Introducción

El tratamiento endodóntico contemporáneo exige un control riguroso de todos los factores que determinan la limpieza, desinfección y sellado tridimensional del sistema de conductos radiculares. Entre ellos, la irrigación desempeña un papel fundamental al complementar la acción mecánica de los instrumentos, permitiendo la remoción de tejido necrótico, detritos y microorganismos que persisten en zonas inaccesibles para la instrumentación. Sin embargo, el éxito de este proceso depende directamente del diseño y desempeño hidráulico del sistema de irrigación utilizado. En este contexto, la presente investigación se centra en evaluar comparativamente la eficacia de tres diseños de agujas de irrigación endodóntica (extremo abierto, lateral simple y lateral doble), empleadas en modelos tridimensionales (3D) de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape, mediante análisis fotográfico microscópico.

El estudio parte del reconocimiento de una problemática ampliamente documentada en la literatura: la dificultad para lograr una irrigación efectiva en conductos con morfología irregular, particularmente en los sistemas tipo C-shape. Estas configuraciones anatómicas presentan istmos, ramificaciones y conexiones laterales que obstaculizan la penetración del irrigante, incluso cuando se utilizan técnicas avanzadas de instrumentación. Según Melton et al. (1991) y Fan et al. (2004), esta morfología compleja constituye un desafío constante para el clínico, ya que las zonas interconectadas y los canales accesorios limitan el flujo del irrigante, reduciendo la eficacia de limpieza y aumentando el riesgo de persistencia bacteriana. En Nicaragua, donde los recursos tecnológicos y la disponibilidad de instrumental especializado son limitados, esta dificultad se acentúa, condicionando los resultados clínicos y el pronóstico a largo plazo del tratamiento endodóntico.

La justificación científica de este trabajo radica en la necesidad de determinar qué diseño de aguja ofrece la mejor distribución y capacidad de arrastre del irrigante en anatomías complejas. Diversos estudios internacionales entre ellos los de Baasch et al. (2025), Hussain et al. (2025) coinciden en que el diseño geométrico de la aguja (abierta o

lateral) modifica significativamente el patrón del flujo hidráulico, la presión apical y la profundidad de penetración. Sin embargo, la evidencia sigue siendo contradictoria y escasa en modelos C-shape, y no existen antecedentes publicados en el ámbito centroamericano o nicaragüense que comparen experimentalmente estos tres tipos de agujas bajo condiciones controladas. Este vacío de conocimiento motiva el presente estudio, cuyo aporte se proyecta tanto al ámbito académico como a la práctica clínica.

El propósito principal de esta investigación es proporcionar evidencia empírica que permita identificar el diseño de aguja de irrigación más eficaz en la eliminación de residuos dentro del sistema de conductos radiculares tipo C-shape, fortaleciendo así la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia. Para ello, se emplearán modelos 3D impresos en resina biocompatible, lo que asegura la estandarización anatómica y elimina las variables biológicas presentes en dientes naturales. La eficacia de cada diseño será evaluada mediante fotografía microscópica de alta resolución, lo que permitirá cuantificar la cantidad de residuos remanentes por tercios radiculares (cervical, medio y apical).

En el ámbito endodóntico, esta investigación busca contribuir a la mejora de los protocolos de irrigación, a la formación de especialistas con enfoque crítico y a la optimización del pronóstico clínico en casos de alta complejidad anatómica. De igual forma, responde a una necesidad institucional de la Universidad Católica Redemptoris Māter (UNICA) de promover investigaciones experimentales con pertinencia local, integrando recursos tecnológicos disponibles como la impresión 3D, la fotografía microscópica y la simulación clínica controlada al proceso formativo del posgrado en Endodoncia y Microcirugía.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio adopta un enfoque cuantitativo, aplicado, correlacional, transversal y de campo, lo que garantiza una medición objetiva de las variables bajo condiciones controladas. La variable independiente está representada por el diseño de la aguja de irrigación, mientras que la variable dependiente corresponde a la cantidad de residuos remanentes tras la irrigación, medida mediante una escala visual de limpieza en cada tercio radicular. La hipótesis de investigación plantea que *existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de residuos remanentes según el*

diseño de la aguja utilizada, mientras que la hipótesis nula sostiene que *no existen diferencias significativas entre los diseños evaluados*.

El estudio se desarrolla en la Clínica Dental Montecristo, en la ciudad de Matagalpa, Nicaragua, durante el año 2025, utilizando equipamiento especializado como el microscopio endodóntico Seiler Alpha Air 3 acoplado a una cámara Canon EOS Rebel T6i. Este entorno clínico-simulado asegura condiciones óptimas de observación, control experimental y reproducibilidad, aspectos esenciales en estudios de laboratorio con aplicación clínica directa. Los límites espaciales del estudio se circunscriben a dicho centro, mientras que los límites temporales comprenden el primer semestre de 2025. En cuanto a los límites conceptuales, la investigación se centra en la comparación de tres diseños específicos de agujas de irrigación (extremo abierto, lateral simple y lateral doble), excluyendo otros sistemas activos o automatizados como PUI o EndoVac.

La relevancia del estudio es múltiple. En el plano científico, busca fortalecer la base empírica sobre la hidrodinámica de la irrigación endodóntica en conductos complejos, aportando datos que pueden servir de referencia para futuras investigaciones experimentales *in vivo*. En el ámbito educativo, ofrece un modelo metodológico replicable que integra tecnologías digitales a la docencia posgrada. Y en el plano clínico, sus resultados pueden orientar la selección racional de instrumental en función de la morfología radicular, optimizando la desinfección y reduciendo las tasas de fracaso terapéutico.

En síntesis, la presente investigación se propone aportar conocimiento relevante sobre la eficacia comparativa de las agujas de irrigación endodóntica en conductos radiculares tipo C-shape, estableciendo una base experimental sólida que permita orientar la práctica clínica y académica en Nicaragua y la región centroamericana. Su desarrollo representa un paso importante hacia la consolidación de una endodoncia basada en evidencia, adaptada a la realidad tecnológica y clínica de nuestro país, con la visión de elevar los estándares de calidad y éxito terapéutico en los tratamientos de conductos complejos.

2. Antecedentes

A nivel internacional, en los últimos cinco años se han publicado al menos seis estudios que analizan la eficacia de los diferentes sistemas de irrigación en la limpieza y desinfección de los conductos radiculares. Estos trabajos han contribuido a una mejor comprensión de la dinámica de irrigación, permitiendo comparar distintos dispositivos, técnicas y protocolos con el objetivo de optimizar los resultados clínicos.

Estudios internacionales

En países como Portugal, Estados Unidos, Brasil, han realizado diferentes investigaciones recientes sobre la mejora de los sistemas de irrigación en endodoncia.

Baasch et al. (2025) evaluaron la eficacia de diversas agujas de irrigación endodóntica para eliminar el tejido residual de los conductos radiculares, a nivel de tercio apical, medio y coronal. Se dividieron 40 réplicas de molares mandibulares de resina, sometidas a irrigación con NaOCl al 5.25%, con aplicación de cuatro tipos de agujas: aguja de extremo abierto, de extremo cerrado y salida lateral, un extremo cerrado doble salida lateral, y una aguja irriFlex de polietileno con doble salida lateral. Los resultados mostraron que las agujas de extremo abierto presentaron una eficacia significativamente mayor en la limpieza de los tercios medio y coronal, con porcentajes del tejido remanente del 23.7% para las agujas de punta abierta y del 26.8 % para la aguja irriflex, en comparación con el 53.9% y el 44.9% para las agujas de punta cerrada.

Por otro lado, Tiscareño et al., 2025, evaluaron la eficacia de la limpieza en conductos mesiales y distales ovalados mínimamente conformados de modelos 3D de molares mandibulares, centrándose en la irrigación positiva, la irrigación ultrasónica pasiva (PUI) inalámbrica y convencional, y el láser de diodo, se analizaron 44 modelos de resina, se dividieron en cuatro grupos con un total de 22 conductos mesiales y 11 conductos distales ovalados. Cuyos resultados demostraron que en la región apical de los conductos mesial mostro una mayor eficacia de limpieza en un 14.1%, superando a las demás, PIU sin cable con un 30.4%, y la DL e un 29.3% y finalmente la presión positiva en un 42.2%. Aunque ningún método fue superior con respecto al otro, las técnicas complementarias como PUI y

DL ofrecen beneficios potenciales sobre los métodos de irrigación convencionales, particularmente en el tercio apical.

No obstante, Liu et al., 2025 evaluaron los efectos de limpieza de cuatro protocolos de irrigación utilizando modelos de istmo impresos en 3D. Se diseñaron sesenta modelos digitales de conductos radiculares con istmos en los tercios coronal, medio y apical y se procedió a instrumentar hasta un calibre 30, para luego irrigar utilizando CNI, irrigación sónica de baja frecuencia PUI o irrigación iónica de alta frecuencia (EDDY), seguido de una nueva toma de imágenes para calcular el área restante de residuos. La reducción de detritos varió según la posición del istmo. En el tercio coronal, EDDY logró la mayor reducción de detritos, seguida de PUI, EA y CNI, con diferencias significativas entre los grupos.

Gálvez-Saavedra et al. (2024) evaluaron la eficacia de tres métodos de activación endodóntica para eliminar detritus en conductos mesiales de 15 primeros molares inferiores humanos. Los grupos fueron: cono maestro (control), irrigación ultrasónica activa (UI) e irrigación ultrasónica pasiva (PUI - Ultra X), con irrigación usando NaOCl al 2,5 % y EDTA al 17 %. Se analizaron los tercios cervical, medio y apical mediante SEM. El grupo PUI mostró la mayor eficacia, con una media de limpieza del 84,6 %, seguido por UI con 72,3 % y el control con 55,1 %. Se observó una reducción progresiva de limpieza del tercio cervical, medio y apical. El grupo UI presentó una distribución de limpieza más homogénea, aunque menos eficaz que PUI.

Badami et al. (2023) realizaron una revisión sistemática y análisis crítico sobre la eficacia de la irrigación activada por láser (LAI) frente a la irrigación activada por ultrasonido (UAI) en dientes permanentes maduros. Se analizaron 23 estudios publicados entre 1997 y 2021, seleccionados de un total de 1637 artículos. Los criterios de evaluación incluyeron eficacia antimicrobiana, eliminación de restos dentinarios y de la capa de barrillo. La mayoría de los estudios revisados concluyeron que LAI fue significativamente más eficaz que UAI en todos los parámetros evaluados. La revisión determinó que LAI presenta una capacidad superior de desinfección y limpieza del sistema de conductos radiculares dentro de los límites de la evidencia actual.

Leoni et al. (2016) evaluaron la eficacia de cuatro protocolos de irrigación final para eliminar restos de tejido duro en conductos mesiales de primeros molares mandibulares, utilizando análisis por micro-TC. Se estudiaron 40 raíces con istmo único (Vertucci Tipo I), instrumentadas con WaveOne sin irrigación inicial para favorecer la acumulación de detritus. Los grupos se dividieron según el protocolo de irrigación final: presión positiva apical (APP), irrigación ultrasónica pasiva (PUI), lima autoajustable (SAF) y XP-endo Finisher (XPF), utilizando 5,5 ml de NaOCl al 2,5 % durante 2 minutos. Los resultados mostraron que PUI y XPF fueron los más eficaces, con reducciones del 94,1 % y 89,7 %, respectivamente, frente a APP (45,7 %) y SAF (41,3 %).

Estudios regionales

A nivel de Latinoamérica han surgido distintas investigaciones como Fernandez-Caiña et al. (2025) donde compararon la profundidad de penetración de diferentes agujas de irrigación en conductos simulados tipo J. Se evaluaron cuatro diseños de agujas 30G: TruNatomy, Neojet, Max-I-Probe y 2SV. Los resultados revelaron que la aguja TruNatomy alcanzó una profundidad promedio de 14 mm, superando significativamente a Neojet (12.6 mm), Max-I-Probe (11.9 mm) y 2SV (11.2 mm). Incluyó inserción controlada de las agujas en bloques acrílicos estandarizados y análisis fotográfico de penetración.

Utilizaron estadística descriptiva y prueba t de Student para validar las diferencias. El estudio concluyó que el diseño estructural de la aguja influye directamente en su capacidad de acceso apical. Estas diferencias pueden impactar la eficacia de irrigación, especialmente en anatomías complejas.

Otros investigadores como Elida & Garay, (2017) estudiaron la eficacia de diferentes tipos de agujas de irrigación endodóntica en la remoción de detritos dentro del sistema de conductos radiculares. El estudio se centró en comparar agujas convencionales con agujas diseñadas con microfilamentos, como la NaviTip FX. Se emplearon dientes extraídos, irrigación con hipoclorito de sodio y análisis visual de residuos. Los resultados mostraron que las agujas especializadas facilitaron una mayor eliminación de restos orgánicos, especialmente en el tercio apical.

Se destacó la importancia del diseño estructural de la aguja para mejorar el alcance del irrigante. Además, se concluyó que el uso de agujas con salida lateral y capacidad de penetración más profunda resulta más efectivo en anatomías radiculares complejas. Este trabajo refuerza la necesidad de seleccionar adecuadamente el tipo de aguja durante la desinfección endodóntica. Sus hallazgos son aplicables a casos clínicos con morfologías irregulares. Representa un antecedente metodológicamente relevante para estudios que buscan evaluar eficacia mediante modelos controlados.

Estudios nacionales

Actualmente no se encontraron estudios nacionales publicados que comparen directamente diseños de agujas de irrigación en modelos 3D. Sí se identifican tesis internas y protocolos locales en universidades como la UNAN–León, usados principalmente para formación clínica más que para investigación comparativa. Este vacío evidencia una carencia crítica de datos que permitan ajustar prácticas clínicas al contexto local.

3. Contexto del problema

En el entorno clínico nicaragüense, particularmente en el marco de la Especialidad en Endodoncia y Microcirugía de la Universidad Católica (UNICA), se ha evidenciado de manera recurrente la complejidad que representa el tratamiento endodóntico de molares, especialmente en aquellos que presentan configuraciones anatómicas poco convencionales, como el sistema de conductos radiculares tipo C-shape. Esta morfología, descrita inicialmente por Melton et al. (1991) hicieron la primera clasificación de los conductos en forma de C y más tarde Fan et al. (2004) introdujo una clasificación anatómica y radiológica y confirmada por múltiples investigaciones posteriores, se caracteriza por la fusión continua de los conductos mesiales y distales, originando un conducto con forma de "C" en corte transversal. En la población nicaragüense, se estima una prevalencia aproximada del 23.3 % (Caldera & Sánchez, 2019) de este tipo de anatomía, lo que evidencia su relevancia clínica y la necesidad de abordajes terapéuticos más precisos. Dicha disposición genera istmos, conductos laterales, irregularidades y variaciones que representan un desafío constante para el clínico durante la limpieza, desinfección y obturación del sistema radicular.

Desde una perspectiva terapéutica, la desinfección efectiva de los conductos tipo C-shape constituye un reto significativo, pues su anatomía irregular limita la penetración del irrigante en áreas críticas como el tercio apical, los istmos y las ramificaciones laterales. La literatura científica ha demostrado que incluso con protocolos de instrumentación mecanizada avanzados, la acción antimicrobiana del irrigante resulta insuficiente si se administra únicamente mediante agujas estándar, lo que condiciona la permanencia de bacterias y detritos dentro del sistema. En consecuencia, estas limitaciones comprometen el pronóstico a corto y largo plazo, incrementando la tasa de fracaso endodóntico y favoreciendo la recurrencia de lesiones periapicales.

En el contexto nacional, esta problemática adquiere una dimensión particular debido a las limitaciones económicas y de acceso a recursos especializados. En Nicaragua, el mercado odontológico presenta una oferta reducida de insumos endodónticos de alta tecnología, lo que obliga a los profesionales a recurrir a instrumental genérico o de eficacia

limitada. Esta realidad condiciona la aplicación de protocolos de irrigación menos eficientes, con el consiguiente riesgo de comprometer los resultados clínicos. En pacientes con patologías pulparas necróticas o periodontitis apical sintomática, el pronóstico depende de manera directa de la calidad de la desinfección intracanal, por lo que las deficiencias en este proceso representan una amenaza real para la salud bucal y general de la población.

La situación se complejiza aún más en los programas de formación académica de posgrado, como el de Endodoncia y Microcirugía de UNICA, donde los estudiantes enfrentan la doble exigencia de cumplir con estándares internacionales de calidad clínica y, al mismo tiempo, desenvolverse en un entorno con limitaciones tecnológicas. Para ellos, el desarrollo de habilidades diagnósticas precisas y la aplicación de protocolos de irrigación basados en evidencia, como el recomendado por la asociación americana 2021. En este escenario, la selección adecuada del diseño de la aguja de irrigación sea de extremo abierto, lateral simple o doble lateral constituye un eje central para garantizar un tratamiento predecible, particularmente en anatomías complejas como los conductos C-shape.

En la literatura internacional, diversos estudios han demostrado que la geometría y diseño de la aguja influyen de manera significativa en el patrón de flujo del irrigante, su capacidad de penetración y la eliminación de detritos. Alves et al. (2022) documentaron que las agujas de extremo cerrada con salida lateral logran un flujo más controlado y menor riesgo de extrusión, mientras que Leoni et al. (2016) evidenciaron que las agujas de doble salida lateral favorecen una distribución más homogénea de la solución en el tercio apical.

De igual forma, Baasch et al. (2021) destacaron que, aunque las agujas de extremo abierto permiten mayor penetración del irrigante, presentan riesgos de extrusión periapical y menor control hidráulico en conductos irregulares. Sin embargo, pese a estos aportes, persiste un vacío de conocimiento científico en lo que respecta a la comparación directa de estos diseños en sistemas radiculares tipo C-shape, clasificación C2 de Fan.

Otro aspecto crítico es la falta de estudios regionales que aborden esta problemática desde la perspectiva centroamericana. Mientras en países con mayor desarrollo tecnológico se han implementado estudios sobre el diseño de aguja más optimo como el realizado por (Baasch, 2025), por otro lado, en Nicaragua y en la región centroamericana en general, la

escasez de investigaciones aplicadas deja un vacío que repercute directamente en la práctica clínica. Esta ausencia de datos locales dificulta la elaboración de protocolos adaptados a la realidad socioeconómica y limita la posibilidad de establecer recomendaciones basadas en evidencia para los profesionales de la región.

La incorporación de modelos impresos en 3D de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape representa una herramienta innovadora que permite simular condiciones clínicas complejas de forma controlada y reproducible. Estos modelos ofrecen la ventaja de estandarizar las variables anatómicas, lo que posibilita comparar de manera objetiva el desempeño hidráulico y la eficacia de limpieza de diferentes diseños de agujas de irrigación. En este sentido, el presente estudio busca no solo responder a una necesidad científica, sino también aportar una solución viable a un problema clínico recurrente en la práctica endodóntica local.

En conclusión, la problemática que se aborda en esta investigación se centra en la necesidad de optimizar los protocolos de irrigación endodóntica en sistemas radiculares complejos, específicamente tipo C-Shape, dentro del contexto nicaragüense. La carencia de insumos especializados, la dificultad anatómica inherente y la ausencia de estudios locales hacen indispensable el desarrollo de investigaciones que evalúen de forma comparativa el rendimiento de diferentes agujas de irrigación. Este esfuerzo permitirá fortalecer la formación académica, proporcionar evidencia científica aplicable a la realidad nacional y, en última instancia, mejorar los índices de éxito clínico en tratamientos endodónticos complejos.

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el diseño de agujas de irrigación más eficaz para limpieza de los conductos radiculares en modelos de segundos molares mandibulares, a través de fotografía microscópica en la Universidad Católica Redemptoris Mater, 2025?

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Evaluar comparativamente la eliminación de residuos de tres diseños de agujas de irrigación endodóntica en la limpieza de conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, mediante imágenes obtenidas por fotografía microscópica.

5.2 Objetivos Específicos

Identificar el diseño de aguja de irrigación que presenta mayor eliminación de residuos en conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape, utilizando modelos tridimensionales.

Medir la cantidad de residuos tras la irrigación con cada diseño de aguja, según los tercios cervical, medio y apical del sistema de conductos radiculares.

Cuantificar el porcentaje de remanente posterior a la irrigación en cada diseño de aguja, mediante análisis de imágenes postoperatorias.

6. Justificación

Conveniencia del estudio

El presente trabajo de investigación es conveniente porque se centra en una problemática clínica frecuente en la práctica endodóntica: la dificultad de lograr una limpieza eficaz en conductos radiculares con anatomías complejas, como el tipo C-shape, particularmente en segundos molares mandibulares. La falta de acceso de los irrigantes a todas las irregularidades internas del sistema de conductos compromete la desinfección y el pronóstico del tratamiento. Este estudio permite explorar alternativas instrumentales que optimicen este proceso, fortaleciendo la toma de decisiones clínicas fundamentadas.

Además, se justifica por el entorno institucional donde se desarrollará en UNICA al promover el uso de tecnologías emergentes como modelos impresos en 3D y el uso del microscopio en investigaciones aplicadas. Esto no solo aporta a la actualización académica del posgrado en Endodoncia, sino que también fomenta una cultura investigativa basada en evidencia, alineada con los estándares internacionales de formación especializada.

Relevancia social

La relevancia social de este estudio se sustenta en la posibilidad de mejorar la calidad de los tratamientos endodónticos en pacientes que presentan anatomías radiculares atípicas, reduciendo las tasas de fracaso y la necesidad de retratamientos o cirugías periaulares. En Nicaragua, donde gran parte de la población accede tarde a los tratamientos dentales, optimizar los protocolos de irrigación representa una mejora significativa en la retención dentaria funcional y estética a largo plazo.

Además, los hallazgos de esta investigación pueden ser socialmente significativos en el contexto de salud pública odontológica, al generar evidencia útil para formar clínicos con criterios más precisos sobre el manejo de casos complejos. Esto se traduce en mejores resultados terapéuticos y mayor satisfacción del paciente, favoreciendo indirectamente el acceso a una atención endodóntica de mayor calidad.

Valor teórico

Desde el punto de vista teórico, este estudio contribuye a profundizar en la comprensión del comportamiento de los irrigantes en sistemas de conductos con morfologías no convencionales, como los tipos C-shape. Pese a que existen investigaciones previas sobre la eficacia de irrigación, pocas han abordado el análisis comparativo entre agujas con distintos diseños en conductos complejos, utilizando modelos 3D Y fotografía microscopía como métodos de evaluación.

Este aporte resulta valioso para enriquecer el conocimiento actual en Endodoncia, especialmente en lo que respecta a la relación entre anatomía radicular, dinámica del irrigante y diseño de instrumentos. Los resultados pueden ser utilizados para fundamentar nuevas hipótesis, actualizar protocolos clínicos o impulsar investigaciones que exploren innovaciones en irrigación activa o pasiva en conductos de difícil acceso.

Utilidad metodológica

El diseño metodológico del presente estudio tiene un alto valor didáctico y replicable, ya que integra tecnologías avanzadas como la impresión 3D, lo que permite estandarizar criterios para una investigación y la fotografía microscópica para visualizar procedimientos clínicos en un entorno controlado. Esto permite estandarizar variables anatómicas y técnicas de irrigación, minimizando sesgos clínicos y favoreciendo la comparación objetiva entre tipos de agujas.

Asimismo, el enfoque metodológico puede servir como modelo para futuras investigaciones en Endodoncia experimental, tanto a nivel de posgrado como de investigación aplicada. La utilización de métodos cuantificables (residuos remanentes por tercios radiculares) aporta rigor científico al estudio y permite establecer parámetros clínicamente útiles con base en evidencia objetiva.

Implicaciones prácticas

Las implicaciones prácticas de esta investigación son directas y clínicas. Al comparar la eficacia de diferentes agujas de irrigación en conductos con morfología tipo C-shape, se ofrecerá al especialista en Endodoncia información objetiva sobre cuál diseño proporciona

mejores resultados de limpieza, particularmente en áreas críticas como los istmos, conductos laterales o el tercio apical.

Estos hallazgos podrán ser incorporados en la práctica clínica y en la enseñanza especializada, facilitando decisiones terapéuticas más precisas y personalizadas. También podrán orientar el desarrollo de nuevas tecnologías y protocolos de irrigación, ajustados a la realidad morfológica de los conductos radiculares complejos, impactando positivamente en la calidad y predictibilidad del tratamiento endodóntico.

7. Limitantes de la investigación

Sobre la viabilidad

En el presente estudio se identificaron diversas limitaciones relacionadas principalmente con la viabilidad técnica y logística. En primer lugar, la ausencia en Nicaragua de equipos de micro-CBCT dificultó la obtención de imágenes de alta resolución necesarias para visualizar con precisión el contenido de la muestra. Esta carencia tecnológica limitó la capacidad de evaluar tridimensionalmente la distribución y eliminación del hidrogel dentro del sistema de conductos radiculares, restringiendo así la profundidad del análisis.

Adicionalmente, no fue posible obtener imágenes tridimensionales mediante escáner intraoral ni tomografía computarizada de haz cónico (CBCT convencional), ya que dichos métodos no permitieron detectar el contenido del hidrogel con la nitidez requerida para este tipo de investigación. También se intentó generar una reconstrucción 3D a través del software AutoCAD, sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios debido a la falta de definición del material experimental en las capturas obtenidas.

Finalmente, se enfrentó una limitación significativa de tiempo y recursos logísticos para realizar el estudio en otro país que contara con la tecnología necesaria. Esta restricción impidió explorar alternativas internacionales que habrían permitido superar las barreras técnicas encontradas a nivel local. En consecuencia, las mediciones y análisis se realizaron utilizando métodos alternativos disponibles en el contexto nacional, lo que, si bien permitió cumplir con los objetivos planteados, condicionó el alcance de los resultados en términos de visualización y exactitud tridimensional.

Sobre las deficiencias

En el contexto de esta investigación, una de las principales deficiencias detectadas radica en la falta de inversión en equipos especializados que permitan realizar estudios de alto nivel en programas de posgrado. Contar con herramientas como micro-CBCT, sistemas de escaneo de alta resolución y software de reconstrucción 3D no solo enriquecería la investigación, sino que también potenciaría el aporte científico de las universidades nacionales, permitiendo competir en igualdad de condiciones con centros internacionales.

La disponibilidad de estos recursos favorecería la formación de investigadores más capacitados y la obtención de datos precisos para publicaciones de alto impacto.

Idealmente, este estudio debía obtener sus resultados a partir de imágenes tridimensionales para medir con exactitud el volumen de residuos en milímetros cúbicos. Este enfoque habría permitido cuantificar de manera más rigurosa el remanente en cada tercio del conducto radicular, proporcionando una base objetiva y reproducible para la comparación entre diseños de agujas. Sin embargo, la ausencia de esta tecnología obligó a recurrir a mediciones lineales, lo que, aunque útil, limita la exactitud y profundidad del análisis.

Es necesario explorar variables como la hidrodinámica de cada diseño de aguja en anatomías complejas, el comportamiento del irrigante en condiciones clínicas simuladas con presión negativa y positiva, y la influencia de diferentes soluciones químicas en la eficacia de limpieza. Asimismo, falta abordar estudios con mayor tamaño muestral y en diferentes tipologías anatómicas para validar la reproducibilidad de los resultados. Solo así se logrará cerrar las brechas actuales y fortalecer la evidencia científica en irrigación endodóntica.

8. Marco teórico

El presente marco teórico tiene como propósito sustentar científicamente la investigación. Esta sección expone las teorías, fundamentos biológicos y biomecánicos, así como la evidencia empírica actual sobre la irrigación endodóntica, la morfología radicular compleja y los sistemas de desinfección asistidos por diferentes diseños de agujas. Asimismo, se revisan investigaciones recientes que han abordado la eficacia de las agujas con extremo abierto, lateral simple y lateral doble, con énfasis en su rendimiento hidráulico en anatomías irregulares. Además, se incluirán definiciones operativas claves como irrigación, C-shape, desinfección química y diseño de aguja, facilitando una mejor comprensión del abordaje investigativo.

8.1 Marco referencial

En la investigación desarrollada por Baasch et al. (2025), se comparó la eficacia de cuatro diseños de agujas de irrigación extremo abierto, lateral simple, lateral doble e IrriFlex para la limpieza del sistema de conductos radiculares en modelos tridimensionales. Utilizando hidrogel fluorescente como simulante de tejido residual y tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) como método de evaluación, se cuantificó el porcentaje de remanentes en los tercios cervical, medio y apical. La aguja de punta abierta obtuvo los mejores resultados, removiendo en promedio un 76.3 % del contenido apical, seguida de IrriFlex con 73.2 %. En contraste, las agujas laterales simples y dobles mostraron una eficacia considerablemente menor, con remociones entre 46 % y 54 %. Esta tendencia se mantuvo también en los tercios cervical y medio, con diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados del estudio confirman que el diseño geométrico de la aguja de irrigación tiene un impacto determinante en la efectividad de limpieza, especialmente en zonas de difícil acceso como el tercio apical. Las agujas de punta abierta, al dirigir el flujo del irrigante axialmente, generan mayor presión hidráulica directamente en el eje del conducto, permitiendo una mejor penetración y arrastre de detritos. Por el contrario, las agujas de salida lateral simple o doble, aunque más seguras en términos de extrusión apical,

distribuyen el flujo de manera tangencial, lo que limita su capacidad para acceder a istmos y conductos laterales, especialmente en anatomías tipo C-Shape.

Desde la perspectiva clínica, estos hallazgos resaltan la importancia de adaptar la elección del diseño de aguja al tipo de morfología radicular. En sistemas de conductos complejos como los tipos C-shape, donde los espacios interconectados dificultan la irrigación homogénea, el uso de agujas que generen flujo axial y con mayor alcance apical podría representar una ventaja significativa para optimizar la desinfección. Esto no solo contribuye a mejorar la calidad del tratamiento endodóntico, sino que además refuerza la necesidad de una toma de decisiones basada en evidencia para seleccionar protocolos de irrigación más efectivos, considerando tanto el irrigante como su medio de administración.

Por otro lado, Alves F. et al. (2024) llevaron a cabo un estudio invitro utilizando raíces mesiales de molares mandibulares extraídos, distribuidas en tres grupos ($n = 18$ cada uno) según el tipo de aguja de irrigación: aguja abierta plana (3 mm del punto de trabajo), aguja cerrada lateral simple (1 mm) y aguja plástica cerrada con dos salidas laterales estilo TruNatomy (1 mm). Tras 30 días de contaminación bacteriana, se aplicó NaOCl al 2,5 % y se midió la reducción bacteriana por qPCR y el volumen de detritos por micro-CT. Los tres grupos mostraron reducciones sustanciales: 99.95 %, 98.93 % y 98.90 % respectivamente. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la eliminación bacteriana global ni en la cantidad de residuos duros entre los grupos, aunque la aguja open-ended generó más casos negativos a nivel apical, incluyendo el istmo.

Estos resultados indican que, cuando se controlan variables como la profundidad de inserción, volumen y flujo del irrigante y tipo de aguja, la eficacia antibacteriana y de limpieza es comparable entre diseños de aguja abiertos y laterales. Sin embargo, el hecho de que la aguja open-ended haya producido más casos negativos en la zona apical sugiere que su capacidad para crear un flujo directo axial permite una mejor descontaminación en zonas de difícil acceso como istmos radiculares que puede no reflejarse completamente en las medidas de reducción bacteriana global.

Hussain, Bjørndal y Markwart (2025) llevaron a cabo un estudio in vitro para comparar la penetración de irrigante y la profundidad de inserción de diferentes diseños de

agujas de irrigación (aguja polimérica multi-vented de 30 G, aguja metálica open-ended de 30 G, aguja lateral polymer de 30 G y aguja metálica con muesca de 27 G), utilizando raíces mesiales de molares mandibulares instrumentadas. Se realizaron irrigaciones con solución de diatrizoato de sodio y se evaluó la eficacia de penetración con y sin activación dinámica manual (MDA). Los resultados mostraron que la aguja multi-vented alcanzó un 99 % de penetración en longitud total, seguida muy de cerca por la aguja open-ended con 98 %. La inserción se profundizó significativamente al aplicar MDA, independientemente del tipo de aguja utilizada.

Estos hallazgos sugieren que tanto la aguja polimérica multi-vented como la open-ended son las más eficaces para asegurar una irrigación cercana al ápice, lo cual es esencial en anatomías complejas como los conductos tipo C-shape. La excelente capacidad de penetración de la aguja multi-vented puede atribuirse a sus múltiples salidas laterales que facilitan un flujo distribuido y extendido dentro del conducto, mientras que la aguja open-ended ejecuta un flujo axial directo con fuerza suficiente para alcanzar casi la longitud total de trabajo.

La incorporación de MDA demostró ser un factor decisivo para alcanzar la longitud de trabajo, sin importar el diseño de la aguja, lo que refuerza la importancia del movimiento dinámico del irrigante para mejorar su distribución longitudinal. Desde una perspectiva endodóntica, esto indica que combinar un diseño adecuado de aguja (preferiblemente multi-vented o open-ended) con activación manual puede optimizar la penetración del irrigante en anatomías radiculares complejas, reduciendo el riesgo de dejar residuos en zonas apicales profundas.

En el estudio Gao et al., (2025) se evaluó el diseño de agujas de irrigación side-vented modificadas (calibre 30G) mediante simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) y validación in vitro en conductos tipo C-shape. Los autores hallaron que las agujas con bisel sólido lograron hasta un 35 % mayor distancia de intercambio de irrigante en comparación con agujas estándar, y que los ángulos de bisel de magnitud media ofrecían el mejor equilibrio entre intercambio eficiente y presión apical reducida. Asimismo, la configuración “sólido-bisel” mostró menor presión apical y niveles aceptables de esfuerzo

de cizallamiento en la pared radicular, lo que sugiere una mejora en la distribución del irrigante sin incrementar el riesgo de extrusión. (Gao et al., 2025)

Desde un análisis crítico, estos resultados tienen implicaciones relevantes para la clínica de endodoncia, especialmente en anatómías radiculares complejas como el sistema tipo C-shape. El incremento del intercambio de irrigante indica una mayor renovación o recambio del líquido dentro del conducto, lo que teóricamente mejora la capacidad del irrigante para llegar a zonas profundas, istmos. La reducción de la presión apical y el mantenimiento de un esfuerzo de cizallamiento controlado apuntan a una mayor seguridad al evitar la extrusión hacia el espacio periapical.

No obstante, debe considerarse que la investigación se centró en simulaciones y modelos *in vitro* bajo condiciones controladas y que la adaptabilidad real e individualizada en dientes humanos podría variar. Por ello, debería interpretarse como un avance tecnológico que requiere complementarse con ensayos clínicos y de laboratorio con anatómías variadas antes de su integración completa en protocolos clínicos rutinarios.

En otros estudios, Tiscareño et al. (2022), evaluaron la efectividad de distintas técnicas de irrigación endodóntica, comparando el uso de agujas de irrigación convencionales con el sistema EndoVac, en términos de penetración del irrigante en el tercio apical. Se utilizaron dientes humanos extraídos, los cuales fueron sometidos a irrigación con solución de hipoclorito de sodio al 2.5 % y luego analizados por microscopía estereoscópica. Los resultados revelaron que el sistema EndoVac logró una penetración del irrigante significativamente mayor en el tercio apical, en comparación con las agujas convencionales. Asimismo, se observó menor formación de burbujas de aire (fenómeno vapor lock), lo que sugiere una mejor dinámica de flujo y evacuación del irrigante.

Estos resultados confirman que el diseño y el principio de funcionamiento del sistema de irrigación influyen directamente en la capacidad del irrigante para alcanzar las zonas apicales, las cuales son críticas para una desinfección efectiva. La superioridad del sistema EndoVac radica en su técnica de irrigación apical negativa, que succiona activamente el irrigante hacia el ápice, minimizando la presión positiva y el riesgo de

extrusión. Esta capacidad de mantener un flujo controlado y continuo permite que el irrigante se distribuya de manera más eficiente en anatomías complejas y de difícil acceso.

Desde una perspectiva clínica, la evidencia presentada sugiere que la elección del sistema de irrigación no debe basarse únicamente en la disponibilidad del instrumental, sino en su capacidad de adaptación a la anatomía radicular del paciente. La capacidad del EndoVac para eliminar el efecto vapor lock representa una ventaja determinante para lograr una desinfección efectiva en el tercio apical.

Rajeswari et al. (2025) evaluaron *in vitro* el efecto de tres calibres de agujas de irrigación de doble salida lateral (27 G, 30 G y 31 G) sobre la eficacia de limpieza apical en premolares mandibulares humanos utilizando radiovisiografía digital. Los resultados indicaron que la limpieza apical fue significativamente mayor con la aguja de 31 G doble salida lateral, seguida por la de 30 G y finalmente la de 27 G. La aguja de 31 G alcanzó la mayor proporción de área liberada del contraste radiopaco después de la irrigación, evidenciando superior eficacia mediante análisis de sustracción digital de imágenes.

Estos resultados sugieren que un calibre más fino, como el de 31 G, mejora significativamente la penetración del irrigante en el tercio apical, facilitando una descontaminación más eficaz en comparación con calibres mayores. Esta mayor limpieza puede atribuirse al acceso más cercano al ápice y al flujo más controlado, lo que favorece el reemplazo del irrigante en zonas críticas. Aunque los grados de limpieza entre los tamaños variaron, la tendencia ascendente hacia agujas más delgadas respalda la hipótesis de que el diámetro influye directamente en el alcance y efectividad del irrigante.

En otro estudio *in vitro* realizado por Baasch et al. (2021) evaluaron la capacidad de penetración del irrigante dentro de sistemas de conductos radiculares cerrados, utilizando jeringas con agujas convencionales frente a agujas NaviTip 30G con salida lateral. Se emplearon dientes monoradiculares humanos, los cuales fueron seccionados y sometidos a irrigación con solución de hipoclorito de sodio coloreada para su análisis. El resultado evidenció que las agujas NaviTip lograron una penetración significativamente mayor del irrigante hacia el tercio apical en comparación con las agujas convencionales. Asimismo, la

distribución del irrigante fue más homogénea y profunda, especialmente en las zonas de difícil acceso.

El estudio demuestra que el diseño estructural de la aguja tiene un impacto directo en la dinámica del flujo del irrigante dentro del sistema de conductos radiculares. Las agujas con salida lateral, como la NaviTip, generan un patrón de distribución que favorece la desorganización del fenómeno “vapor lock” y optimiza la llegada del irrigante al ápice, aún en condiciones de presión reducida. Esta propiedad es clave para mejorar la irrigación en sistemas cerrados, donde la presencia de gas atrapado impide la renovación eficaz de la solución irrigadora. La capacidad de las agujas NaviTip para mejorar esta penetración las posiciona como una alternativa efectiva para conductos con anatomías complejas o comprometidas.

Orozco Gallego et al. (2025) evaluaron la eficacia de cinco técnicas de irrigación final para eliminar restos de tejido duro en el tercio apical de conductos curvos, mediante tomografía computarizada de microfoco (micro-CT). Se utilizaron 60 molares mesiales humanos con conductos curvos, distribuidos aleatoriamente en cinco grupos: irrigación convencional con aguja (CNI), irrigación ultrasónica pasiva (PUI), XP-Endo Finisher (XPF), Easy Clean (EC) y EDDY. Los resultados mostraron que el grupo XP-Endo Finisher presentó la mayor eficacia en la remoción de detritos (media de residuos remanentes: $1.97 \pm 0.61 \text{ mm}^3$), seguido por EDDY ($2.08 \pm 0.72 \text{ mm}^3$) y PUI ($2.36 \pm 0.64 \text{ mm}^3$). La irrigación convencional con aguja fue la menos efectiva.

El estudio confirma que los métodos de irrigación activada superan significativamente a la técnica convencional con aguja en la limpieza del tercio apical, especialmente en conductos curvos. El XP-Endo Finisher demostró un patrón de remoción más uniforme y profundo, probablemente debido a su capacidad de adaptarse tridimensionalmente a la anatomía del conducto y generar turbulencia controlada sin contacto con las paredes radiculares. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar no solo el volumen o concentración del irrigante, sino también el mecanismo de agitación o activación del mismo para lograr una descontaminación efectiva en zonas de difícil acceso.

8.2 Marco conceptual

El objetivo principal del tratamiento de conductos radiculares es eliminar el tejido pulpar o necrótico en el complejo sistema radicular para preservar la funcionalidad dental a largo plazo. El desbridamiento adecuado del sistema radicular, especialmente en la porción apical, es esencial para un tratamiento exitoso. La complejidad de la anatomía del conducto en la región apical desempeña un papel crucial en la reducción de la carga microbiana.

Por tanto, la irrigación es un paso crucial en el tratamiento de endodoncia, ya que permite la eliminación de los residuos y bacterias presentes en el conducto radicular. Los irrigantes son soluciones químicas que se utilizan para este fin, y pueden ser aplicadas mediante diferentes técnicas, como la irrigación convencional o la irrigación ultrasónica con aspiración apical negativa.

Variabilidad morfológica en molares mandibulares

Se ha establecido con claridad que la raíz con un solo conducto cónico y un único foramen apical representa más bien una excepción anatómica que la norma. Se han documentado la existencia de múltiples variantes anatómicas como conductos accesorios, istmos, deltas apicales, asas, forámenes múltiples y configuraciones inusuales como los conductos en forma de C (C-shape), bifurcaciones y conexiones interconductos. Esta riqueza morfológica desafía directamente los principios tradicionales de acceso, conformación de irrigación. Estas variaciones anatómicas pueden limitar el alcance de los instrumentos rotatorios o reciprocatos y dificultar la penetración del irrigante en zonas críticas. (FAN et al., 2004)

Características morfológicas en conductos en C

El sistema de conductos radiculares tipo C representa una variación anatómica compleja del segundo molar mandibular, caracterizada por una fusión parcial o completa de las raíces y una configuración interna continua en forma de "C", visible desde el piso de la cámara pulpar hasta los tercios medio o apical de la raíz. Histológicamente, esta morfología se asocia con una alteración en la segmentación de la vaina epitelial de Hertwig, lo que impide la individualización completa de los conductos radiculares. Su rasgo distintivo

es la presencia de una lámina o istmo dentinario que interconecta los conductos principales, formando una cavidad elíptica o semilunar que puede extenderse a lo largo del eje radicular. En el acceso cameral, el orificio se manifiesta como una única abertura en forma de cinta o un arco de aproximadamente 180°, uniendo los conductos mesiobucal, mesiolingual y distal. Esta disposición suele presentarse en dientes con raíces fusionadas en sus caras vestibular o lingual, donde el suelo cameral adopta una disposición más profunda y morfología irregular, dificultando la localización visual y táctil de los orificios. (Fan et al., 2004).

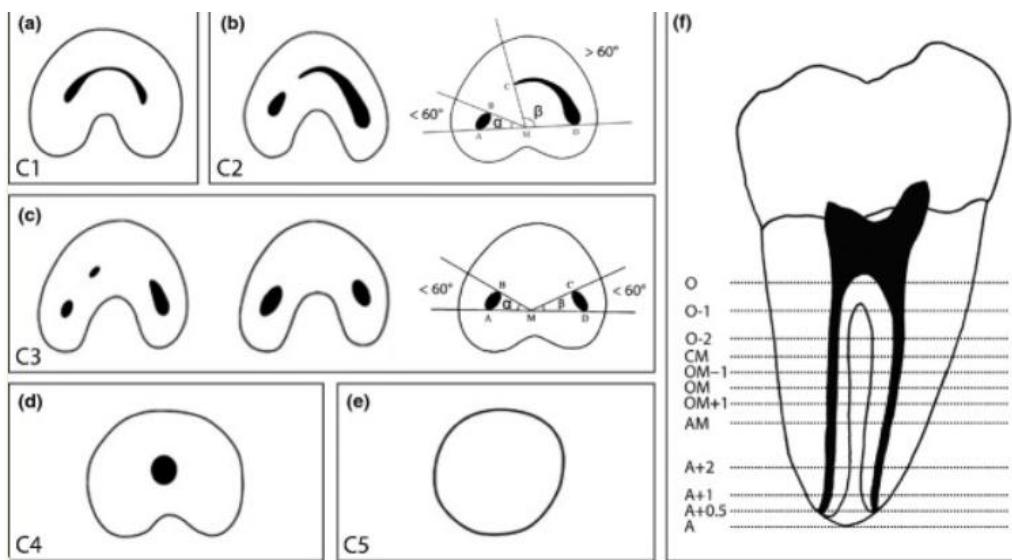
Las raíces que contienen un conducto en forma de C suelen tener una configuración cónica o cuadrada. Se especuló que esta forma de C, se debe a una falla de la vaina epitelial de la raíz de Hertwig para fusionarse en la superficie de la raíz lingual o bucal, que siempre contiene un canal en forma de C. La raíz en forma de C también puede formarse por coalescencia debido al depósito de cemento con el tiempo. (FAN et al., 2004)

Esta morfología puede variar a lo largo del eje radicular, mostrando una anatomía continua en el tercio cervical que se fragmenta en configuraciones múltiples en el tercio apical. Fan et al. propusieron una clasificación morfológica que facilita su identificación mediante CBCT o cortes transversales, la cual se ha convertido en referencia diagnóstica obligatoria. (FAN et al., 2004)

Clasificación de conductos en C

- **Categoría I (C1):** la forma era una “C” ininterrumpida sin separación o división.
- **Categoría II (C2):** la forma del canal se asemeja a una semicolumna resultante de una discontinuación del contorno “C”.
- **Categoría III (C3):** dos o tres canales separados y ambos ángulos, y tenían menos de 60°. El método de medición fue el mismo que el anterior.
- **Categoría IV (C4):** solo un canal redondo u ovalado en esa sección transversal.
- **Categoría V (C5):** no se pudo observar la luz del canal. (FAN et al., 2004)

Figura 1
Clasificación de conductos en C



Nota: Clasificación de conductos en C desde el tipo 1 (forma C) hasta el tipo 5 (obliteración del conducto). Tomado de FAN et al. 2004.

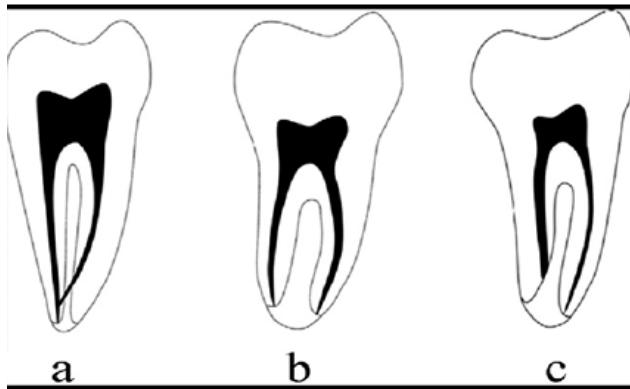
Clasificación radiológica:

Tipo I: Raíz cónica o cuadrada con línea radiolúcida longitudinal separando la raíz en parte distal y mesial. Hay un conducto mesial y distal, que se unen en uno antes del foramen apical

Tipo II: Raíz cónica o cuadrada con línea radiolúcida longitudinal separando la raíz en parte distal y mesial. Hay un conducto mesial y distal que continúan su propio camino hacia el ápice

Tipo III: Raíz cónica o cuadrada con línea radiolúcida longitudinal separando la raíz en parte distal y mesial. Hay un conducto mesial y distal, un conducto se curva como superponiéndose con esa línea radiolúcida cuando se acerca al ápice, y el otro conducto parece seguir su camino propio hacia el ápice.

Figura 2
Clasificación de conductos en C



Nota. Clasificación radiológica de conductos en C, propuesta por Fan, 2006. Tomado de FAN et al. 2004.

Etiología de las raíces en forma de C y conductos radiculares

La dentina en el lado lingual de las raíces en forma de C es más delgada que la dentina en el lado bucal. Plantearon la hipótesis de que esta anatomía se debe a una velocidad reducida de formación de dentina en el lado lingual. La diferencia en la velocidad de formación de dentina entre los lados lingual y bucal es causada por los odontoblastos que ocupan un espacio ensanchado en el lado lingual. Por otro lado, la reducción en el tamaño de la cúspide bucal de los molares mandibulares, que induce la miniaturización del diámetro cervical mesiodistal en el área bucal, resulta en la furcación de las raíces linguales y la no furcación de las raíces bucales. También plantearon la hipótesis de que el lóbulo subpulpar, así como la cresta de furcación intermedia presente en la parte mesiolingual (en lugar de en el centro del diente en el piso de la cámara pulpar) pueden estar relacionados con la formación de un conducto radicular en forma de C. (Kato et al., 2014)

Identificación de conductos radiculares en forma de C

En los procedimientos de conductos radiculares, se utilizan rutinariamente radiografías intraorales convencionales para evaluar la anatomía del conducto radicular. Se ha demostrado que la radiografía panorámica posee buena sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de molares mandibulares con conductos radiculares en forma de C. Si bien este estudio también reconoció las limitaciones de la técnica, sugirió que la radiografía

panorámica debería utilizarse rutinariamente antes de cualquier tratamiento endodóntico para determinar si se requiere un examen más profundo. (Kato et al., 2014)

Irrigación endodóntica principios y fundamentos

El procedimiento de irrigación se define como el lavado y aspiración de todos los restos y sustancias que puedan estar contenidos en la cámara pulpar o conductos radiculares.

Según Cohen los **principios físicos y químicos de la irrigación** en endodoncia se basan en la interacción entre las soluciones irrigadoras y los tejidos dentales, así como en la eliminación de bacterias y restos de la instrumentación.

Algunos de los principios más importantes incluyen:

- **Arrastre mecánico:** Las soluciones irrigadoras deben tener propiedades que permitan arrastrar los restos del tejido orgánico y los residuos de la instrumentación.
- **Disolución tisular:** Las soluciones irrigadoras deben tener propiedades que permiten disolver o alterar el tejido orgánico.
- **Acción antibacteriana:** Las soluciones irrigadoras deben tener propiedades que permiten eliminar bacterias y restos de la instrumentación.
- **Lubricación:** Las soluciones irrigadoras deben tener propiedades que permitan lubricar los conductos radiculares y facilitar la instrumentación.
- **Acondicionamiento de la superficie dentinaria:** Las soluciones irrigadoras deben tener propiedades que permiten acondicionar la superficie dentinaria y facilitar la obturación.
- **Biocompatibilidad:** Las soluciones irrigadoras deben ser biocompatibles y no alterar las propiedades físicas-químicas del sellador en la obturación. (Berman y Kenneth M. Hargreave, 2024)

Propiedades ideales de un irrigante endodóntico

Según una revisión sobre agentes irrigantes y sistemas de activación en Endodoncia, un irrigante ideal debe cumplir con una serie de criterios críticos para optimizar la limpieza y desinfección del sistema de conductos. Entre estas propiedades clave están:

- **Amplio espectro antimicrobiano**, capaz de eliminar biofilms de bacterias grampositivas y gramnegativas, incluyendo Enterococcus faecalis.
- **Capacidad para disolver tejido orgánico** (pulpar necrótica), y facilitar la eliminación de detritos adheridos a las paredes del conducto.
- **Acción quelante efectiva**, para remover el smear layer y abrir los túbulos dentinarios, mejorando la penetración del sellador.
- **Baja tensión superficial y alta fluidez**, favoreciendo la penetración en zonas difíciles como istmos, ramificaciones y túbulos dentinarios.
- **Biocompatibilidad**, mínima citotoxicidad sobre tejidos periapicales en caso de extrusión accidental.
- **Sustantividad o efecto residual**, especialmente relevante en irrigantes como la clorhexidina para prolongar la acción antimicrobiana. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

Soluciones irrigadoras más utilizadas

Hipoclorito de sodio. En la actualidad, la Asociación Americana de Endodoncia define al Hipoclorito de Sodio como un líquido claro, pálido, verde-amarillento, alcalino y con fuerte olor a clorito, el cual tiene la característica de poder disolver el tejido necrótico y restos orgánicos, siendo además un eficiente agente antimicrobiano. Evaluando la composición química el NaOCl, es considerado una sal formada por la unión de dos compuestos químicos, el hidróxido de sodio y el ácido hipocloroso, logrando obtener características oxidantes. En la actualidad, es considerado el irrigante más utilizado en la endodoncia moderna debido a sus propiedades antibacterianas y lubricantes, es hipertónico y muy alcalino con un pH 11.5 a 11.7. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

EDTA. Es un quelante que se utiliza después del NaOCl como irrigante final. La solución de EDTA es neutra o ligeramente alcalina, a un pH ácido, precipita. El EDTA se suele utilizar en soluciones al 17 % o 15 %, aunque algunos estudios sugieren que una solución al 5% e incluso al 1 % es lo suficientemente potente como para eliminar el barrillo dentinario. El tiempo recomendado para eliminar el barrillo dentinario es de unos dos

minutos, pero las capas gruesas pueden requerir tiempos de exposición más prolongados. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

Ácido cítrico. El ácido cítrico se ha utilizado durante mucho tiempo en la irrigación de conductos radiculares. Puede utilizarse en lugar de EDTA como enjuague final para eliminar el barrillo dentinario tras el uso de NaOCl. Se han utilizado soluciones del 1 al 10 %. El ácido cítrico es algo más agresivo que el EDTA, y no se recomienda su uso, después que se utiliza NaOCl, la erosión de la pared del conducto radicular es más pronunciada que con la secuencia EDTA. El ácido cítrico se utiliza como componente de MTAD y Tetraclean, los productos combinados para la eliminación del barrillo dentinario. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

Clorhexidina. El digluconato de clorhexidina (CHX) se utiliza en odontología para la prevención y desinfección de la placa debido a su buena actividad antimicrobiana. También se ha utilizado ampliamente en endodoncia como irrigante final después del EDTA. El CHX es citotóxico para las células humanas, NaOCl no causa un dolor comparable al del NaOCl si se extruye accidentalmente al área periapical. El CHX no disuelve la materia orgánica ni inorgánica y, por lo tanto, no puede utilizarse como única solución de irrigación. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

El CHX ataca la pared celular microbiana o la membrana externa, lo que resulta en la muerte del microbio. Sin embargo, mata las bacterias planctónicas mucho más lentamente que el NaOCl; contra las bacterias del biofilm su efecto es igual o inferior al del NaOCl a 1 y 2% y mucho más débil que el 5 o 6% de NaOCl. (Berman y Kenneth M. Hargreave,2024)

Mecanismos de irrigación (Manual, Rotatorio, Ultrasónico)

La irrigación endodóntica mediante jeringa permite reponer activamente la solución en el conducto, eliminando detritos mayores y favoreciendo el contacto directo con los microorganismos. Sin embargo, el alcance efectivo del irrigante se limita a 1-1,5 mm más allá de la punta de la aguja, siendo crucial su posición y diseño para lograr un desbridamiento eficiente, especialmente en la región apical. El volumen y la velocidad del flujo también influyen directamente en la eficacia de limpieza, por lo que una colocación

precisa cerca de la longitud de trabajo y la elección de una aguja con el calibre y diseño adecuados son determinantes para el éxito del tratamiento. (Delgado et al., 2025)

Existen métodos de irrigación manuales y mecánicos. Los sistemas mecánicos, como la activación sónica, ultrasónica o presión negativa, mejoran el alcance del irrigante mediante agitación activa. La activación ultrasónica produce vibraciones entre 25–40 kHz generando efectos hidrodinámicos potentes, mientras que los sistemas sónicos, con frecuencias de 1–6 kHz, provocan oscilaciones suaves concentradas alrededor de la punta. Estas técnicas permiten limpiar zonas inaccesibles al instrumento convencional y favorecen la desorganización del biofilm bacteriano. (Delgado et al., 2025)

Irrigación manual dinámica

Consiste en la inserción repetida de un cono de gutapercha ajustado a la longitud del trabajo del conducto radicular, se introduce con movimientos cortos y suaves para desplazar el irrigante hidrodinámicamente y activarlo. (Delgado et al., 2025)

Irrigación estática (o pasivo) e irrigación dinámica (o activo)

La irrigación estática. (el término “pasivo”) ocurre cuando la solución se administra con la jeringa y depende de la profundidad de penetración de la aguja de irrigación.

La irrigación dinámica incluye dos partes. La profundidad de penetración del irrigante durante el uso de cualquier tipo de instrumento que es función del tamaño del instrumento y del movimiento aplicado al instrumento. El intercambio de irrigante que es función del cono y del tamaño del canal, estando ambos parámetros relacionados con la profundidad de penetración de la aguja endodóntica. (Mozo et al., 2012)

En las técnicas mecánicas asistidas podemos encontrar dos con ultrasonidos: Combinación de irrigación e instrumentación con ultrasonidos y Irrigación ultrasónica pasiva. En la primera técnica UI la función principal recae sobre la lima, transportando la energía deslizándose por el conducto con el irrigante, produciendo ondas acústicas y cavitación del mismo siendo sometido a alta potencia, lo que permite desorganizar el biofilm y así las bacterias quedan expuestas a la acción del irrigante y se aumenta la función

de este. La otra técnica nombrada, la lima no entra en contacto con las paredes del conducto a diferencia de la primera. (Mozo et al., 2012)

Las técnicas de irrigación manual incluyen la jeringa de presión positiva equipada con una variedad de diseños de agujas y la jeringa realizando una agitación utilizando una punta de gutapercha. (Mozo et al., 2012)

Las técnicas de irrigación asistida por máquina incluyen sonidos y ultrasonidos, así como sistemas más nuevos como el EndoVac, basado en presión negativa apical.

Técnicas de irrigación continuo e intermitente

Actualmente se emplean dos métodos de lavado para irrigar los sistemas de conductos radiculares: el continuo y el intermitente. Con la técnica de lavado intermitente, el irrigante se inyecta en el espacio del conducto radicular con una jeringa y luego se puede activar la solución irrigante; el canal se llena varias veces después de cada ciclo de activación. A la inversa, las técnicas de lavado continuo proporcionan un suministro ininterrumpido de solución de irrigación fresca al conducto radicular. (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022)

Presión negativa apical

Durante el tratamiento del conducto radicular, se ejerce presión contra la pared del conducto radicular cuando la solución irrigante se administra en el espacio del conducto radicular. La presión negativa se refiere a una situación en la que un volumen cerrado tiene una presión más baja que su entorno. (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022)

Muchas personas utilizan un dispositivo de presión negativa con bastante frecuencia cuando utilizan una aspiradora. La presión negativa también se observa en situaciones de cuarentena médica donde una sala de aislamiento tendrá presión negativa, por lo que la salida de aire contaminado se realiza a través de una puerta abierta o una ventana. (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022)

El sistema EndoVac

El sistema EndoVac fue desarrollado para administrar irrigante de manera segura y predecible al extremo apical, permitiendo así una mejor penetración de la solución de

irrigación en la anatomía y morfología inherentes del sistema de conductos radiculares, como istmos, comunicaciones entre canales e intracanales. curvaturas y canales de forma ovalada. Todas estas irregularidades anatómicas hacen que la desinfección del conducto radicular sea extremadamente desafiante. (Govil & Ahmadi, 2023)

El sistema EndoVac administra pasivamente el irrigante elegido hasta el ápice y aborda positivamente el problema de la penetración de la irrigación El sistema de irrigación apical de presión negativa EndoVac tiene tres componentes activos: la punta de entrega de máster (MDT), la macrocánula y la microcánula. El MDT contiene una jeringa de irrigante, que se extrae a través de una aguja de calibre 20. También hay una campana de succión de plástico colocada alrededor de la aguja de calibre 20 que está conectada a un tubo de plástico transparente que se inserta en un adaptador multipuerto que a su vez se inserta en la succión de alto volumen. (Govil & Ahmadi, 2023)

Fenómeno de vapor lock

Dado que las raíces están rodeadas por el periodonto, a menos que el agujero del conducto radicular esté abierto, el conducto radicular se comporta como un canal cerrado.

Esto produce un fenómeno de vapor lock que resiste el desplazamiento durante la instrumentación y la irrigación final, evitando así el flujo de irrigante hacia la región apical y el desbridamiento adecuado del sistema de conductos radiculares. (Boutsikis & Arias-Moliz, 2022)

Fenómeno de vapor lock también produce atrapamiento de gas en el tercio apical. La mezcla gaseosa queda atrapada en la región apical y forma rápidamente una columna de gas en la que es imposible una mayor penetración del fluido. La extensión de los instrumentos dentro de esta esclusa de vapor no reduce ni elimina la burbuja de gas, así como no permite un flujo adecuado de irrigante. “Para que la solución sea mecánicamente efectiva en la eliminación de todas las partículas, tiene que: alcanzar el ápice; crear una corriente (fuerza); y llevarse las partículas”. (Boutsikis & Arias-Moliz, 2022)

Fenómeno de vapor lock y la consideración por la seguridad del paciente siempre han impedido la limpieza profunda de los 3 mm apicales. Es de vital importancia determinar

qué sistema de irrigación será efectivamente el tercio apical, así como los istmos y canales laterales. (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022)

Diseño de las agujas de irrigación

Para realizar la irrigación se ha sugerido el uso de jeringas de capacidad variable que van desde 1 a 20 mL. Aunque se ha prestado poca atención al tamaño de la jeringa utilizada, esto puede afectar la fuerza táctil necesaria para irrigar a un determinado caudal. La dinámica de fluidos elemental puede proporcionar una explicación para este efecto.

Durante la irrigación con jeringa, un médico aplica fuerza táctil al émbolo de la jeringa. Esta fuerza se transmite al irrigante dentro de la jeringa, donde se acumula presión. Un médico necesitará aplicar diferentes cantidades de fuerza y sentirá diferentes niveles de dificultad para empujar el émbolo cuando se utilicen jeringas de diferentes tamaños, incluso si la presión realmente desarrollada dentro de la jeringa es idéntica; esto resulta de la definición de presión. Las jeringas más grandes son más difíciles de presionar y controlar (Boutsioukis & van der Sluis). Se ha recomendado una jeringa de 5 ml como un compromiso razonable entre recargas menos frecuentes y facilidad de uso. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

Es fundamental comprender el comportamiento hidráulico de las agujas empleadas durante la irrigación del sistema de conductos radiculares, ya que su diseño incide directamente en la distribución y eficacia del irrigante. En el caso de las agujas de punta abierta como las planas, biseladas o con muescas, el flujo se caracteriza por un chorro directo y concentrado, que se proyecta de manera intensa hacia la zona apical del conducto. Esta corriente central, dependiendo de la geometría interna del conducto, la profundidad de inserción y el caudal de irrigación, tiende a dispersarse gradualmente conforme se aleja del extremo de la aguja. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

El flujo de retorno, o flujo inverso, se genera adyacente a las paredes del conducto en dirección coronal. Se ha observado que las agujas planas y biseladas presentan un chorro ligeramente más penetrante en comparación con las agujas con muescas, extendiéndose con mayor intensidad hacia el ápice. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

Por otro lado, las agujas de extremo cerrado, como las de salida lateral simple o doble, inducen un patrón de flujo más complejo. El irrigante emerge desde las salidas laterales cercanas a la punta y adopta una trayectoria curva, que fluye alrededor del extremo de la aguja hacia la región coronal. Esta dinámica genera vórtices contrarrotativos en la porción apical del conducto, cuya presencia se extiende hasta las cercanías de la longitud de trabajo. Dichos vórtices permiten una circulación fluida del irrigante en zonas que, de otra manera, serían de difícil acceso. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

Sin embargo, a medida que se aproximan al ápice, la velocidad del flujo disminuye, lo cual limita la eficacia de penetración en zonas apicales. En el caso de las agujas de ventilación doble, aunque poseen una salida distal adicional, esta tiene una participación marginal en el flujo total, ya que más del 93% del irrigante se expulsa a través de la salida proximal, sin proporcionar beneficios significativos adicionales en términos de eficacia de irrigación. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

Un diseño experimentalmente propuesto, pero actualmente no disponible comercialmente, es la aguja multiventilada, cuyo objetivo es generar múltiples chorros de irrigante dirigidos perpendicularmente hacia las paredes del conducto. Los chorros más potentes emergen de las salidas más cercanas a la punta, representando aproximadamente el 73% del flujo total. Aunque se observa un buen direccionamiento hacia el orificio coronal, la penetración apical sigue siendo limitada, ya que las velocidades en la región apical son significativamente bajas. (Velayutham Gopikrishna et al., 2016)

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de elegir el tipo de aguja no solo por su compatibilidad anatómica con el conducto, sino también por su capacidad real de facilitar la limpieza química efectiva de zonas críticas como istmos, ramificaciones apicales y conductos accesorios.

Protocolo de irrigación recomendado (AAE)

Durante la instrumentación mecánica del conducto radicular, debe emplearse regularmente una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) en concentraciones usuales entre 0,5 % y hasta 6 %, preferiblemente en volúmenes suficientes para permitir flujo y renovación del irrigante. (Lisican, 2021)

Una vez se ha completado el modelado (preparación) del conducto al largo de trabajo deseado y con el tamaño de cono/apertura apical adecuado, se recomienda activar el irrigante para mejorar su penetración en el tercio apical y las zonas no instrumentadas. Esta activación puede realizarse mediante irrigación con aguja colocada lo más cerca posible al ápice (sin riesgo de extrusión), o mediante dispositivos de activación (sónica, ultrasónica, presión negativa, etc.). (Lisican, 2021)

En la fase de irrigación final la AAE indica que se debe combinar NaOCl para disolver tejido orgánico, con un agente quelante como EDTA para remover la smear-layer (capa delgada de detritos e iones minerales adheridos a las superficies radiculares). Se debe tener en cuenta la interacción entre soluciones (p. ej., EDTA puede reducir la capacidad de NaOCl para disolver tejido si se mezclan directamente). (Lisican, 2021)

La aguja de irrigación debe corresponder al tamaño del conducto preparado y debe colocarse lo más cerca posible del ápice, sin quedar demasiado espacio libre que pueda generar extrusión de irrigante hacia el espacio periapical. (Lisican, 2021)

Después de la irrigación, se sugiere realizar un secado adecuado del conducto (con conos de papel) y proceder a la obturación o medicación intermedia según el caso, asegurando una adecuada limpieza antes de sellado. (Lisican, 2021)

Consideraciones adicionales

El AAE enfatiza que la irrigación no reemplaza la instrumentación mecánica, pero sí es esencial para alcanzar las zonas del sistema de conductos que no pueden instrumentarse (istmos, ramificaciones, conductos laterales). (Lisican, 2021)

Aunque no se especifica un protocolo único rígido (con tiempos exactos, volúmenes fijos universalmente), se hace hincapié en los principios de renovación del irrigante, flujo continuo o activación, penetración apical, y coordinación de soluciones químicas. (Lisican, 2021)

Concepto y evolución del microscopio en endodoncia

El microscopio es un instrumento óptico de alta precisión que ha revolucionado la práctica odontológica y sobre todo la parte clínica en endodoncia al permitir una

visualización magnificada, iluminada y tridimensional del campo operatorio. Introducido por primera vez en odontología en la década de 1990, este dispositivo marcó un cambio sustancial en la forma de abordar los tratamientos radiculares. (Accioly Lins et al., 2013).

Su diseño incorpora un sistema binocular con lentes apocromáticos, iluminación coaxial de fibra óptica y aumentos variables entre 3x hasta 25x, lo que proporciona una percepción de profundidad y una nitidez superior respecto a la visión directa (Liu et al., 2023). Esta capacidad de magnificación permite al operador observar estructuras anatómicas complejas como istmos, conductos accesorios, microfracturas y perforaciones con un detalle que anteriormente era inalcanzable. Por ello, el microscopio se considera un componente esencial en la endodoncia microscópica moderna, tanto para la ejecución clínica como para la documentación científica de los procedimientos. (Accioly Lins et al., 2013).

Ventajas del uso del microscopio operatorio

El empleo del microscopio en endodoncia ofrece ventajas clínicas, ergonómicas y científicas ampliamente documentadas:

- **Mayor precisión diagnóstica y operatoria:** La magnificación mejora la capacidad del profesional para identificar estructuras anatómicas finas y patologías incipientes. Estudios de Santos et al. (2024) demuestran que el uso del microscopio incrementa la exactitud en la detección de istmos y microfracturas radiculares.
- **Minimización del daño iatrogénico:** Al permitir una instrumentación más controlada, se reduce la probabilidad de perforaciones, sobreinstrumentación y pérdida de estructura dentinaria (AAE, 2020).
- **Mejora ergonómica:** La postura vertical del operador frente al microscopio disminuye la tensión cervical y lumbar, optimizando la estabilidad manual y reduciendo la fatiga ocular (Buzatu, 2023).
- **Mejor iluminación y control de profundidad:** La luz coaxial integrada ofrece una visibilidad homogénea incluso en regiones profundas del sistema de conductos, sin sombras ni reflejos.

- **Estandarización en investigación:** En estudios experimentales, la magnificación controlada asegura la uniformidad en la observación, lo que fortalece la validez y la fiabilidad de los resultados (Kumar, 2024).
- **Valor educativo y documental:** Las imágenes capturadas mediante microfotografía constituyen material didáctico de alto valor para la enseñanza clínica y la formación de especialistas (Liu et al., 2023).

Estas ventajas han llevado a que la American Association of Endodontists (2020) reconozca el uso del microscopio operatorio como parte del estándar de calidad en la práctica endodóntica moderna, tanto para diagnóstico como para tratamiento y documentación.

9. Marco metodológico

Este apartado describe el diseño del estudio, el cual se centra en evaluar comparativamente la eficacia de diferentes diseños de agujas de irrigación endodóntica en conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía C-shape, empleando modelos tridimensionales y análisis mediante fotografía microscópica. Asimismo, se explica el desarrollo del trabajo experimental, incluyendo la preparación de las muestras, la aplicación de los protocolos de irrigación, la captura y análisis de imágenes, y la medición de residuos remanentes.

9.1 Tipo de investigación

La metodología del presente estudio se estructura de manera coherente con su naturaleza experimental y enfoque cuantitativo, orientado a medir y comparar resultados de forma objetiva. El tipo de investigación se define como aplicada y de laboratorio, ya que busca aportar evidencia científica útil para la práctica clínica a través de un diseño.

Según el enfoque: Cuantitativo

Esta investigación se enmarcó dentro del enfoque cuantitativo, ya que busca medir y analizar variables numéricas relacionadas con la eficacia de diferentes agujas de irrigación, aplicadas en un entorno controlado mediante modelos impresos en 3D de segundos molares mandibulares con anatomía C-shape. El estudio contempló la recolección sistemática de datos medibles, como la cantidad de residuos remanentes tras la irrigación y la penetración del irrigante en los distintos tercios del sistema de conductos, evaluados mediante fotografía microscópica, lo que permitió un análisis estadístico.

Este enfoque permite establecer relaciones objetivas entre el diseño de la aguja (extremo abierto, lateral simple, lateral doble) y la eficacia en la limpieza endodóntica, sustentando las conclusiones sobre evidencia empírica. Al utilizar métodos estadísticos para comparar los resultados entre grupos experimentales, se facilita la validación, replicabilidad y confiabilidad del estudio, características fundamentales de una investigación cuantitativa en el campo clínico endodóntico.

Según la aplicabilidad de sus resultados: Aplicadas

Desde la perspectiva del alcance, esta investigación se clasifica como correlacional, dado que se buscó establecer la relación entre el diseño de las agujas de irrigación y la eficacia en la limpieza de conductos radiculares, específicamente en anatomías tipo C-shape. No se limita únicamente a describir el comportamiento individual de cada tipo de aguja, sino que compara sus efectos bajo parámetros cuantificables, como el porcentaje de residuos remanentes o la distribución del irrigante en distintas zonas del conducto.

Este tipo de estudio no implicó la manipulación directa de variables independientes como en un experimento causal puro, pero sí permitió inferir asociaciones o grados de relación. En este caso, se buscó determinar si el diseño estructural de la aguja influye significativamente en los niveles de limpieza alcanzados, aportando evidencia útil para mejorar la toma de decisiones clínicas basadas en la correlación observada entre técnica de irrigación y eficacia de descontaminación.

Según el nivel de profundidad del conocimiento: Estudio correlacional

La investigación se clasifica como aplicada, ya que está orientada a resolver una problemática clínica concreta dentro del campo de la endodoncia: optimizar la limpieza del sistema de conductos radiculares en molares mandibulares con anatomía C-shape mediante el uso de agujas de irrigación más eficaces. No se trata de una investigación teórica o básica, sino que busca generar conocimiento útil para la práctica clínica especializada, en función de mejorar el pronóstico del tratamiento endodóntico.

Los resultados de este estudio contribuyeron directamente a la toma de decisiones terapéuticas y a la elección racional del instrumental en escenarios clínicos reales. Además, tienen implicaciones prácticas en la formación de estudiantes de posgrado, la actualización de protocolos de irrigación y la mejora de los estándares de atención endodóntica en instituciones académicas y de salud en Nicaragua y otros contextos con recursos limitados.

Según su orientación en el tiempo: estudio transversal

Este trabajo se desarrolló bajo un diseño de corte transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un solo momento en el tiempo. Se utilizaron modelos

tridimensionales previamente preparados y sometidos a los diferentes protocolos de irrigación en condiciones experimentales estandarizadas, para posteriormente evaluar la presencia de residuos mediante imágenes microscópicas sin necesidad de seguimiento longitudinal.

La elección del diseño transversal es adecuada dado que el objetivo del estudio es evaluar y comparar la eficacia de diferentes tipos de agujas en un momento determinado, no se pretende observar cambios o progresiones en el tiempo. Este tipo de diseño permite una evaluación eficiente, objetiva y controlada de las variables bajo análisis, siendo apropiado para investigaciones en laboratorios de simulación como el que se plantea en esta tesis.

Según tipo de diseño: de campo

La investigación tiene un diseño de campo, ya que se realizó fuera del laboratorio tradicional, en un entorno clínico-simulado con condiciones controladas, pero en contacto directo con el objeto de estudio. El uso de modelos 3D de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape impresos en resina permite simular condiciones clínicas reales sin la variabilidad biológica de un paciente, conservando el rigor técnico de la investigación aplicada.

Aunque se utilizan elementos tecnológicos como el uso del microscopio y modelos impresos en 3D, el diseño es de campo porque la recolección de datos proviene de la manipulación directa de los modelos por el investigador, replicando procedimientos clínicos que se ejecutan en el tratamiento endodóntico convencional. Esta aproximación ofrece una combinación ideal entre control metodológico y aplicabilidad práctica, alineada con los objetivos de la investigación.

9.2 Hipótesis de investigación

Hipótesis (Alternativa)

Existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de residuos remanentes en los tercios cervical, medio y apical del sistema de conductos radiculares con anatomía tipo C-shape, según el diseño de la aguja de irrigación utilizada.

Hipótesis (Nula)

No existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de residuos remanentes en los tercios cervical, medio y apical del sistema de conductos radiculares con anatomía tipo C-shape, según el diseño de la aguja de irrigación utilizada.

9.3 Definición operativa de las variables

En este apartado se presentan las definiciones operativas correspondientes a las variables derivadas de los objetivos específicos del estudio, con el propósito de establecer de manera clara y precisa la forma en que cada una de ellas fue medida, analizada y relacionada dentro del proceso investigativo. La operacionalización de las variables permitió traducir los conceptos teóricos en indicadores observables y cuantificables, asegurando la coherencia entre el marco teórico, los objetivos y los instrumentos de recolección de datos. De este modo, se logró identificar la variable independiente diseño de la aguja de irrigación y la variable dependiente cantidad de residuos remanentes, estructuradas según sus dimensiones, subvariables e indicadores aplicados a los distintos tercios radiculares (cervical, medio y apical). Esta sistematización permitió establecer la relación directa entre el diseño geométrico de las agujas evaluadas (extremo abierto, lateral simple y lateral doble) y su eficacia en la limpieza del sistema de conductos radiculares tipo C-shape, garantizando una medición objetiva, estandarizada y congruente con el enfoque cuantitativo del estudio.

Objetivo específico 1

Identificar el diseño de aguja de irrigación que presenta mayor eliminación de residuos en conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-Shape, utilizando modelos tridimensionales.

Tabla 1

Definición operativa del objetivo específico 1

Variable conceptual	Dimension / Sub variables	Indicador / Variable operativa	Ítems	Tipo de variable
Diseño de aguja de irrigación	Extremo abierto, lateral simple, lateral doble	Clasificación del diseño de aguja empleadas	Registro del tipo de aguja	Cualitativa nominal

Nota. Se aborda el diseño de aguja establecida para indicar las variables.

Objetivo específico 2

Medir la cantidad de residuos tras la irrigación con cada diseño de aguja, según los tercios cervical, medio y apical del sistema de conductos radiculares.

Tabla 2

Definición operativa del objetivo específico 2

Variable conceptual	Dimensión / Subvariables	Indicador / Variable operativa	Ítems	Tipo de variable
Cantidad de residuos remanentes	Tercios radiculares (cervical, medio, apical)	Escala visual de limpieza (0= limpieza total; 1= satisfactoria; 2= parcial; 3= deficiente; 4= insatisfactoria)	Evaluación visual de residuos remanentes en los tercios cervical, medio y apical	Cualitativa ordinal

Nota. Obtener una medida según cada tercio.

Objetivo específico 3

Cuantificar el porcentaje de tejido remanente posterior a la irrigación en cada diseño de aguja, mediante análisis de imágenes postoperatorias.

Tabla 3

Definición operativa del objetivo específico 3

Variable conceptual	Dimensión / Subvariables	Indicador / Variable operativa	Ítems	Tipo de variable
Porcentaje de tejido remanente	Promedio de residuos por aguja y por tercio	% de limpieza obtenido tras sumar y totalizar los valores de la escala visual por grupo	Registro del porcentaje de limpieza por tipo de aguja y por tercio radicular; cálculo del promedio porcentual general por grupo experimental	Cuantitativa discreta/porcentual

Nota. El porcentaje de remanente permite obtener el mejor diseño de aguja.

9.4 Población y muestra

La población objeto de estudio estuvo conformada por modelos tridimensionales (3D) de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape, impresos en resina biocompatible de alta precisión, los cuales fueron utilizados para evaluar la eficacia de diferentes diseños de agujas de irrigación en la limpieza del sistema de conductos radiculares. Dado que se disponía de un total limitado de 30 modelos 3D que cumplían con los criterios morfológicos y técnicos requeridos, se optó por trabajar con el total de la población disponible. Por esta razón, no se aplicó un muestreo probabilístico, ya que el tamaño reducido de la población no justificaba la segmentación aleatoria.

En este contexto, se implementó un muestreo por censo, considerando como muestra la totalidad de los 30 modelos dentarios. Esta estrategia metodológica garantiza una mayor representatividad de los datos, reduce el margen de error y fortalece la validez interna del estudio, al permitir evaluar directamente la eficacia comparativa de las agujas de irrigación en todos los casos disponibles. Además, el uso uniforme de modelos impresos en 3D controló las variables anatómicas, lo que favorece la estandarización del experimento y la interpretación precisa de los resultados.

9.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Prueba piloto

La prueba piloto del presente estudio fue realizada en Clínica Baldizón Dental Care, situada en la ciudad de Managua, departamento de Managua, bajo la supervisión de la Dra. Ana Cecilia Baldizón, tutora del presente estudio.

Se seleccionó el material y se determinó utilizar un diente 3D por cada diseño de aguja Grupo A (aguja extrema abierto), Grupo B (aguja doble salida lateral), Grupo C (aguja salida lateral simple).

Materiales y equipos:

1. Papel campo.
2. Gasas
3. Vaso desechable
4. Jeringa 5ml
5. Guantes estériles
6. Hipoclorito de sodio al 5.25%
7. Mascarilla
8. Fresa redonda tallo largo numero 4
9. Fresa endo Z marca Dentsply.
10. Explorador endodóntico marca coricama.
11. Sonda periodontal Carolina del norte Medesys
12. Pieza de alta marca W&H.
13. Regla milimétrica marca Microdent
14. Lima tipo K 15 taper 0.2
15. Limas mecanizadas sistema rainbow ramo medico
16. Conos de papel eighteeth 30 taper 0.4
17. Endo moto marca Woodpecker modelo Ai Motor Terauchi.

18. Sensor woodpecker.
19. Rayos X mini ray woodpecker.
20. Aguja de extrema lateral marca ultradent.
21. Aguja doble extremo lateral marca Fanta.
22. Aguja punta abierta marca ZZ linker.

Durante esta prueba, se logró determinar el tamaño de apertura estandarizada por cada diente, la longitud de trabajo y del mismo modo, determinar la velocidad del flujo del irrigante, el tipo de irrigante y la cantidad del irrigante, por otro lado, el sistema mecanizado óptimo para realizar el estudio tomando en cuenta precio, calidad y efectividad de corte.

Figura 3
Materiales y equipos - prueba piloto



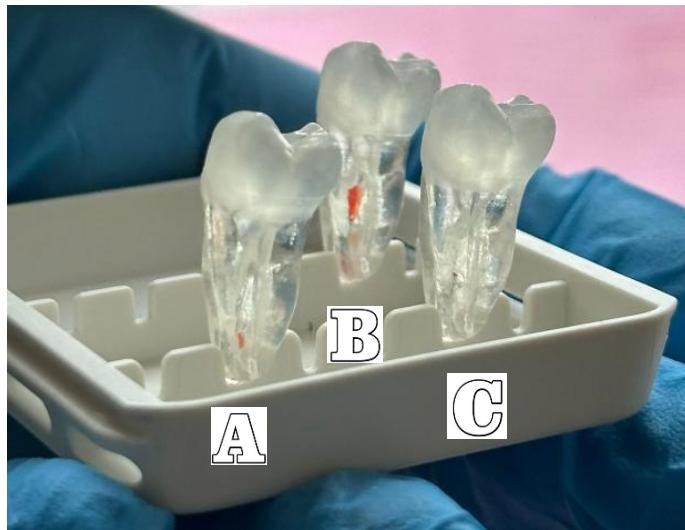
Nota. Algunos de los materiales y equipos a utilizar en prueba piloto.

El grupo A fue utilizar la aguja doble salida lateral, aquí se estableció la longitud para introducir la aguja en el interior del conducto de 3mm antes de longitud de trabajo inicial, según las indicaciones del fabricante.

El grupo B se utilizó la aguja de extremo abierto aquí se estableció la longitud para introducir la aguja en el interior del conducto de 3mm antes de longitud de trabajo inicial, según las indicaciones del fabricante.

En el grupo C aguja salida lateral aquí se estableció la longitud para introducir la aguja en el interior del conducto de 3mm antes de longitud de trabajo inicial, según las indicaciones del fabricante.

Figura 4
Limpieza y conformación



Nota. Fotografía tomada posterior a la limpieza y conformación.
Grupo A con remanente en tercio apical, Grupo B remanente en tercio medio y grupo C, sin remanente.

Durante esta fase experimental no se obtuvieron microfotografías mediante microscopía óptica; únicamente se procedió a la ejecución del ensayo y a la observación directa del remanente a lo largo de toda la extensión radicular. Se constató una mayor acumulación de remanente en el tercio medio radicular del grupo B, seguida por el grupo A y, en menor proporción, por el grupo C. Esta prueba piloto permitió validar y estandarizar el protocolo de recolección de datos, garantizando la disponibilidad y correcta utilización del instrumental, así como la previsión adecuada de los materiales requeridos para la ejecución del procedimiento experimental.

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Clínica Dental Montecristo, situada en la ciudad de Matagalpa, departamento de Matagalpa, propiedad del Dr. Silva Mendoza.

La selección de este centro se fundamentó en que dispone de una infraestructura apropiada, asimismo, cuenta con equipamiento tecnológico de última generación e instrumental especializado en endodoncia, lo cual garantizó condiciones óptimas para la ejecución del protocolo experimental. Estas características facilitaron el procesamiento ágil y preciso de los procedimientos, permitiendo completar el estudio en los tiempos establecidos y asegurando la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

Fotografías microscópicas

Los registros fotográficos fueron obtenidos utilizando un microscopio endodóntico Seiler, modelo ALPHA AIR 3, configurado con una distancia binocular de 57 mm y una distancia interpupilar ajustada individualmente al operador (+1.5 D en el ojo izquierdo y -2 D en el ojo derecho). Se emplearon lentes apocromáticos con un aumento de 3x, con el fin de optimizar la resolución óptica, complementados con un sistema de iluminación LED estándar de 150,000 lux. El modelo tridimensional del diente fue posicionado a una distancia aproximada de 45 cm del objetivo, garantizando un campo visual nítido, estable y libre de aberraciones ópticas.

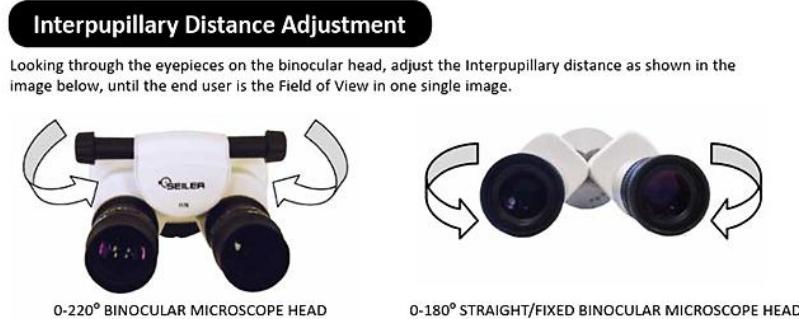
Figura 5

Microscopio Seiler, modelo ALPHA AIR 3



*Nota. Microscopio Seiler, modelo ALPHA AIR 3 que permite una visión ampliada y detallada del interior de los modelos 3D.
Foto tomada de Seiler medical.com*

Figura 6
Lentes oculares del Microscopio Seiler, modelo ALPHA AIR 3



Nota. Distancia bipupilar e interpupilar calibrada por el operador. Foto tomada de Seiler medical.com

Figura 7
Microscopio Seiler



Nota. Microscopio Seiler en clínica dental MonteCristo. Foto del autor.

Para la integración del sistema de captura digital, se acopló una cámara Canon EOS Rebel T6i mediante un beam splitter conectado al cabezal trinocular, junto con un adaptador fotográfico con sistema T-mount compatible con Canon, lo que permitió un acoplamiento estable y la transmisión de imágenes sin distorsión ni pérdida de resolución diagnóstica. Posteriormente, se realizó la calibración óptica, alineando el plano focal de la

cámara con el campo visual del operador mediante el ajuste de dioptrías y la configuración manual de los parámetros de exposición.

Se estableció un valor de ISO 400, con el fin de equilibrar la sensibilidad lumínica y minimizar el ruido digital; una velocidad de obturación de 1/80 s, adecuada para evitar artefactos por movimiento; y una apertura de diafragma de f/5.6, lo que permitió optimizar la profundidad de campo y mantener en foco la mayor parte de la zona operatoria. La fuente de iluminación LED de alta intensidad (150,000 lux) propia del microscopio aseguró una exposición homogénea y precisa, sin necesidad de ajustes compensatorios adicionales en la cámara.

Figura 8
Cámara Canon EOS modelo Rebel T6i



Nota. Cámara Canon utilizada para la toma de fotografías microscopias y para fotografías de campo. Fotografía tomada de: <https://www.cla.canon.com/es>

Diseño dientes 3D

No fue requerida la aprobación de un comité de ética para la realización del presente estudio, dado que no se emplearon muestras biológicas de origen humano ni animal. Se seleccionaron aproximadamente 30 dientes con morfología tipo C-shape, clasificación II de Fan, a partir de los cuales se generaron al menos 10 réplicas tridimensionales para cada grupo experimental. Las réplicas fueron elaboradas en resina 3D y adquiridas comercialmente (Surpreendente3D Tooth, Vila Nova de Gaia, Oporto, Portugal). Se decidió

utilizar este tipo de anatomía ya que ofrece dos conductos independientes, manteniendo la irregularidad del conducto mesial.

Figura 9
Diente modelo 3D



Nota. Fotografía microscópica del diente 4.7, cara bucal. Foto del autor.

Datos de fabricación dientes 3D en la fase inicial

Los archivos STL correspondientes a las réplicas tridimensionales fueron importados al software AnyCubic Photon Workshop, con el propósito de determinar la posición exacta y los soportes requeridos para el proceso de impresión posterior. Esta etapa fue fundamental para garantizar la precisión dimensional y la estabilidad estructural de los modelos durante la fabricación aditiva.

Posteriormente, se dispusieron cuidadosamente diez réplicas anatómicamente idénticas en el depósito de la impresora Anycubic Photon Mono M5s (Anycubic Technology Co., Shenzhen, China), equipo con capacidad de producción de modelos a una resolución máxima de 10 µm. El archivo de impresión generado fue almacenado de forma segura en una unidad flash USB SanDisk (Milpitas, California, EE. UU.) e insertado inmediatamente en la impresora para iniciar el proceso de manufactura.

Durante la impresión, el depósito de la impresora fue cargado con 200 mL de resina transparente lavable con agua (Anycubic Technology Co., Shenzhen, China), formulada para responder a longitudes de onda comprendidas entre 365 y 405 nm, lo que permitió obtener réplicas con alta fidelidad morfológica. El proceso de impresión tuvo una duración aproximada de 90 minutos, desde la inicialización hasta la finalización del ciclo completo.

Una vez concluida la impresión, las réplicas fueron sometidas a un proceso de limpieza y fotopolimerización. Para la eliminación del exceso de resina en los conductos, los modelos se sumergieron en agua caliente utilizando el dispositivo Anycubic Wash & Cure Plus (Anycubic Technology Co., Shenzhen, China). Posteriormente, se llevó a cabo el curado final durante 20 minutos en el mismo equipo.

Finalizado el proceso de poscurado, se procedió a la separación de la raíz distal de cada réplica, con el objetivo de evitar la superposición radicular y reducir el riesgo de artefactos durante la evaluación final de las imágenes. Cada grupo experimental estuvo conformado por diez réplicas tridimensionales de resina ($n = 30$), lo que permitió realizar una comparación exhaustiva entre los diferentes tipos de agujas evaluados en el estudio.

Colocación del hidrogel en los modelos

Una aguja NaviTip de calibre 30 G fue empleada para llenar uniformemente el sistema de conductos radiculares y administrar la mezcla de biopelícula artificial (AB) formulada a base de un hidrogel. Durante la inyección, el hidrogel mantuvo un estado líquido y exhibió propiedades capilares óptimas, lo que permitió una distribución homogénea del material sin formación de espacios vacíos a lo largo de todo el sistema de conductos.

El hidrogel fue preparado siguiendo el protocolo descrito por Macedo, Robinson, Verhaagen, Walmsley, Versluis, Cooper y van der Sluis. Para su elaboración, se disolvieron 3 g de gelatina (Merck, Darmstadt, Alemania) y 0,06 g de hialuronato de sodio al 95 % (Fisher, Waltham, MA, EE. UU.) en 45 mL de agua desionizada a 50 °C. Posteriormente, se incorporaron 0,25 g de colorante alimentario rojo (Condi Alimentar, Camarate, Portugal) y 0,1 g de microesferas de vidrio huecas (diámetro medio: 10–11 μm ; densidad: $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; Sigma-Aldrich, Bornem, Bélgica) con el objetivo de mejorar la visibilidad del AB dentro de los conductos.

Cabe destacar que el hidrogel se mantuvo en estado líquido a 30 °C hasta el momento de la inyección y se solidificó en aproximadamente 1 minuto al alcanzar la temperatura ambiente, proceso que fue verificado individualmente para cada muestra con el fin de asegurar la consistencia experimental.

Materiales y equipos:

1. Papel campo.
2. Gasas
3. Vaso desechable
4. Jeringa 5ml
5. Guantes estériles
6. Hipoclorito de sodio al 5.25%
7. Mascarilla
8. Fresa redonda tallo largo numero 4
9. Fresa endo Z marca Dentsply.
10. Explorador endodóntico marca coricama.
11. Sonda periodontal Carolina del norte Medesy
12. Pieza de alta marca W&H.
13. Regla milimétrica marca Microdont
14. Lima tipo K 15 taper 0.2
15. Limas mecanizadas sistme blue V marca Perfect
16. Conos de papel eighteeth 30 taper 0.4
17. Endo moto marca Woodpecker modelo Ai Motor Terauchi .
18. Sensor woodpecker.
19. Rayos X mini ray woodpecker.
20. Aguja de extrema lateral marca ultradent.
21. Aguja doble extremo lateral marca Fanta.
22. Aguja punta abierta marca ZZ linker.

Protocolo de preparación químico- mecánica

1. Se dividieron los 30 dientes 3D en 3 grupos experimentales Grupo A=10 (Aguja doble salida lateral), Grupo B=10 (Aguja extremo abierto), y Grupo C=10 (Aguja salida

lateral Navitip). Todas las muestras fueron recolectadas alrededor de 6 días subdividiéndola 5 por día, para evitar la fatiga del operador.

Figura 10

Grupo A - Aguja doble salida lateral



Nota. Fotografía inicial grupo A, debidamente codificados. Foto del autor.

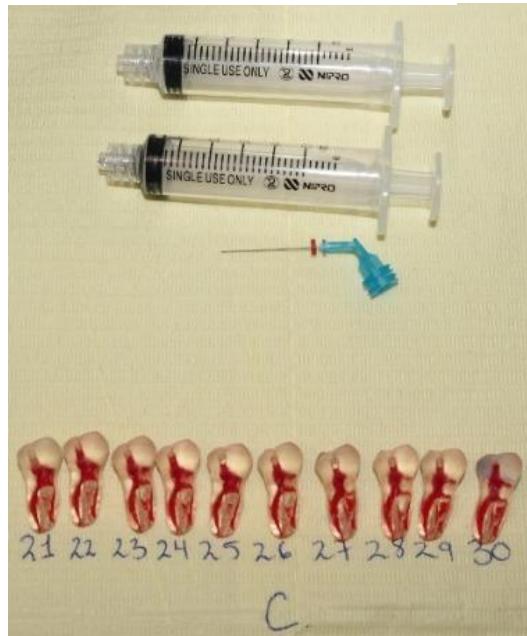
Figura 11

Grupo B - Aguja de extremo abierto



Nota. Fotografía inicial grupo B, debidamente codificados. Foto del autor.

Figura 12
Grupo C - Aguja de salida lateral

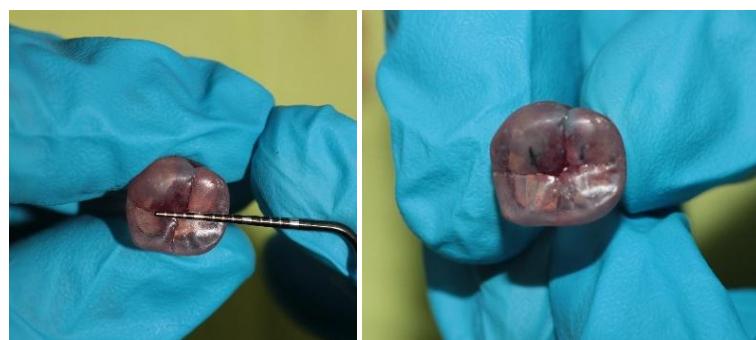


Nota. Fotografía inicial del grupo C, debidamente codificados.

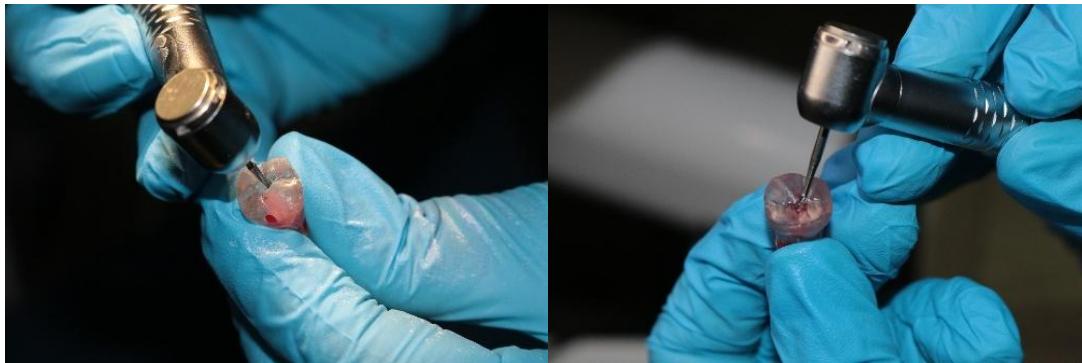
Foto del autor.

2. Apertura con fresa redonda numero 4 tallo largo (Marca MDT Obelis s.a) y conformación con fresa Endo Z de 25mm (Dentsply), antes de realizar la apertura se midió con una sonda periodontal (Carolina del Norte MEDESY) y se marcó con un lápiz de grafito en la superficie oclusal para obtener una medida 4mm en sentido mesiodistal y 3 mm en sentido buco lingual, de perímetro para establecer un mismo tamaño de apertura en todos los dientes.

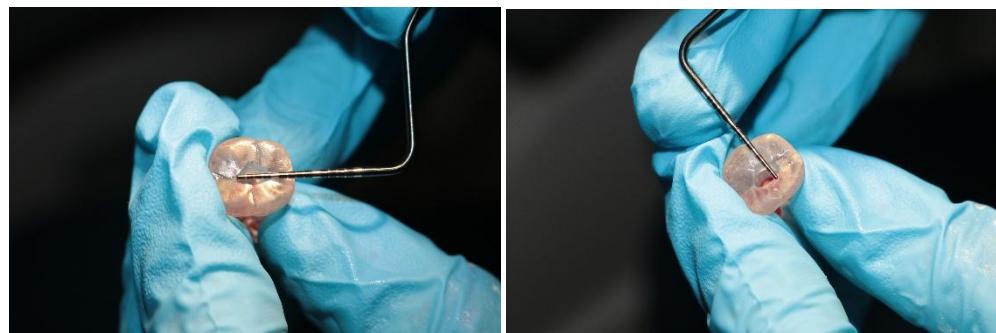
Figura 13
Medida antes de la apertura



Nota. Se mide en el surco central y se marca con lápiz de grafito. Foto del autor.

Figura 14*Apertura fresa redonda y endo 7*

Nota. Se realiza la apertura con turbina W&H. Foto del autor.

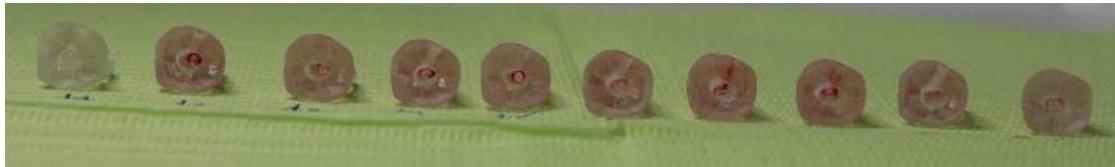
Figura 15*Medida confirmada después de la apertura*

Nota. Medida con sonda periodontal Foto del tutor.

Figura 16*Aperturas grupo A*

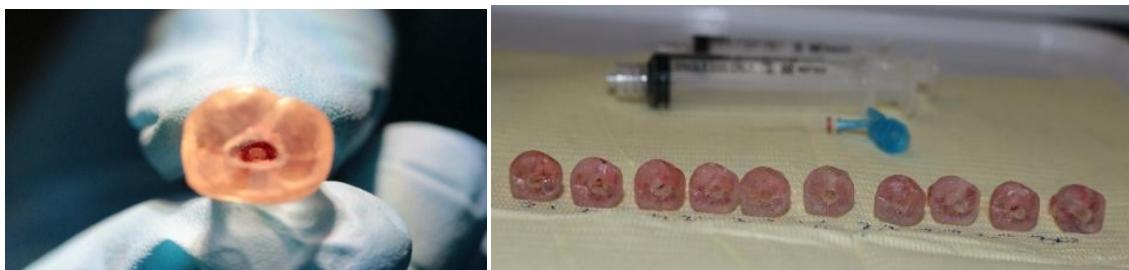
Nota. Fotografías de aperturas del Grupo A. Foto del autor.

Figura 17
Aperturas Grupo B



Nota. Fotografías de aperturas grupo B. Foto del autor.

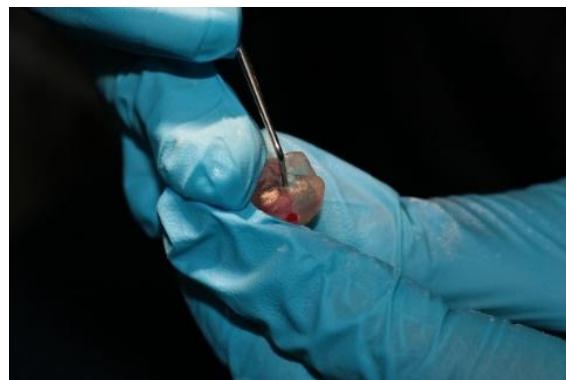
Figura 18
Aperturas Grupo C



Nota. Fotografías de las aperturas del grupo C. Foto del autor.

3. Se localizaron los canales con explorador endodóntico (CORICAMA)

Figura 19
Explorador endodóntico



Nota. Se localizaron los canales Mesial y distal. Foto del tutor.

4. Conductometría con lima 15 taper 0.2 (Ramo médico- RCS Kfile) Mesial: 20mm y Distal: 22mm. Se utilizo radiovisografo (Woodpecker)para obtener imagen radiográfica y Rayos X (Miniray Woodpecker).

Figura 20
Conductometría



Nota. Se observa la toma de las longitudes de trabajo establecidas. Foto del autor.

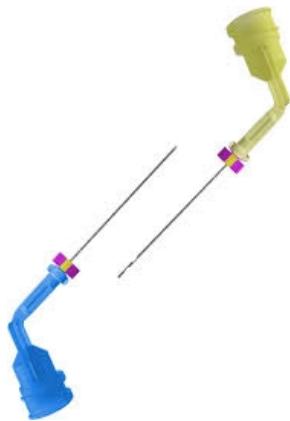
Figura 21
Radiografía de Conductimetría



Nota. En la fotografía se observa en la radiografía con lima 15 a la longitud de trabajo establecida. Foto del autor.

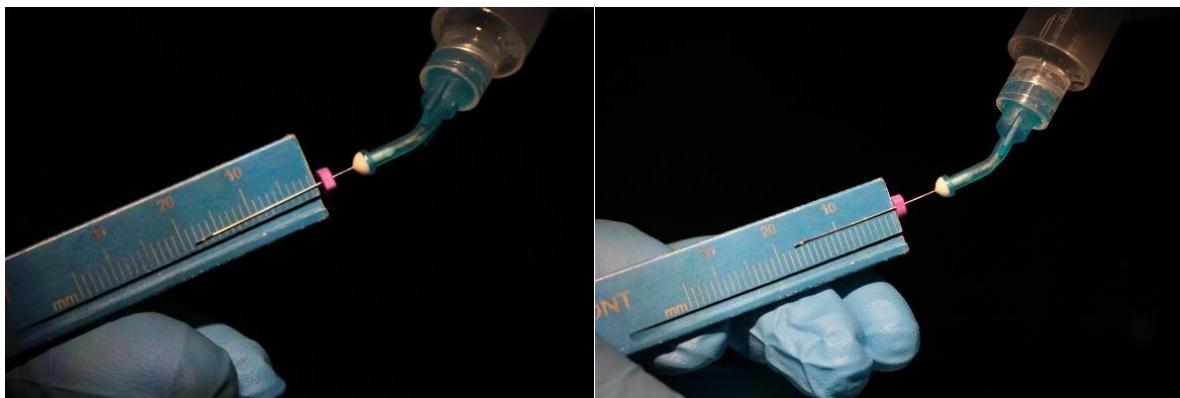
5. Según el diseño de cada aguja y según las indicaciones del fabricante, cada aguja se coloca a una distancia diferente de la longitud de trabajo. En el caso del grupo A aguja de doble salida lateral de la marca Fanta con una longitud de 26mm y tamaño de gauge de 0.3mm de color azul, de pared delgada, con dos ventilaciones laterales, frontal cerrado y punta redondeada, esta se colocó 3mm antes de la longitud de trabajo con una jeringa de 5ml.

Figura 22
Aguja de irrigar doble salida lateral



Nota. imagen de referencia de las agujas del grupo A. Foto tomada de la página Fanta.

Figura 23
Medición de la aguja con regla milimétrica

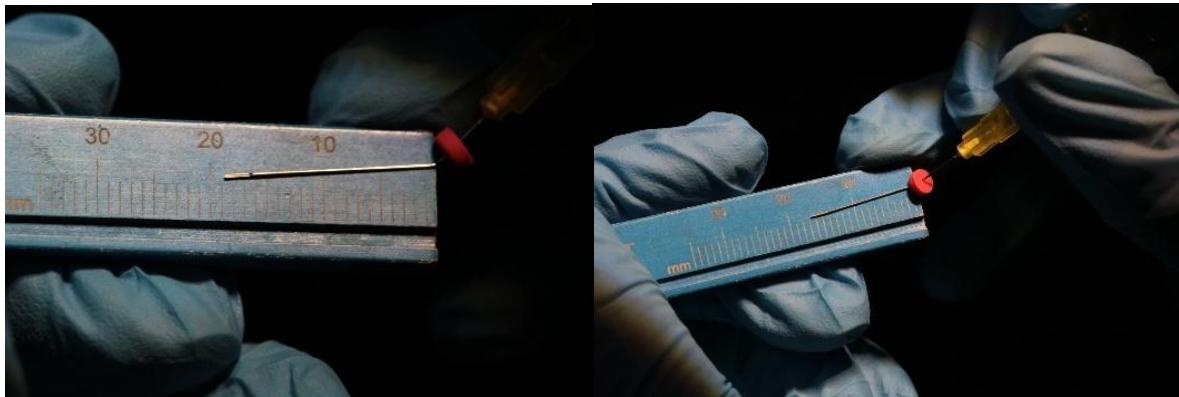


Nota. En la fotografía se observa el conducto mesial a 17mm y conducto distal a 19mm.
 Foto del autor.

6. En el grupo B (aguja de extremo abierto marca ZZ Linker) con las medidas de fabricación 25mm de longitud y 28ga, se utilizó una jeringa de 5ml para mejor control del irrigante, según el fabricante se debe trabajar a 3mm antes de la longitud de trabajo para mayor seguridad y evitar extrusión del irrigante.

Figura 24

Medición de aguja grupo B con regla milimétrica



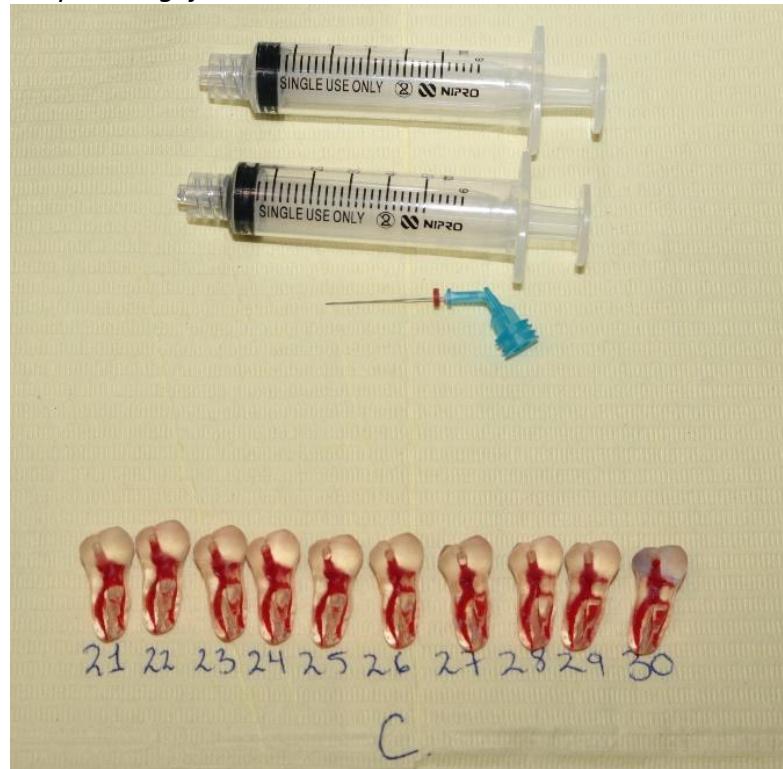
Nota. En la fotografía se observa el conducto mesial a 17mm y conducto distal a 19mm.

Foto del autor.

7. En el grupo C (NaviTip aguja extremo lateral) de la marca Ultrudent con las medidas de fabricación de 29ga y de 25mml y se utilizó una jeringa de 5ml para mejor control del fluido del irrigante.

Figura 25

Grupo - C Aguja extremo lateral



Nota. Agrupación de los dientes del grupo C. Foto del autor.

8. Se utilizó una concentración de hipoclorito del 5.25% y se introdujo en el canal según el grupo de aguja y datos del fabricante, explicados anteriormente, con una jeringa de 5ml y realizaron movimientos de entrada y salida de 3-4 mm de amplitud establecida de volumen de 3ml de hipoclorito entre lima y lima, cada aplicación debe mantenerse 60 segundos. Se debe colocar un tope para evitar perder la nueva longitud establecida en la aguja.

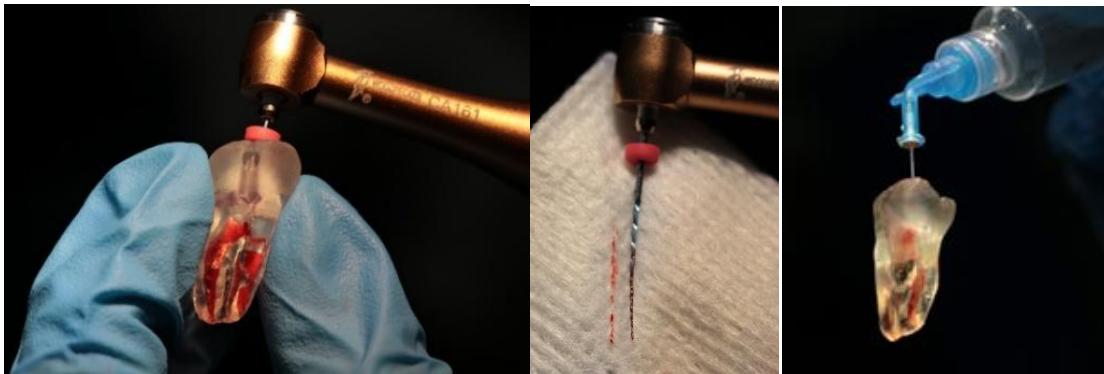
Figura 26

Medición de la aguja con regla milimétrica



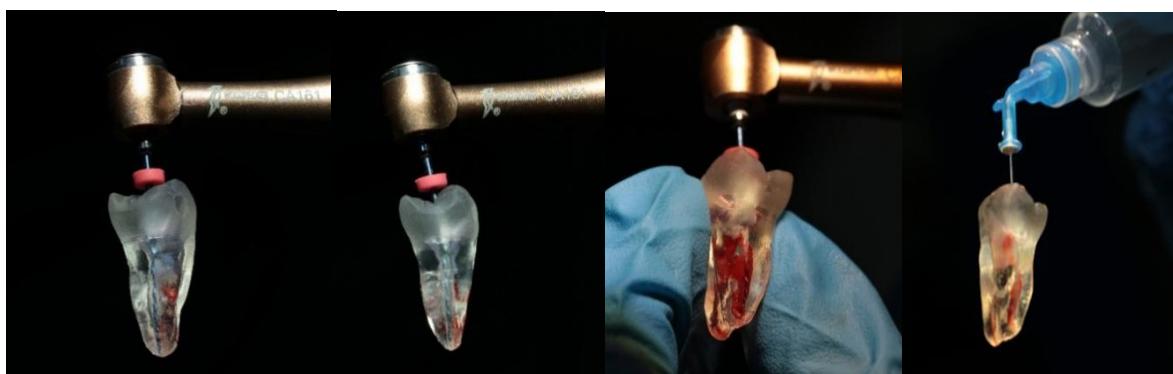
Nota. Conducto Mesial 18mm y conducto Distal 20mm. Foto del autor.

9. Se limpian y conformaron los conductos radiculares por el odontólogo, por medio de instrumentación mecanizada iniciando a longitud de trabajo con 15/04, 20/04, 25/04, 30/04 con el sistema V BLUE Perfect (Sungo Europa), utilizando motor endodóntico Motor Endodoncia Woodpecker Inalámbrico Ai Motor Terauchi revoluciones por minuto con un torque 2.0, y RPM de 300. Se utilizaron 1 blister de limas nuevas por cada 2 dientes 3D, esto con el objetivo evitar fatigar la lima y que el corte y limpieza sea uniforme en todos los modelos.

Figura 27*Instrumentación lima 15 Taper 0.4 Sistema V Blue*

Nota. Primera lima mecanizada. Foto del autor.

Se realizo previamente la irrigación con hipoclorito entre cada lima.

Figura 28*Instrumentación con lima 20, 25 y 30 Taper o.4 Sistema V Blue, irrigación con aguja tipo C*

Nota. Se observa el proceso de la instrumentación paso a paso, irrigación con aguja tipo C.

Foto del autor.

Figura 29*Irrigación con hipoclorito del grupo A*

Nota. Imagen de irrigación del canal del grupo A. Foto del autor.

Figura 30
Irrigación con hipoclorito del grupo B



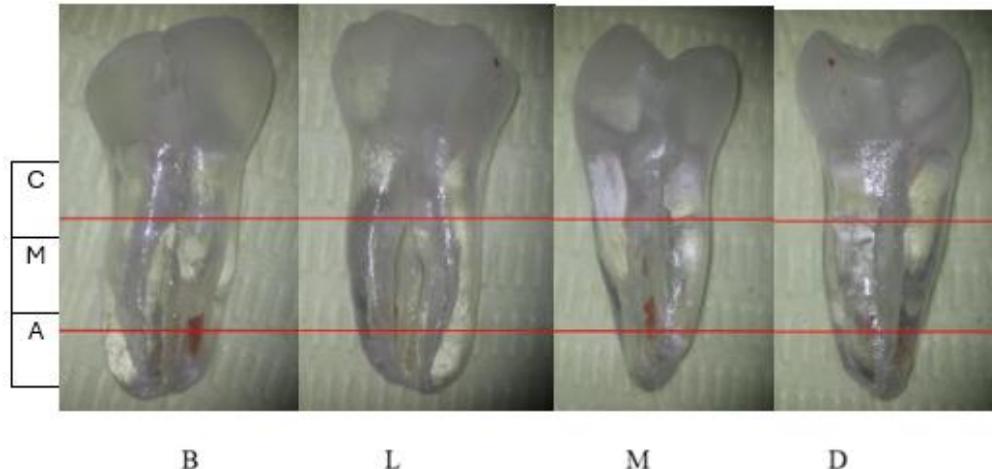
Nota. Imagen de irrigación del canal del grupo B. Foto del autor.

Figura 31
Irrigación con hipoclorito del grupo C

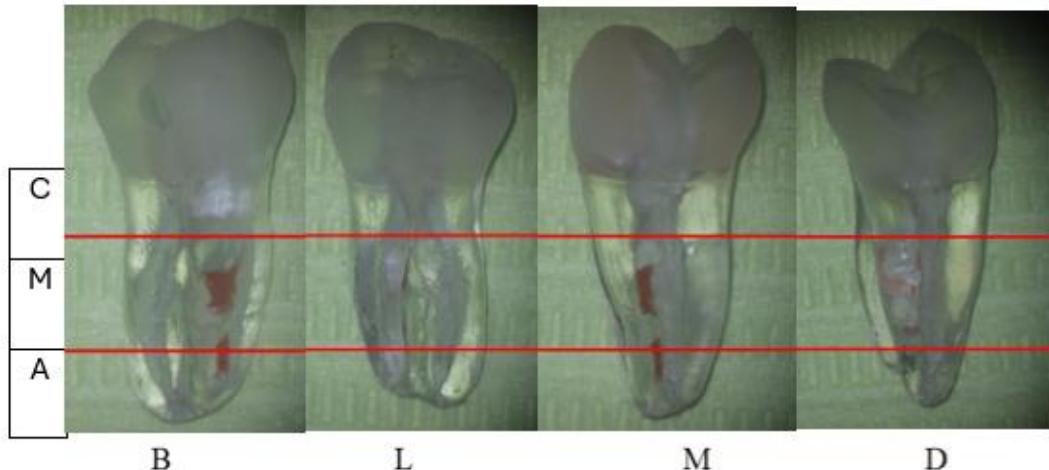


Nota. En las imágenes se observa la irrigación del conducto Mesial y distal Grupo C. Foto del autor.

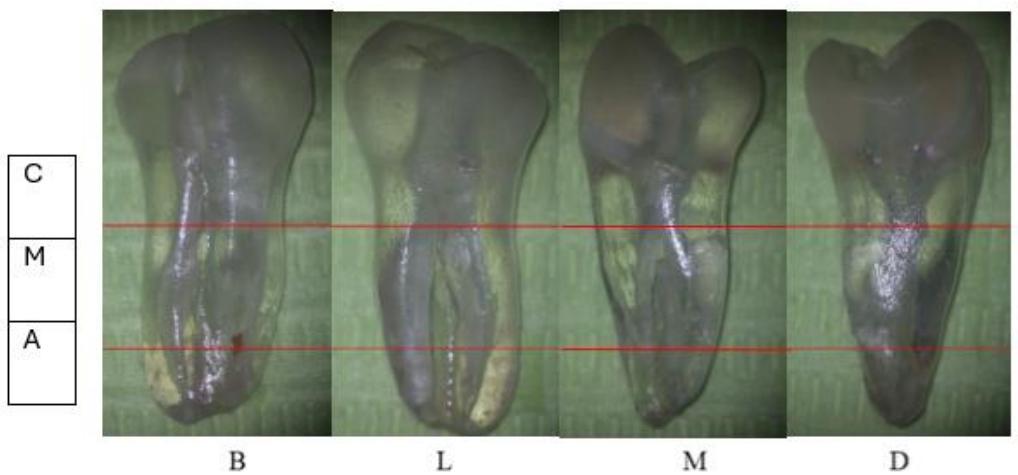
10. Se aspiro el conducto y se secó el conducto con conos de papel estandarizados de 30 taper 0.4 (eighteeth).
11. Se procedió nuevamente a la toma de fotografías a través del microscopio para visualizar la cantidad de remanentes en cada tercio (cervical, medio y apical).

Figura 32*Diente 3D, remanentes en cada tercio*

Nota. Foto de diente número 2 del grupo A. Se observa remanente cara Bucal y mesial en tercios medio y apical. Foto del autor.

Figura 33*Diente 3D, remanentes en cada tercio*

Nota. Foto de diente número 1 del grupo B. Se observa remanente cara Bucal y mesial en tercios medio y apical. Foto del autor.

Figura 34*Diente 3D, remanentes en cada tercio*

Nota. Foto de diente número 27 del grupo C. Se observa remanente cara Bucal en tercios medio. Foto del tutor.

Figura 35*Operador haciendo uso del microscopio*

Nota. En esta imagen el operador realiza fotografías una vez finalizada la limpieza del modelo 3 D. Foto del tutor.

9.6 Validez y confiabilidad de los instrumentos

La validez del instrumento se estableció mediante el juicio de expertos, quienes evaluaron la pertinencia, coherencia y claridad de cada uno de los ítems en relación con los objetivos de la investigación. Esta revisión permitió garantizar que el instrumento midiera efectivamente las variables planteadas y que los indicadores propuestos fueran representativos, fortaleciendo así la validez de contenido y asegurando la adecuada correspondencia entre el marco teórico y la medición empírica.

Por su parte, la fiabilidad del instrumento se determinó a través de un estudio piloto aplicado en un grupo reducido con características similares a la muestra definitiva. Este procedimiento permitió identificar posibles dificultades de comprensión, verificar la consistencia de las respuestas y realizar ajustes antes de su aplicación final. De esta manera, se comprobó la estabilidad y precisión del instrumento, asegurando que los datos obtenidos en la investigación fueran reproducibles y confiables para el análisis estadístico posterior.

9.7 Procedimientos para el procesamiento y análisis de información

Para el desarrollo de la investigación se diseñó un instrumento específico, construido en concordancia con los objetivos planteados y validado por expertos en el área. Una vez aplicado, se procedió a la organización de la información obtenida en una base de datos en el software estadístico SPSS, lo que permitió estructurar y gestionar los datos de manera precisa, asegurando su integridad y facilidad para posteriores análisis. Asimismo, se realizó la codificación de las variables, asignando valores numéricos a las categorías cualitativas y estableciendo criterios uniformes para cada dimensión e indicador, lo cual facilitó el procesamiento estadístico de la información.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis descriptivo de los datos, orientado a caracterizar la muestra y presentar de forma ordenada la distribución de frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central en función de las variables de estudio. Este procedimiento permitió obtener una visión inicial y clara de los resultados, sentando las bases para la interpretación y discusión de los hallazgos. De esta forma, la sistematización de la información garantizó que el proceso investigativo mantuviera rigor metodológico y validez en cada una de sus etapas.

9.8 Consideraciones éticas

En esta investigación se han considerado de manera estricta los principios éticos aplicables a estudios experimentales en el área de endodoncia. No ha sido necesario emplear consentimiento libre e informado debido a que no se utilizaron piezas dentarias de origen humano o animal, sino modelos tridimensionales impresos en resina 3D, elaborados con fines de investigación y docencia. El uso de estos modelos evita cualquier riesgo biológico, ético o legal derivado de la manipulación de material biológico real, cumpliendo con los estándares de seguridad establecidos para investigaciones in vitro.

Asimismo, se ha garantizado que el desarrollo del estudio respete los principios de beneficencia, no maleficencia, justicia y respeto. La metodología no involucra procedimientos que puedan afectar la integridad de personas o animales, y todos los recursos utilizados fueron adquiridos o elaborados para fines exclusivamente científicos. Las condiciones de manipulación y análisis de las muestras fueron controladas en un entorno seguro, con el objetivo de preservar la calidad de los datos obtenidos y evitar cualquier contaminación o daño al material experimental.

Finalmente, los resultados serán reportados de forma objetiva y transparente, asegurando la honestidad científica y la trazabilidad de los datos. Se dará el crédito correspondiente a los autores y fuentes utilizadas en el marco teórico y referencial, siguiendo las normas internacionales de citación. La información generada será utilizada únicamente con fines académicos y científicos, contribuyendo al conocimiento sobre la eficacia de diferentes agujas de irrigación en anatomías complejas tipo C-shape, sin implicar riesgo o vulneración de derechos a personas o animales.

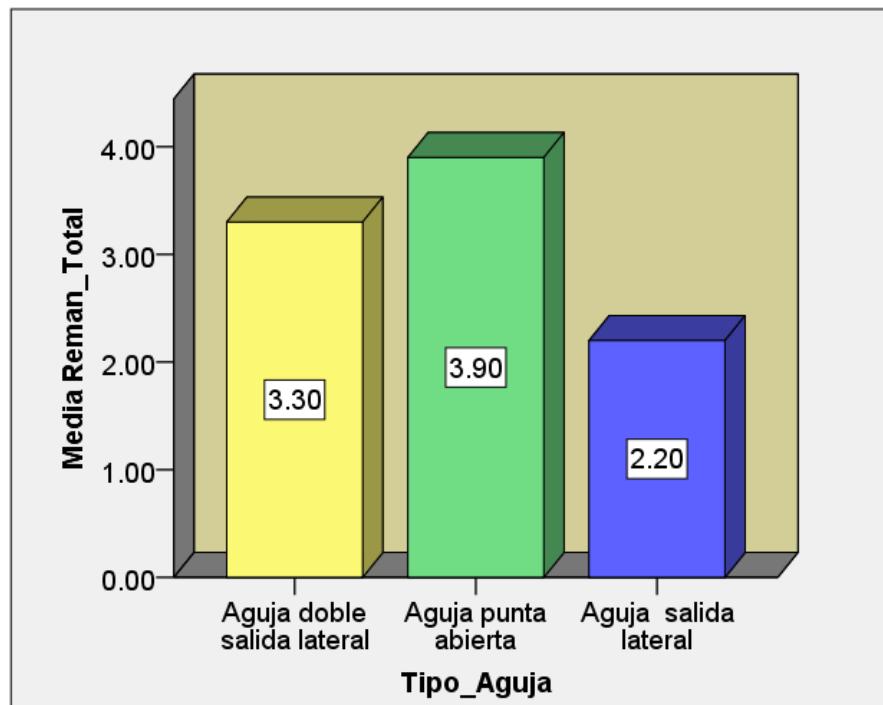
10. Resultados y discusión

El análisis de los resultados constituye una etapa fundamental de la investigación, ya que permite interpretar los datos obtenidos y relacionarlos directamente con los objetivos planteados. A través de este proceso se comparó la eficacia de los diferentes diseños de agujas de irrigación en la limpieza de conductos radiculares con anatomía tipo C-shape, considerando la cantidad de residuos remanentes en los distintos tercios del conducto y el porcentaje de tejido residual posterior a la irrigación. De esta manera, los hallazgos no solo aportan evidencia cuantitativa y cualitativa sobre el desempeño de cada aguja, sino que también ofrecen una base sólida para contrastar los resultados con la literatura revisada y valorar su relevancia clínica en el ámbito de la endodoncia.

Objetivo específico 1: Identificar el diseño de aguja de irrigación que presenta mayor eliminación de residuos en conductos radiculares de segundos molares mandibulares con anatomía tipo C-shape, utilizando modelos tridimensionales.

Figura 36

Media remanente total



Nota. En un rango de 1-4 se evaluó la cantidad de remanente.

El análisis del gráfico permite identificar que la eficacia de eliminación de residuos varía de manera significativa entre los diferentes diseños de agujas evaluados. La aguja de salida lateral simple obtuvo la mejor eficacia, con un promedio de residuos remanentes de 2.20, lo que indica un mayor alcance y distribución del irrigante dentro de los conductos radiculares con anatomía tipo C-shape. En contraste, la aguja de extremo abierto presentó la mayor cantidad de residuos (3.90), evidenciando limitaciones en su capacidad de limpieza, mientras que la aguja de doble salida lateral se posicionó en un punto intermedio (3.30).

Al contrastar estos resultados con la literatura revisada, se observa una divergencia con lo reportado por Baasch et al. (2025), quienes destacaron a las agujas de extremo abierto como las más eficaces en la limpieza de conductos radiculares. Sin embargo, los hallazgos aquí presentados coinciden con lo planteado por Rajeswari et al. (2025), quien subrayó la superioridad de las agujas con salida lateral para alcanzar zonas apicales y lograr una distribución más homogénea del irrigante. De igual manera, estudios como el de Alves F. et al. (2024) señalan que, bajo condiciones controladas, las diferencias de eficacia pueden depender de la profundidad de inserción y del control hidráulico de cada diseño, lo cual explica la variabilidad observada entre investigaciones. En este sentido, los resultados del presente estudio reafirman la influencia determinante del diseño de la aguja sobre la eficacia de limpieza y refuerzan la necesidad de adaptar su elección a la complejidad anatómica de los conductos radiculares.

Para no dejar dudas respecto al resultado anterior, se hace una prueba de hipótesis ANOVA para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de remanentes según los tres tipos de agujas usadas.

Hipótesis

$$H_0: \mu_{DSL} = \mu_{EA} = \mu_{SL}$$

$$H_a: \text{No todas las medias}$$

La hipótesis nula plantea que los remantes promedios son iguales sin importar el tipo de aguja que se utilice (DSL = Doble salida lateral, EA = Extremo abierto, SL = Salida lateral). En cambio, la hipótesis nula plantea que al menos uno de los remantes promedios es distinto.

Tabla 4

ANOVA de un factor

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	14.867	2	7.433	18.934	.000
Intragrupo	10.600	27	.393		
Total	25.467	29			

Nota. El análisis ANOVA evidencia diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de agujas evaluadas ($F = 18.934$; $p = 0.000$), indicando que el diseño de la aguja influye en la cantidad de remanente.

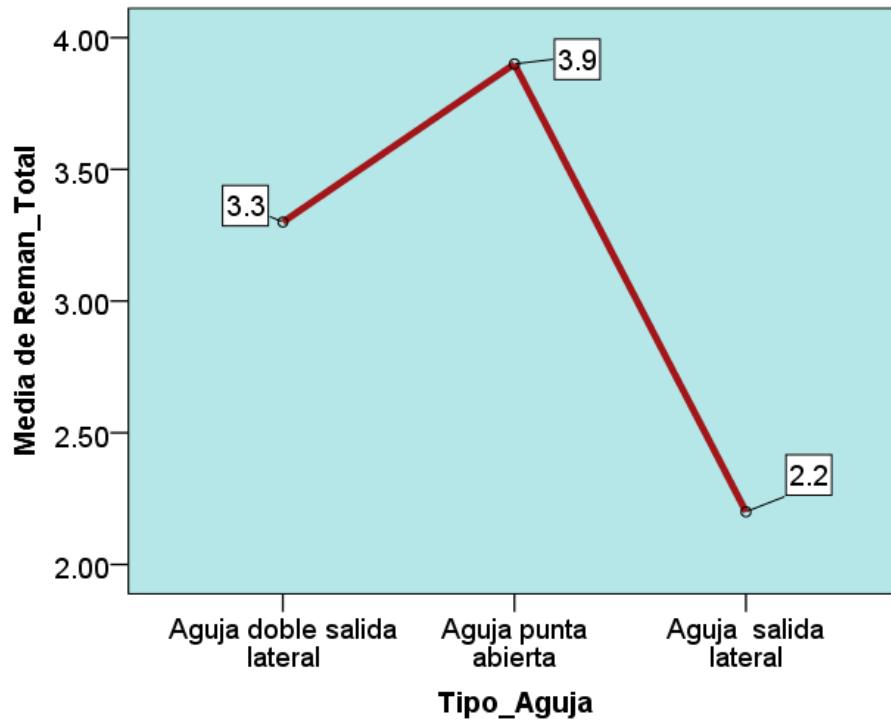
Los resultados del análisis de varianza de un factor muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en la eficacia de limpieza entre los tres tipos de agujas evaluadas ($F = 18.934$; $p = .000$). Este valor de significancia ($p < .05$) permite rechazar la hipótesis nula, que sostenía que no había diferencias en la cantidad de residuos remanentes entre los diseños de agujas, y aceptar la hipótesis alternativa, que establece que sí existen diferencias en función del tipo de aguja empleada. En consecuencia, se confirma que el diseño estructural de la aguja influye directamente en la cantidad de residuos que permanecen tras la irrigación, cumpliendo con el objetivo específico 1 de la investigación: identificar el diseño de aguja más eficaz para la limpieza de conductos radiculares en anatomías tipo C-shape.

Al relacionar estos hallazgos con los antecedentes revisados, se observa que los resultados difieren de lo reportado por Baasch et al. (2025), donde las agujas de extremo abierto presentaron mejor desempeño en la limpieza de los conductos radiculares. En el

presente estudio, por el contrario, la aguja de salida lateral simple fue la más efectiva, con menor media de residuos remanentes. No obstante, los hallazgos concuerdan con lo planteado Gao et al., (2025) y Rajeswari et al. (2025), quienes destacan la superioridad de las agujas de salida lateral, especialmente las de menor calibre, por su capacidad de penetración y distribución homogénea del irrigante en regiones apicales complejas. De esta manera, el análisis estadístico respalda que la elección de la aguja debe estar basada en la morfología radicular, y que los diseños de salida lateral ofrecen ventajas clínicas relevantes en conductos con anatomía irregular.

Estos resultados se aprecian visualmente en el siguiente gráfico de medias, en el que se muestra que la aguja de salida lateral produce menor cantidad de remanente, y en consecuencia es más efectiva que las otras dos.

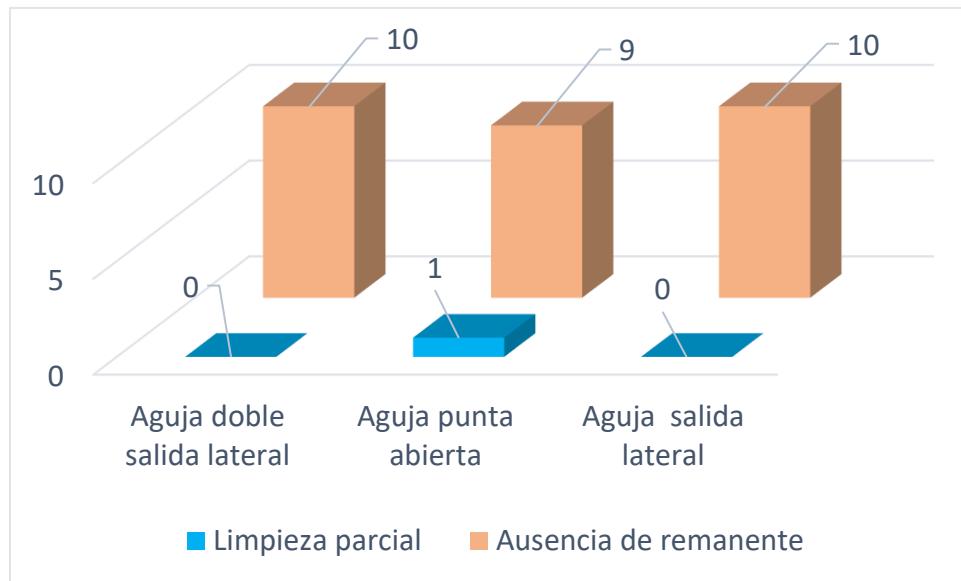
Figura 37
Tipo de aguja



Nota. Describe del 1-4 el tipo de aguja con mayor remanente.

Objetivo específico 2: Medir cualitativamente la cantidad de residuos tras la irrigación con cada diseño de aguja, según los tercios cervical, medio y apical del sistema de conductos radiculares.

Figura 38
Remanente en tercio Cervical según tipo de aguja



Nota. Indica que hubo una mayor ausencia de remanente en los 3 tipos de aguja.

En el tercio cervical, el gráfico evidencia que la aguja de salida lateral simple logró el menor remanente de residuos, lo que indica una mayor eficacia en la limpieza de esta zona crítica. En contraste, la aguja de extremo abierto mostró los valores más altos de residuos cervicales, mientras que la aguja de doble salida lateral se ubicó en un punto intermedio. Este comportamiento cualitativo confirma que el diseño estructural influye en la dinámica del irrigante, ya que las agujas con salida lateral facilitan una mejor dispersión de la solución en el tercio cervical, donde la anatomía amplia y accesible favorece un contacto más directo con el irrigante.

Al contrastar estos resultados con el marco referencial, se observa coincidencia con Gao et al., (2025) quienes demostraron que las agujas con salida lateral mejoran la

penetración y distribución del irrigante, incluso en zonas donde la presión del flujo puede ser limitada. Asimismo, los hallazgos se aproximan a lo señalado por, donde la profundidad de inserción y el control del flujo fueron determinantes en la eficacia de la limpieza. De este modo, los datos obtenidos en el presente estudio respaldan la superioridad de la salida lateral simple en el tercio cervical, lo que aporta evidencia empírica aplicable a la práctica clínica endodóntica.

Figura 39
Remanente en tercio medio, según tipo de aguja



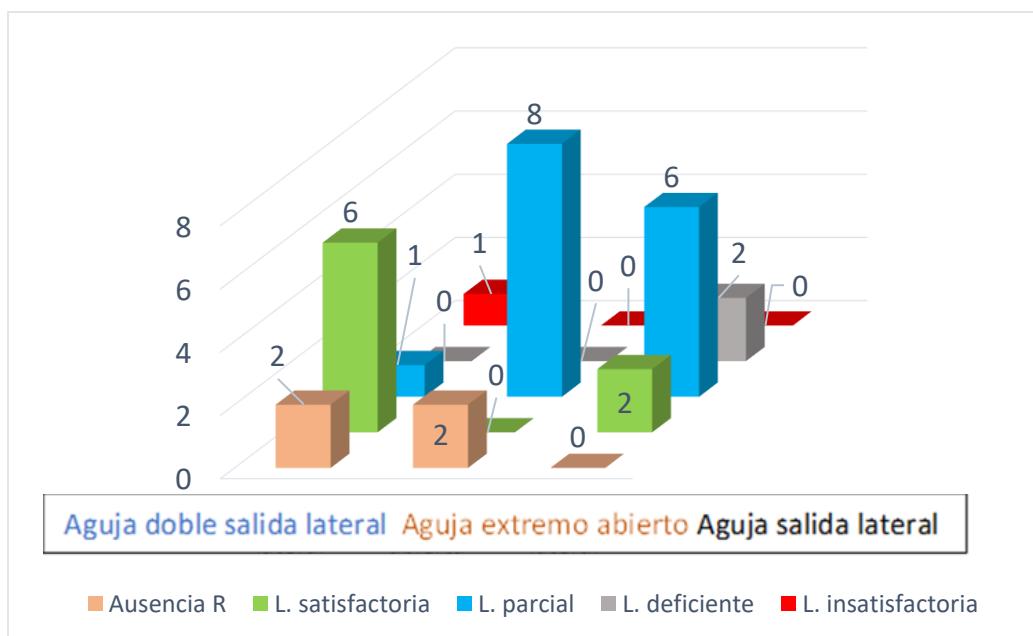
Nota. Representa la ausencia o presencia de remanente en tercio medio.

En el análisis del remanente total en el tercio medio, el gráfico muestra que nuevamente la aguja de salida lateral simple obtuvo los valores más bajos de residuos, confirmando su eficacia en zonas donde la anatomía del conducto presenta mayor estrechez y ramificaciones. Por su parte, la aguja de punta abierta registró el mayor promedio de residuos en el tercio medio, mientras que la aguja de doble salida lateral se situó en una posición intermedia. Este comportamiento cualitativo sugiere que la salida lateral simple facilita un flujo más homogéneo en zonas de difícil acceso, mientras que la punta abierta, aunque favorece un chorro directo, no garantiza una distribución uniforme del irrigante en áreas con mayor complejidad anatómica.

Estos hallazgos guardan coherencia con lo reportado por Rajeswari et al. (2025), quienes señalaron que las agujas de menor calibre y salida lateral logran una limpieza más eficaz en el tercio apical y medio debido a su capacidad de penetrar con mayor proximidad a la longitud de trabajo. Del mismo modo, se observa concordancia parcial con lo planteado por Hussain, Bjørndal, al destacar que los diseños laterales multiventilados o simples permiten un mejor recambio del irrigante en zonas estrechas, frente a las limitaciones de las agujas abiertas. En consecuencia, los resultados de este estudio aportan evidencia experimental que refuerza la importancia de seleccionar diseños de agujas con salidas laterales para optimizar la eficacia de la irrigación en el tercio medio.

Figura 40

Remanente en tercio apical



Nota. En esta tabla se observa en azul demuestra una mayor cantidad siendo una limpieza parcial.

En el remanente total del tercio apical, el gráfico refleja que la aguja de salida lateral simple mantuvo el mejor desempeño, con los valores más bajos de residuos, lo que indica que su diseño favorece un alcance más efectivo incluso en la zona más compleja y de difícil acceso del sistema de conductos radiculares. En contraste, la aguja de extremo abierto

mostró la mayor cantidad de residuos, lo que sugiere que su flujo axial no fue suficiente para superar las limitaciones anatómicas del tercio apical. La aguja de doble salida lateral se posicionó en un punto intermedio, mostrando cierta efectividad, pero sin alcanzar los niveles de limpieza obtenidos con la salida lateral simple.

Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Gao et al., (2025) quienes señalaron que las agujas con salida lateral, como la NaviTip, optimizan la irrigación en el tercio apical al reducir el fenómeno de vapor lock y mejorar la penetración del irrigante. Asimismo, coinciden con lo planteado por Rajeswari et al. (2025), quienes encontraron que las agujas de calibre fino y salida lateral doble o simple mejoran significativamente la eficacia de limpieza en esta región. De esta manera, el presente estudio confirma que la elección de un diseño lateral simple no solo mejora los resultados en los tercios cervical y medio, sino que también ofrece ventajas críticas en el tercio apical, reafirmando la necesidad de adaptar la selección del instrumental a la complejidad morfológica de los conductos radiculares.

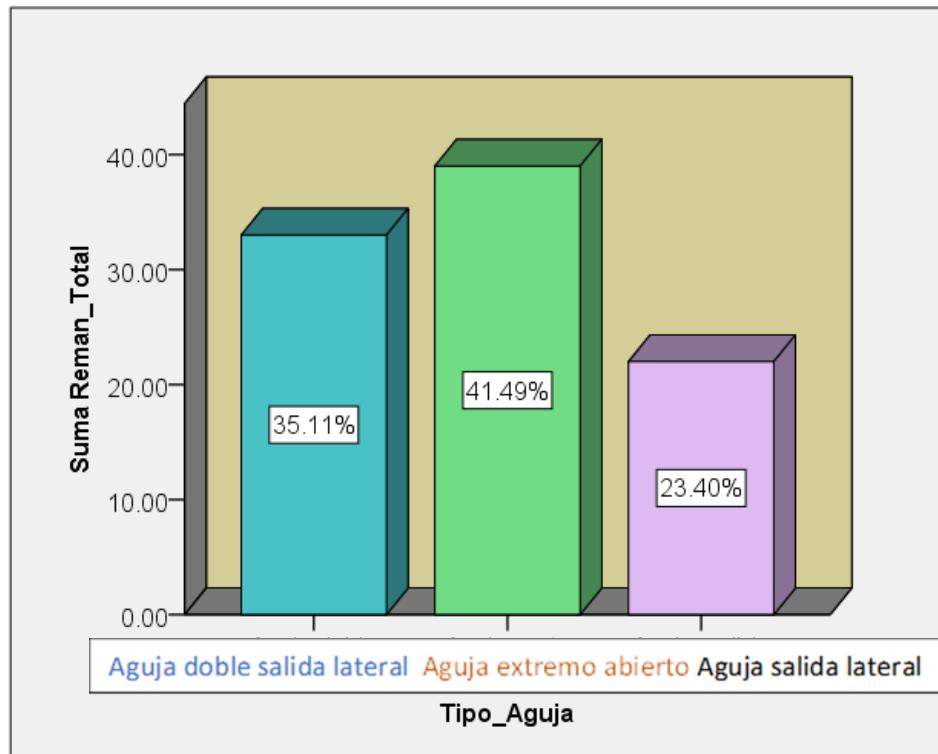
En resumen

En conjunto, los resultados de los tres tercios radiculares muestran que la aguja de salida lateral simple fue la más eficaz en la reducción de residuos, superando tanto a la aguja de punta abierta, que registró los valores más altos en todos los niveles, como a la aguja de doble salida lateral, que se mantuvo en una posición intermedia. Este comportamiento evidencia que el diseño lateral simple favorece una mejor distribución del irrigante a lo largo del sistema de conductos, incluso en el tercio apical donde las condiciones anatómicas son más complejas. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Ortega-Piedrahita et al. (2021) y Rajeswari et al. (2025), quienes destacaron la eficacia de las agujas con salida lateral en zonas de difícil acceso, y contrastan con lo señalado por Baasch et al. (2025), que favorecían la aguja extremo abierto. En este sentido, los resultados refuerzan que la elección del diseño de aguja tiene un impacto decisivo en la calidad de la limpieza endodóntica y deben orientar la práctica clínica hacia opciones que garanticen una irrigación más homogénea y efectiva.

Objetivo específico 3: Cuantificar el porcentaje de tejido remanente posterior a la irrigación en cada diseño de aguja, mediante análisis de imágenes postoperatorias.

Figura 41

Porcentaje total de remanente



Nota. Se obtuvo un mayor porcentaje en el grupo B, seguido de grupo A y por último grupo C.

El análisis de la última gráfica muestra que la aguja de salida lateral simple obtuvo el mejor desempeño, con un remanente promedio cercano al 35.11 %, lo que refleja una limpieza más efectiva en comparación con los otros diseños. La aguja de doble salida lateral presentó un remanente intermedio del 41.49 %, mientras que la aguja de punta abierta alcanzó el valor más alto, con aproximadamente 23.40 % de tejido residual. Esta diferencia porcentual evidencia que el diseño lateral simple permite una distribución más homogénea del irrigante, logrando un arrastre más eficiente incluso en zonas de difícil acceso, mientras que la punta abierta mostró limitaciones importantes en la eliminación de residuos.

Estos hallazgos se relacionan con lo planteado por Rajeswari et al. (2025), quienes demostraron que las agujas de menor calibre y salida lateral logran mayores porcentajes de limpieza en el tercio apical, y coinciden con lo descrito por Gao et al., (2025) respecto a la capacidad de este diseño para reducir el fenómeno de vapor lock y mejorar la penetración en zonas críticas. Por el contrario, los resultados contrastan con lo expuesto por Baasch et al. (2025), que favorecían las agujas de punta abierta, ya que en este estudio fueron las menos eficaces. En conjunto, los porcentajes evidencian que la salida lateral simple es la opción más eficiente para optimizar la irrigación endodóntica en conductos con anatomía tipo C-shape, clasificación C2.

11. Conclusiones

Los hallazgos obtenidos en la presente investigación permiten establecer con claridad que el diseño geométrico de las agujas de irrigación endodóntica ejerce una influencia significativa en la eficacia de limpieza del sistema de conductos radiculares con anatomía tipo C-shape. El análisis estadístico (ANOVA, $p=0.000$) confirmó diferencias sustanciales entre los tres diseños evaluados, demostrando que la aguja de salida lateral simple alcanzó el mejor desempeño global con el menor promedio de residuos (2.20), seguida de la aguja doble salida lateral (3.30) y la aguja de extremo abierto (3.90).

En relación con el primer objetivo específico, la comparación entre los tres tipos de agujas evidenció que la aguja lateral simple proporcionó un patrón de limpieza más homogéneo en toda la extensión del conducto radicular, especialmente en los tercios medio y apical, donde las irregularidades anatómicas tienden a retener detritos. Su salida lateral controlada permitió una mejor dirección del flujo del irrigante y una cobertura más eficiente de las paredes internas, logrando una remoción superior de residuos en comparación con los demás diseños.

Respecto al segundo objetivo específico, la evaluación microscópica por tercios radiculares mostró que la aguja de salida lateral simple generó la menor cantidad de residuos remanentes en los tres niveles analizados (cervical, medio y apical). Este comportamiento confirma que la disposición lateral del orificio de salida favorece una irrigación más segura y uniforme, reduciendo el riesgo de extrusión apical y mejorando la acción de arrastre hidráulico en áreas de difícil acceso, como istmos y canales accesorios característicos de la morfología C-shape.

En correspondencia con el tercer objetivo específico, los resultados porcentuales de limpieza indicaron una diferencia notable en la capacidad de limpieza entre los diseños. La aguja lateral simple alcanzó el mayor porcentaje de limpieza efectiva (23.40%), seguida de la aguja doble lateral (35.11 %) y la aguja extremo abierto (41.49%). Aunque todas las configuraciones permitieron una reducción significativa de residuos, la eficiencia de la lateral simple se asocia directamente con su control de presión apical y su adecuada

dispersión del irrigante, lo que le confiere mayor eficacia en conductos de morfología irregular.

En síntesis, los resultados obtenidos consolidan la evidencia de que la morfología de la aguja de irrigación representa un factor crítico en la dinámica hidrodinámica del sistema endodóntico, especialmente en conductos tipo C-shape donde las zonas de difícil acceso desafían la limpieza tridimensional. La aguja de salida lateral simple se perfila como el diseño más eficiente y seguro, optimizando la penetración del irrigante, reduciendo la acumulación de detritos y garantizando un entorno más favorable para la desinfección completa y el posterior sellado.

12. Recomendaciones

Los hallazgos obtenidos en esta investigación permiten formular una serie de recomendaciones dirigidas a la práctica clínica, a la formación académica y al desarrollo de futuras líneas de investigación, con el propósito de fortalecer el abordaje endodóntico de conductos radiculares complejos y enriquecer la evidencia científica disponible en nuestro contexto.

En primer lugar, se recomienda a los profesionales de la endodoncia la incorporación preferente de agujas de irrigación con salida lateral simple en protocolos clínicos destinados al tratamiento de conductos radiculares con anatomía tipo C-shape. La superioridad demostrada de este diseño en la reducción de residuos en todos los tercios radiculares respalda su elección como opción de primera línea, particularmente en casos de molares mandibulares donde la morfología interna representa un desafío constante. No obstante, el uso de este tipo de agujas debe estar acompañado de una técnica rigurosa que contemple la profundidad adecuada de inserción, el volumen de irrigante administrado y el control de la presión ejercida, para garantizar resultados seguros y predecibles.

De igual forma, se aconseja que los programas de posgrado en endodoncia integren de manera más explícita la enseñanza sobre la selección de instrumentos de irrigación basados en evidencia, incluyendo comparaciones de diseño, dinámica hidráulica y riesgos asociados a cada tipo de aguja. En la práctica formativa, el uso de modelos tridimensionales de anatomías complejas, como los sistemas tipo C-shape, constituye una herramienta didáctica que debe ser promovida y replicada, ya que permite al estudiante familiarizarse con escenarios clínicos desafiantes en un entorno controlado. Este enfoque fortalecerá las competencias técnicas y la capacidad de análisis crítico de los futuros especialistas.

En el ámbito de la investigación aplicada, se recomienda ampliar los estudios sobre la eficacia de las agujas de irrigación en condiciones más cercanas a la práctica clínica. Esto implica el desarrollo de investigaciones *in vivo* que consideren no solo la eliminación de residuos, sino también parámetros como la reducción bacteriana, la seguridad frente a la extrusión apical y la percepción de riesgo operatorio. Asimismo, sería de gran utilidad evaluar la eficacia de estos diseños en combinación con sistemas de irrigación activada,

como la activación ultrasónica pasiva (PUI), la sónica o los sistemas de presión negativa apical, con el fin de determinar sinergias que potencien la capacidad de limpieza en conductos de difícil acceso.

A nivel nacional y regional, los resultados de este trabajo resaltan la necesidad de generar protocolos de irrigación adaptados a la realidad socioeconómica de Nicaragua y Centroamérica. Considerando las limitaciones de acceso a insumos de alta tecnología, se sugiere promover la investigación con instrumental de uso frecuente en nuestro medio, evaluando su rendimiento real en comparación con opciones de mayor costo. Este esfuerzo permitirá diseñar guías clínicas factibles y aplicables, que contribuyan a mejorar la atención endodóntica en contextos de recursos limitados sin sacrificar calidad terapéutica.

Asimismo, se recomienda a las instituciones académicas y de salud invertir en la adquisición de tecnologías que potencien la investigación endodóntica, tales como micro-CBCT, sistemas de escaneo de alta resolución y software de reconstrucción tridimensional. Estas herramientas permitirán profundizar en el estudio del comportamiento de los irrigantes y obtener mediciones más precisas y reproducibles. La disponibilidad de recursos tecnológicos avanzados favorecerá la competitividad científica de las universidades nacionales y, en consecuencia, elevará el nivel de formación de los especialistas.

Finalmente, para la comunidad científica, se sugiere continuar explorando variables que aún representan vacíos de conocimiento en el campo de la irrigación endodóntica: la influencia del calibre de la aguja en el patrón de flujo, la interacción entre diferentes irrigantes y diseños de agujas, el impacto de la presión hidráulica en la seguridad clínica y la eficacia de limpieza en anatomías mixtas. Estos enfoques complementarios permitirán consolidar un cuerpo de evidencia robusto y útil para la práctica clínica cotidiana.

13. Referencias

- Alves F, Baasch, A., Campello, A. F., Rodrigues, R. C. V., F. R. F., Voigt, D. D., Ibrahimu Mdala, Perez, R., Brasil, S. C., Rôças, I. N., & Siqueira, J. F. (2024). Effects of the irrigation needle design on root canal disinfection and cleaning. *Journal of Endodontics*, 50(10), 1463–1471. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.07.006>
- Baasch, A., Brisson-Suárez, K., Koury, J. M., Vieira, V. T. L., & Alves, F. F. (2021). Influencia de los Diseños de Agujas Endodónticas en la Irrigación de Conductos Radiculares. *International Journal of Odontostomatology*, 15(3), 756–764. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2021000300756>
- Baasch, A., Ramírez-Muñoz, A., Navarrete, N., Mar Navarro-Candel, Koury-González, J. M., Osyanel Esteves-Nieves, Vieira, G. C. S., & Pérez, A. R. (2025). Influence of irrigation needle design on cleaning efficiency in 3D mandibular molar models. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01064-xc>
- Badami, V., Sneha Akarapu, Hemabhanu Kethineni, Satya Priya Mittapalli, Bala, K. R., & Fatima, S. F. (2023). Efficacy of Laser-Activated Irrigation Versus Ultrasonic-Activated Irrigation: A Systematic Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.36352>
- Berman y Kenneth M. Hargreaves, L. H. (Enero, 2024). Vias de la pulpa. En Limpieza y conformacion del sistema de conductos radiculares (pp. 283–315). Elsevier Science.
- Boutsioukis, C., & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 588–612. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>
- Cai, C., Chen, X., Li, Y., & Jiang, Q. (2023). Advances in the Role of Sodium Hypochlorite Irrigant in Chemical Preparation of Root Canal Treatment. *BioMed Research International*, 2023(1). <https://doi.org/10.1155/2023/8858283>.
- Caldera, S., & Sanchez, R. (2019). Caracterización de conductos en forma de “C” y clasificación utilizando técnicas de tomografía computarizada de haz cónico y

radiografía digital en segundos molares inferiores permanentes extraídos en clínica dental y puesto de salud de las ciudades de Managua y Nagarote [Especialidad en Endodoncia]. UNAN-Leon.

Delgado, G., Martín-González, J., Castellanos-Cosano, L., Martín Jiménez, M, & Segura-Egea, J. J. (2025). Sistemas ultrasónicos para la irrigación del sistema de conductos radiculares. Avances En Odontoestomatología, 30(2), 79–94.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-12852014000200004

Delgado, G., Martín-González, J., Castellanos-Cosano, L., Martín Jiménez, M, & Segura-Egea, J. J. (2025). Sistemas ultrasónicos para la irrigación del sistema de conductos radiculares. Avances En Odontoestomatología, 30(2), 79–94.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-12852014000200004

Elida, O., & Garay, M. (2017). UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ENDODONCIA.

<https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28130/1/Tesis.pdf>

FAN, B., CHEUNG, G., FAN, M., GUTMANN, J., & BIAN, Z. (2004). C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars: Part I—Anatomical Features. Journal of Endodontics, 30(12), 899–903. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000136207.12204.e4>

Fernández Caiña, Miqueo S, Gimenez M, Corominola PL, Nastri ML, Gualtieri AF, Rodríguez PA. (2025). Comparación de la Penetración de Distintas Agujas de Irrigación en Endodoncia. UBA Odontología

Gálvez-Saavedra, A., Lavalle-Vidal, G., & Nima, G. (2024). In vitro analysis of two irrigation activation systems for cleaning mesial canals in lower molars. Revista Facultad de Odontología, 36(1). <https://doi.org/10.17533/udea.rfo.v36n1a>

Gao, J., Dai, Y., Long, Z., Yi, M., Shen, Y., & Gao, Y. (2025). Optimization of Side-Vented Root Canal Irrigation Needle Design: Aperture Bevel Angle and Configuration Analysis Using CFD and Multi-Criteria Decision Analysis with In Vitro Validation and C-Shaped

Canal Simulation. Journal of Endodontics.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.06.011>

Govil, S., & Ahmadi, M. (2023). Conventional to EndoVac: A Comparative Evaluation of Two Irrigation Systems in Microbial Reduction of Primary Root Canals Using Chemical Irrigants: An In Vivo Study. International Journal of Clinical Pediatric Dentistry, 16(S2), S113–S117. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2565>

Hussain, S., Lars Bjørndal, & Merete Markvart. (2025). In vitro assessment of needle and irrigant penetration when using different irrigation needle tips. Biomaterial Investigations in Dentistry, 12, 17–24. <https://doi.org/10.2340/biid.v12.42896>

Kato, A., Ziegler, A., Higuchi, N., Nakata, K., Nakamura, H., & Ohno, N. (2014). Aetiology, incidence and morphology of the C-shaped root canal system and its impact on clinical endodontics. International Endodontic Journal, 47(11), 1012–1033. <https://doi.org/10.1111/iej.12256>

Leoni, G. B., Versiani, M. A., Silva-Sousa, Y. T., Bruniera, J. F. B., Pécora, J. D., & Sousa-Neto, M. D. (2016). Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. International Endodontic Journal, 50(4), 398–406. <https://doi.org/10.1111/iej.12630>

Lisican, E. (2021, April 5). Update on Irrigation Disinfection - American Association of Endodontists. American Association of Endodontists. <https://www.aae.org/specialty/update-on-irrigation-disinfection/>

Liu, B., Zhou, X., Yue, L., Hou, B., Yu, Q., Fan, B., Wei, X., Qiu, L., Huang, Z., Xia, W., Sun, Z., Wang, H., Meng, L., Peng, B., Zhang, C., Deng, S., Lu, Z., Yang, D., Hou, T., & Jiang, Q. (2023). Experts consensus on the procedure of dental operative microscope in endodontics and operative dentistry. International Journal of Oral Science, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00247->

- Liu, C.-H., Li, Q., Zou, X.-Y., & Yue, L. (2025). Efficacy of high-frequency sonic irrigation on removing debris from root canal isthmus: an in vitro study based on simulated root canals. *PeerJ*, 13, e19445. <https://doi.org/10.7717/peerj.19445>
- María Belén Muñoz-Padilla, Verónica Alicia Vega-Martínez, & Sánchez-Sandoval, P. A. (2023). Eficacia del hipoclorito de sodio en irrigación de conductos radiculares. *Revista Información Científica*, 102(2 Sup), 4412–4412. <https://revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/4412>
- Melton, D. C., Krell, K. V., & Fuller, M. W. (1991). Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *Journal of Endodontics*, 17(8), 384–388. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)81990-](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81990-)
- Mozo, S., Llena, C., & Forner, L. (2012). Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Medicina Oral Patología Oral Y Cirugia Bucal*, e512–e516. <https://doi.org/10.4317/medoral.17621>
- Natalia Ferreira dos Santos, Isabella García Oliveira, Paolla Regina de Souza, Lucas Anselmo Lima Silva & Bruno Martini Guimarães. (2024). Uso de guías 3D y microscopio operatorio en cirugía endodóntica: una revisión de la literatura. *Revista de avances en medicina e investigación médica*, 36 (10), 246–261. <https://doi.org/10.9734/jammr/2024/v36i105608>
- Orozco-Gallego, M. J., Pineda-Vélez, E. L., Rojas-Gutiérrez, W. J., Rincón-Rodríguez, M. L., & Agudelo-Suárez, A. A. (2025). Effectiveness of Irrigation Protocols in Endodontic Therapy: An Umbrella Review. *Dentistry Journal*, 13(6), 273. <https://doi.org/10.3390/dj13060273>
- Rajeswari, P. R., Sivakumar, A. A., Sivakumar, J. S., Soundappan, J. S., Chittrarasu, M., & Aravindhkumar, A. (2025). Evaluating the influence of different irrigation needles on the apical cleaning efficacy of endodontic irrigation – An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(4), 336–342. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_40_25

Reyes-Carmona, J. (2023). Efecto del protocolo de irrigación en la dentina radicular: limpieza, desinfección y ultraestructura remanente. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 25(1), 14–21. <https://www.medicgraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=109829>

Tiscareño, A., Ortolani-Seltenerich, P. S., Ramírez-Muñoz, A., Pérez-Ron, O., Mendez S, P. M., Leal-Moya, C., Malvicini, G., Vieira, G. C. S., & Pérez, A. R. (2025). Minimally Invasive Root Canal Cleaning: Evaluating Supplementary Irrigation Techniques. *Dentistry Journal*, 13(5), 192. <https://doi.org/10.3390/dj13050192>

Velayutham Gopikrishna, Swamy Sibi, Durvasulu Archana, Kumar, A. P., & Narayanan, L. (2016). An in vivo assessment of the influence of needle gauges on endodontic irrigation flow rate. *Journal of Conservative Dentistry*, 19(2), 189–189. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.178708>

14. Apéndices / Anexos

14.1 Apéndices

Apéndice A

Ficha técnica para la recolección de datos

Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares con modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, UNICA, 2025.

Diente 4.7 con anatomía C-Shape- Clasificación de Fan 2

Indicadores:

- 0- ausencia
- 1- presencia de hydrogel

A-B-C

- A- Aguja de extremo abierto 0.3G
- B- Aguja salida lateral 28G
- C- Aguja doble salida lateral 29G

Remanente total por diente

- 0-Ausencia
- 1-4- Limpieza Satisfactoria
- 5-8 Limpieza parcial
- 9-12 Limpieza Insatisfactoria

Remanente en tercios Cervical, medio y apical

- 0- Ausencia
- 1- Limpieza Satisfactoria
- 2- Limpieza parcial
- 3- Limpieza deficiente
- 4- Limpieza Insatisfactoria

A: Aguja de extremo abierto

B. Aguja salida lateral

C. Aguja doble salida lateral

Muestra	Tercio cervical Residual				R. Tercios Total	Tercio medio residual				R. Tercios Total	Tercio apical residual				Remanente Total, diente	
	B	L	M	D		B	L	M	D		B	L	M	D		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																

Firma y autorización



Revisado por: Dr. Erick Omar Collado
Especialista en Endodoncia y microcirugía
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1459-8098>

Apéndice B

Carta de Validación de Instrumento de Recolección de Datos

Yo, **Dr. Erick Omar Collado Cruz**, en mi calidad de coordinador académico de la Especialidad de Endodoncia y Microcirugía y como especialista en endodoncia, hago constar que he revisado el instrumento de recolección de datos titulado:

"Eficacia comparativa de tres agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares con modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, Clínica Montecristo, Matagalpa 2025.", elaborado por la Dra. Eva María Fonseca Talavera, estudiante de la especialidad de Endodoncia y Microcirugía III Edición de la Universidad Católica Redemptoris Mater.

Después de realizar la revisión correspondiente, certifico que el instrumento presenta claridad, coherencia, pertinencia y validez en relación con los objetivos planteados en la investigación, siendo un recurso adecuado para la recolección de información en el presente estudio.

Por lo tanto, apruebo y valido dicho instrumento como apto para su aplicación en la investigación propuesta.

Se extiende la presente a solicitud de parte interesada y para los fines académicos correspondientes.

Atentamente,



Dr. Erick Collado Cruz

Coordinador de la Especialidad de Endodoncia y Microcirugía (UNICA)

Especialista en Endodoncia y Microcirugía.

Apéndice C

Selección fotográfica de los dientes 3D utilizados en el estudio.

1. Dientes iniciales



B

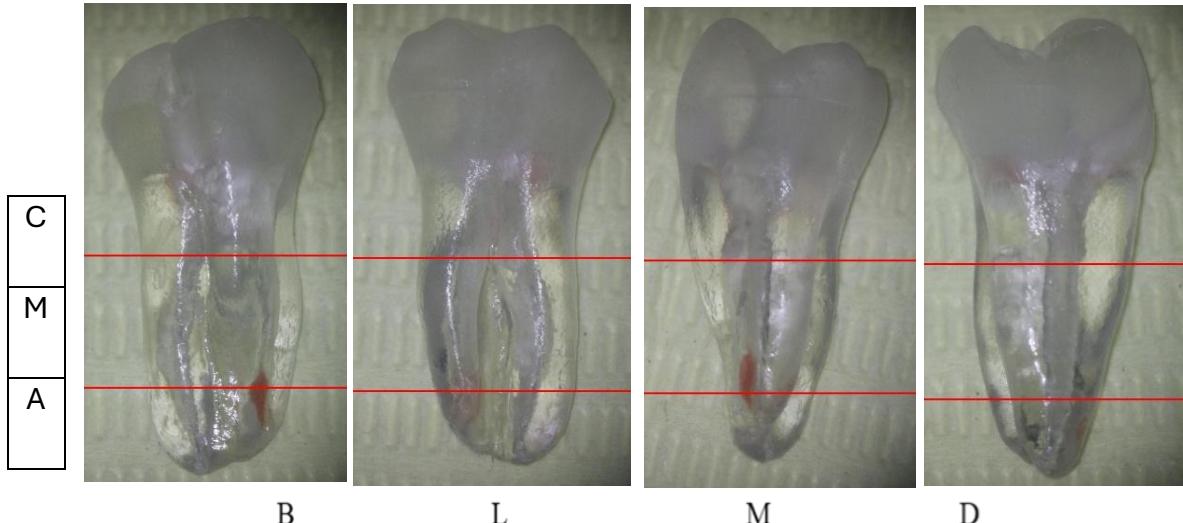
L

M

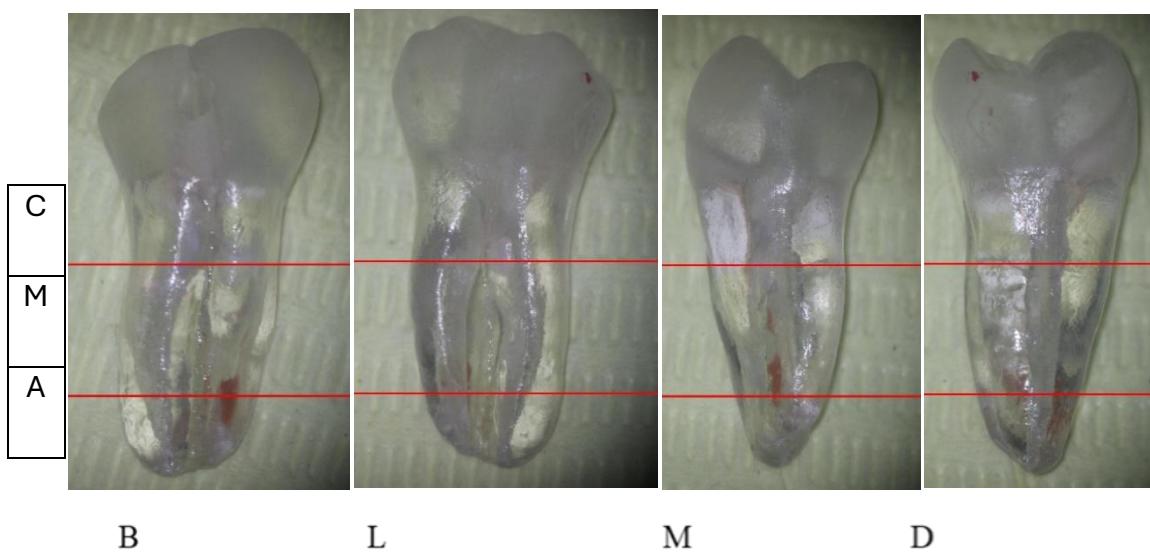
D

2. Aguja doble salida lateral remanentes

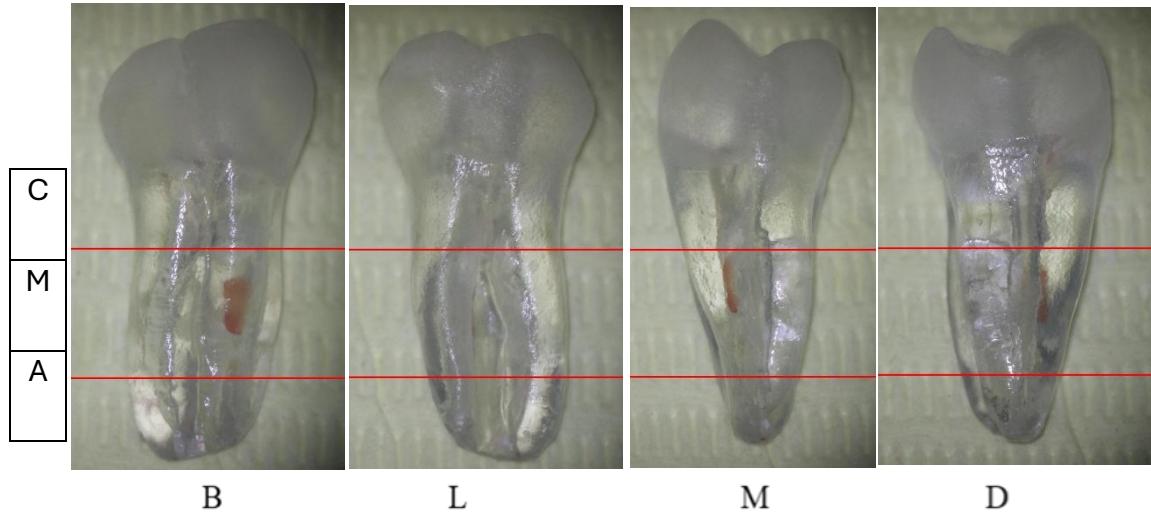
Diente 1



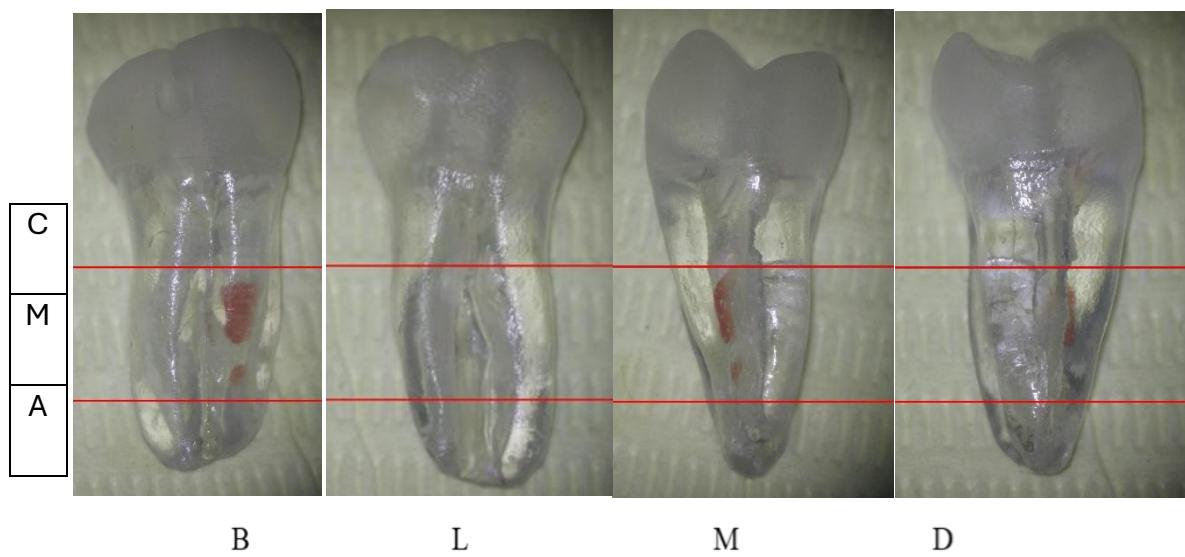
Diente 2



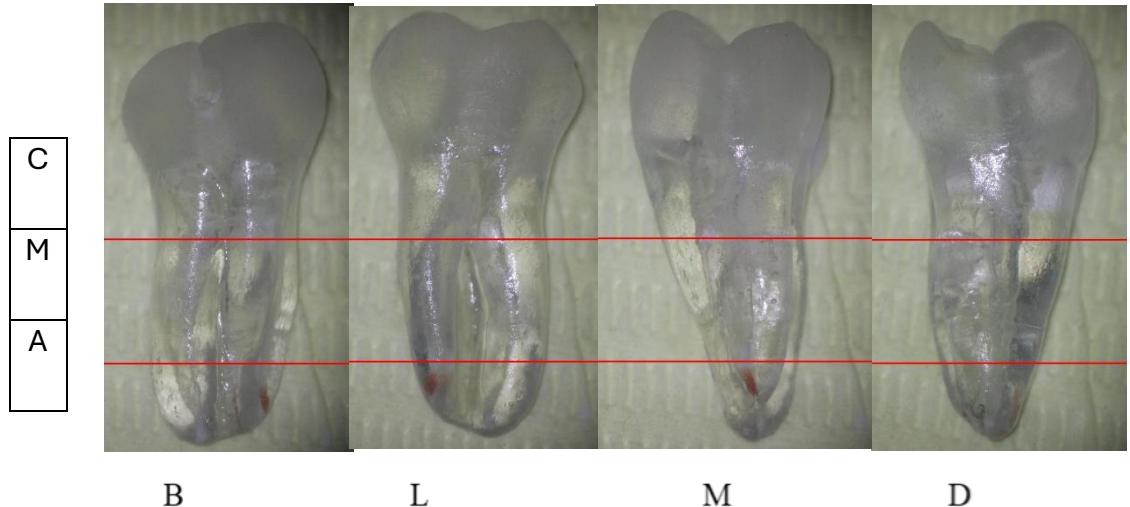
Diente 3



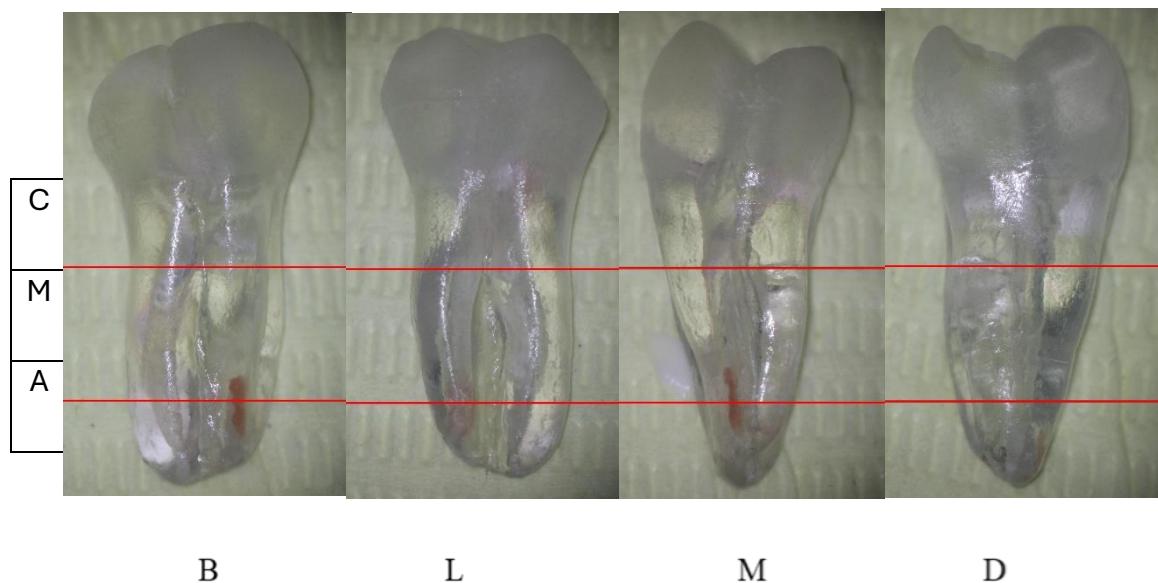
Diente 4



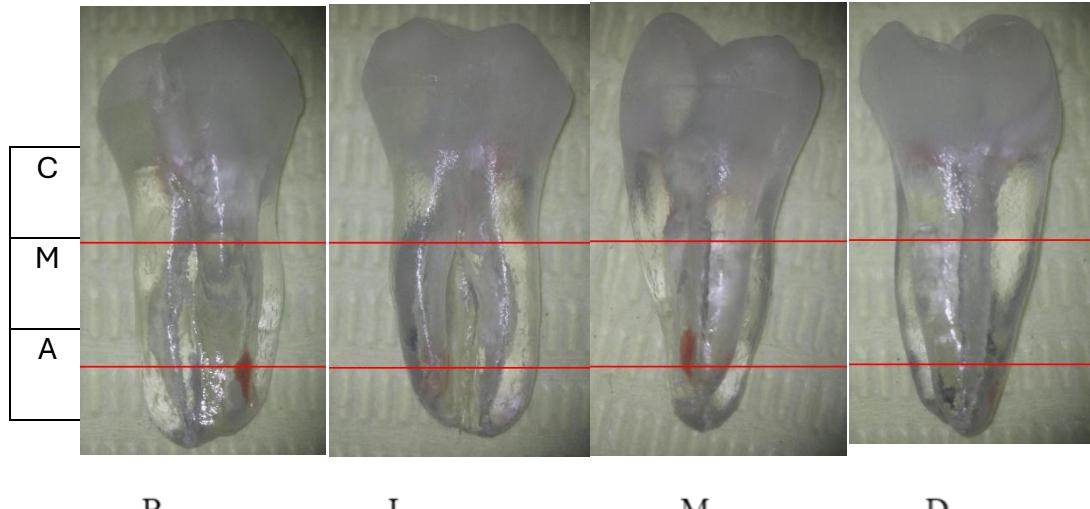
Diente 5



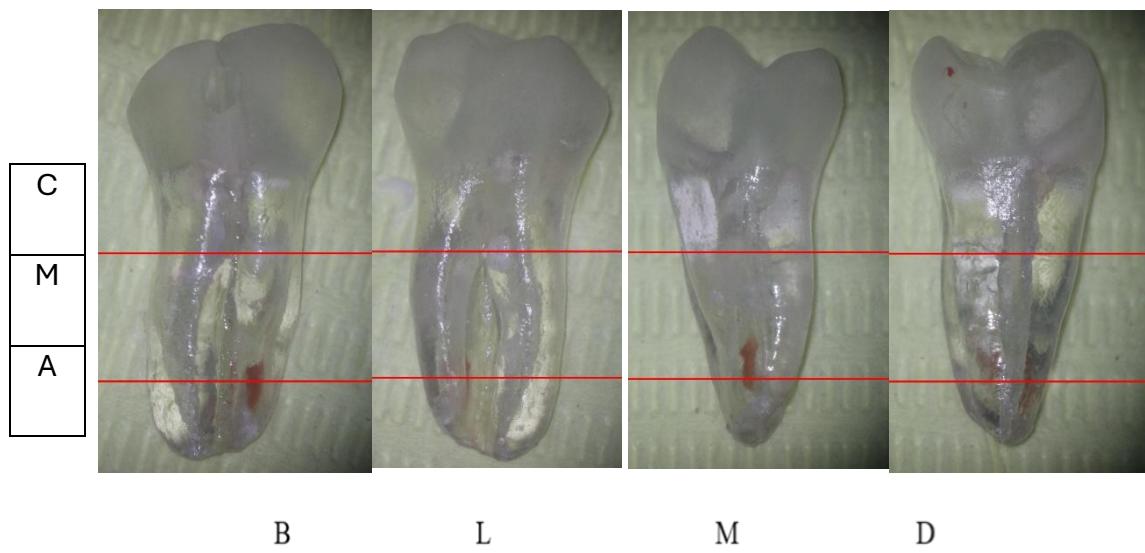
Diente 6



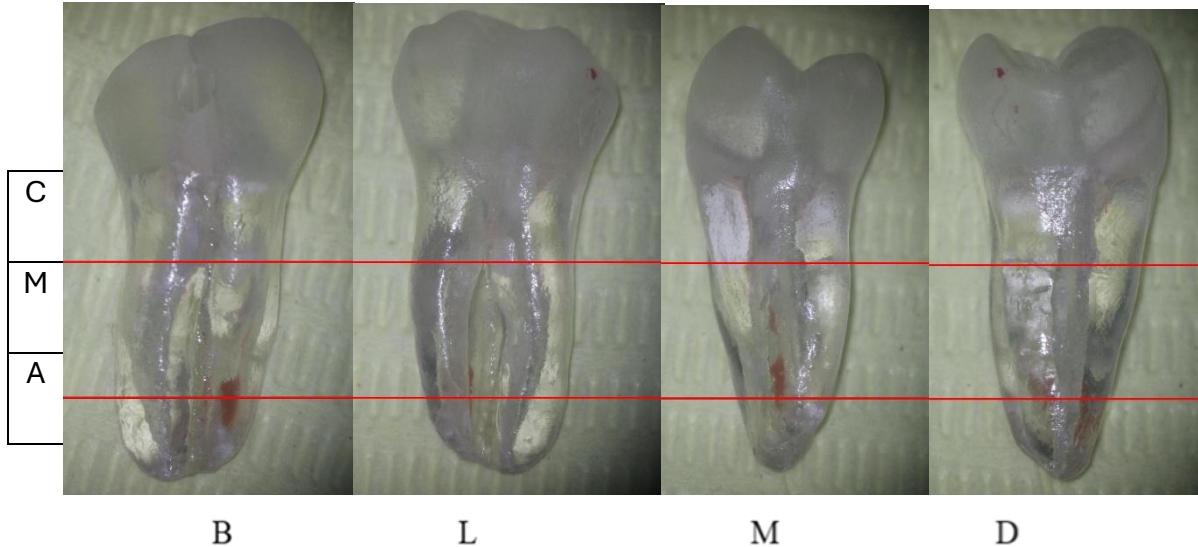
Diente 7



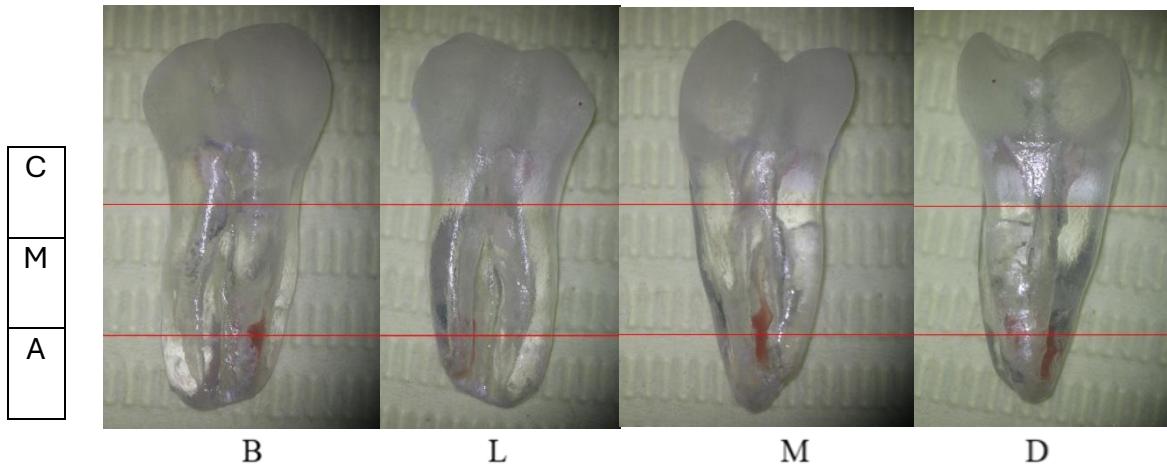
Diente 8



Diente 9

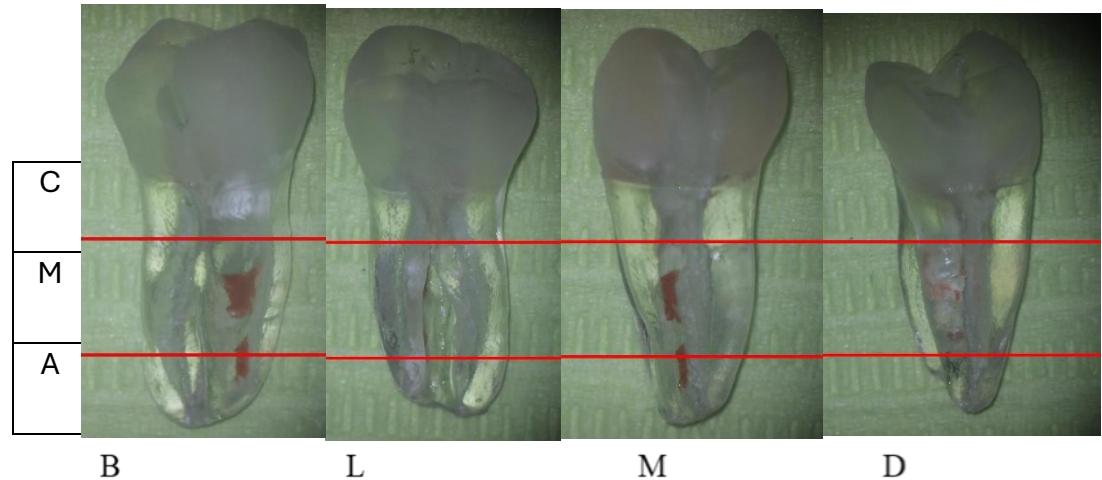


Diente 10

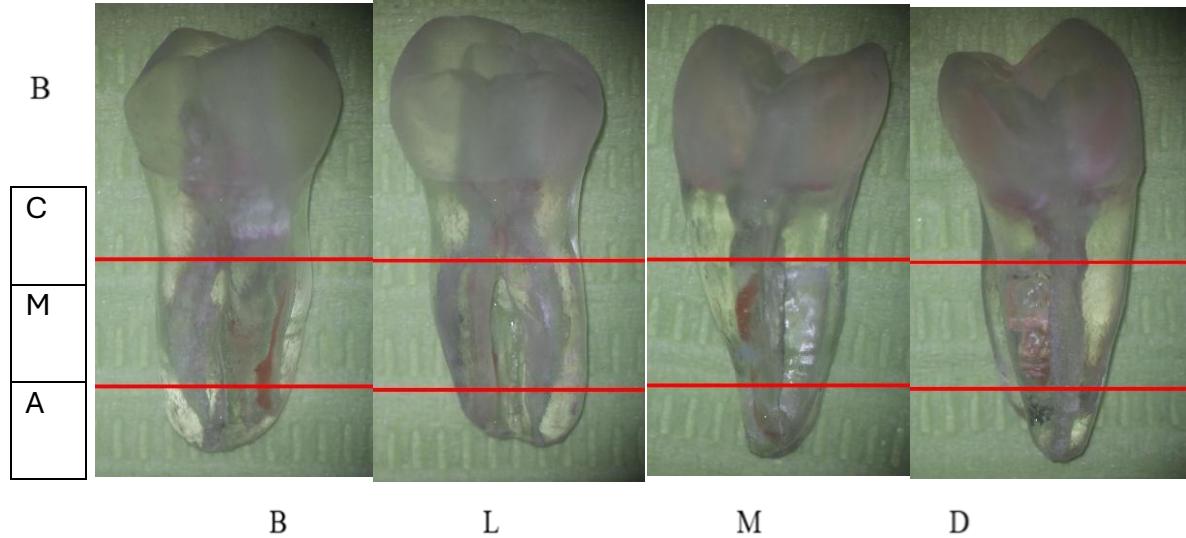


3. Aguja extremo abierto

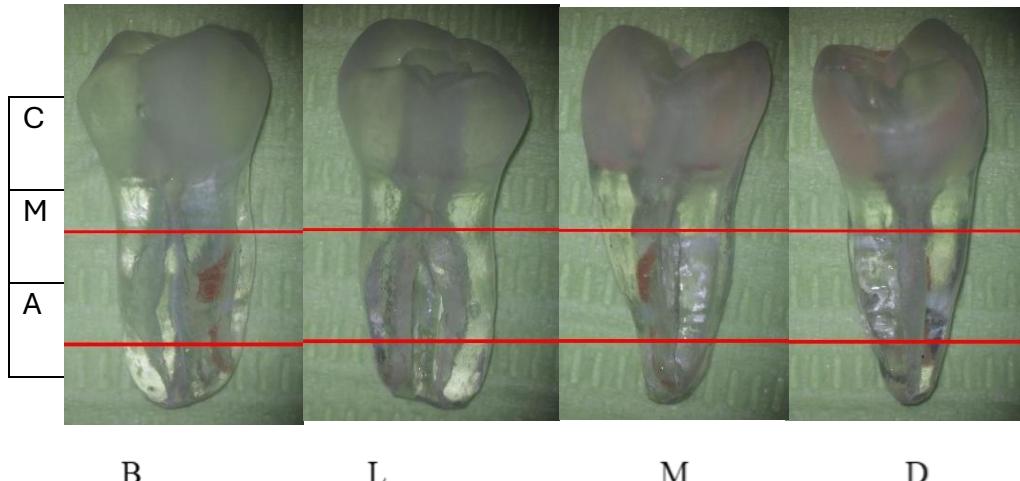
Diente 11



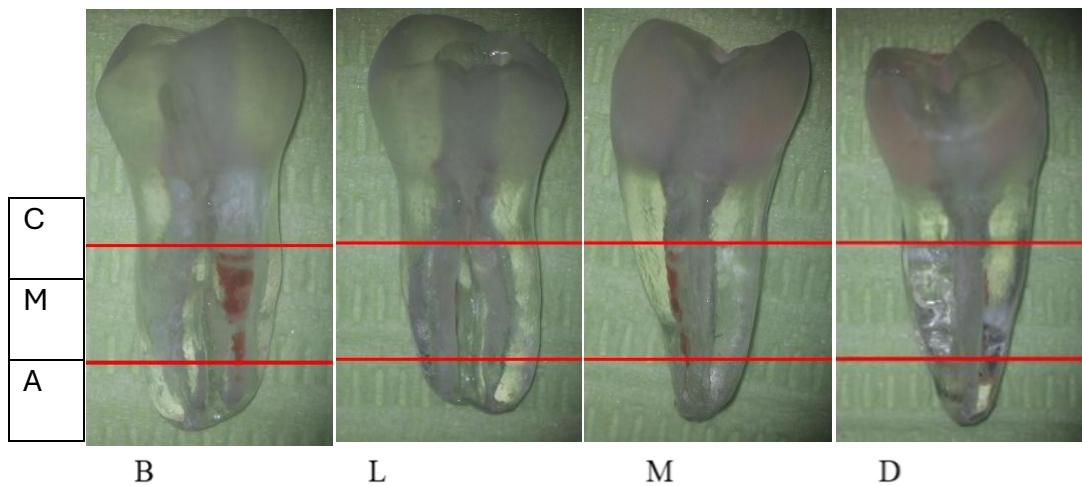
Diente 12



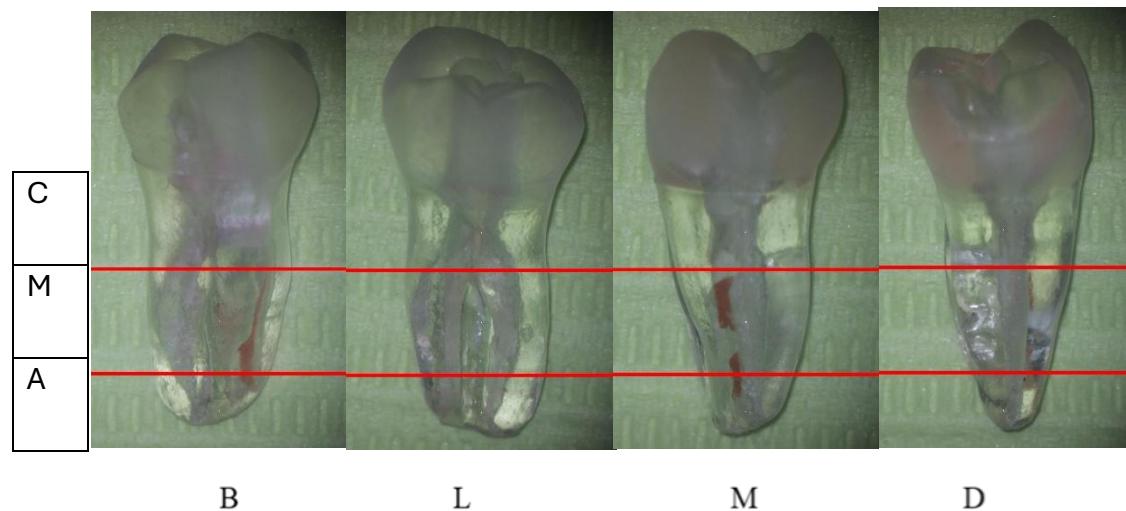
Diente 13



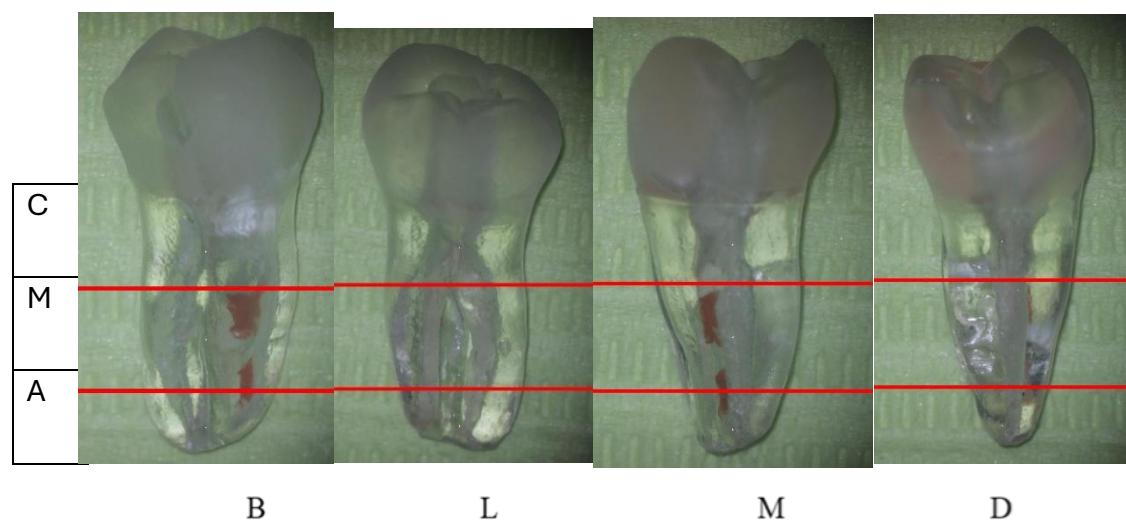
Diente 14



Diente 15



Diente 16



Diente 17



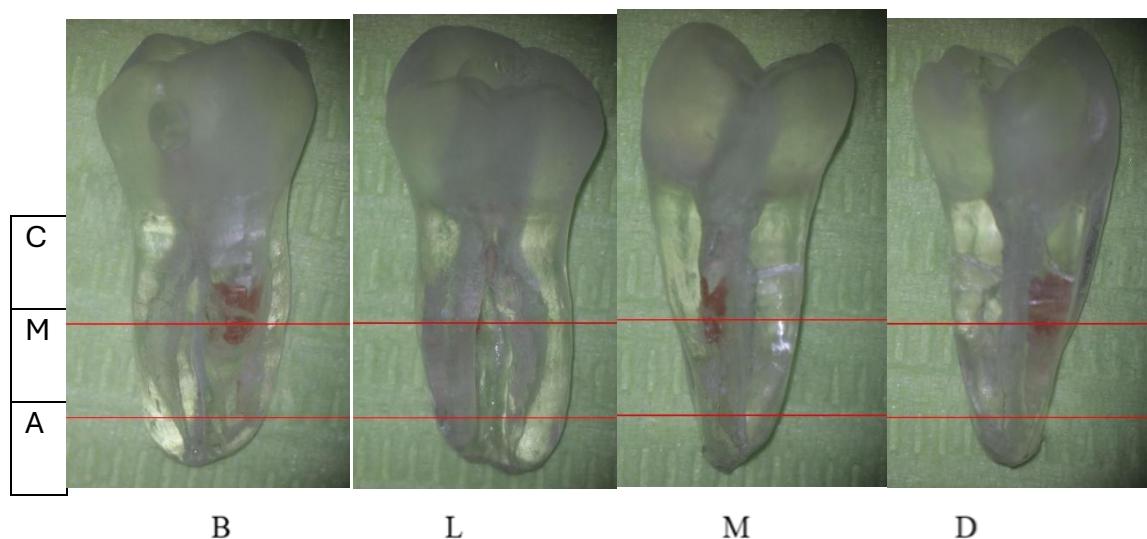
Diente 18

B

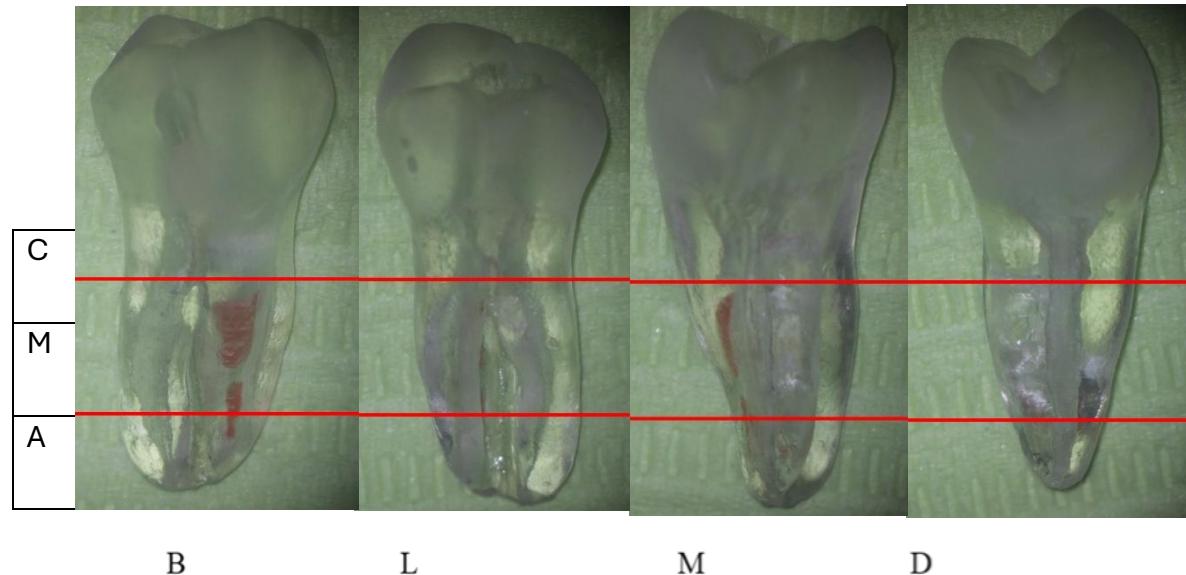
L

M

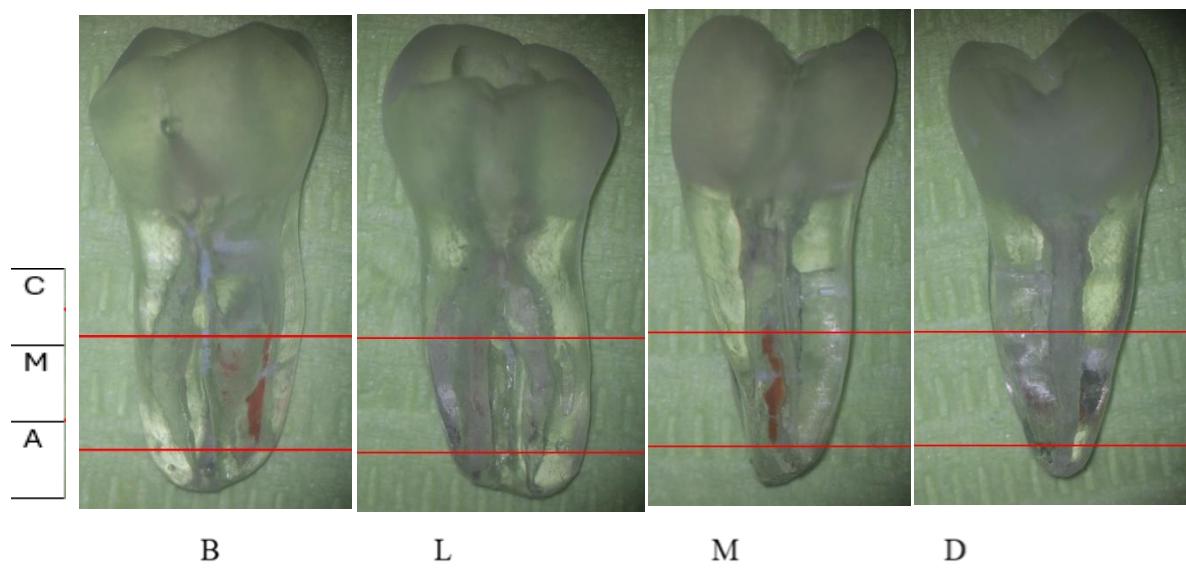
D



Diente 19

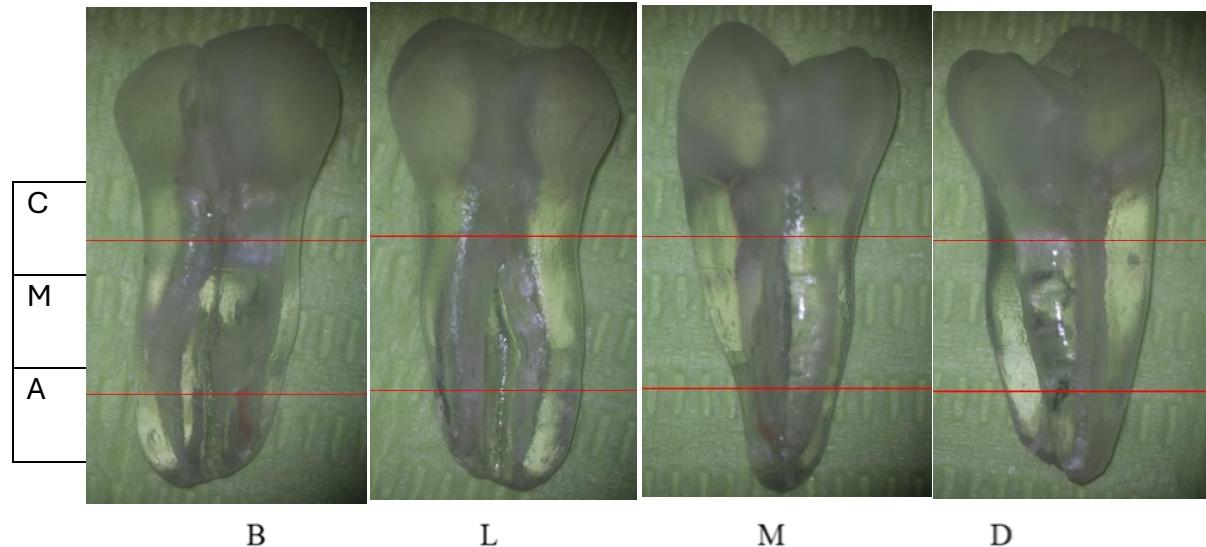


Diente 20

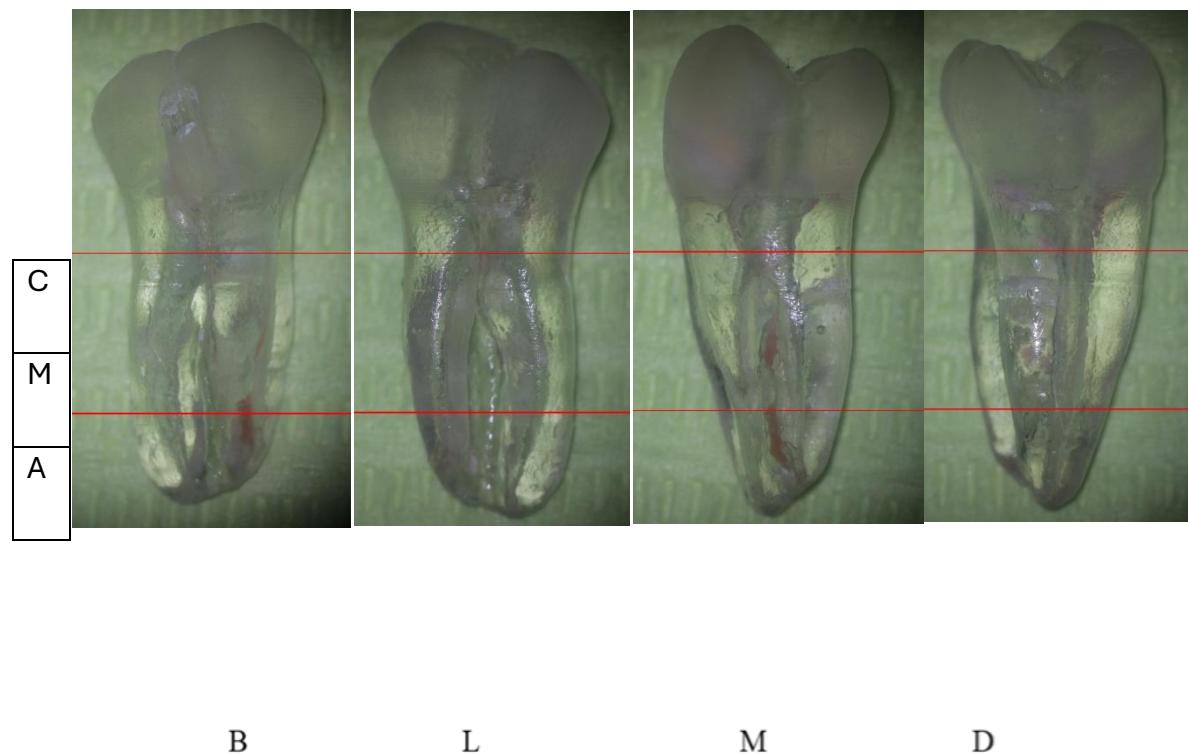


4. Aguja salida lateral

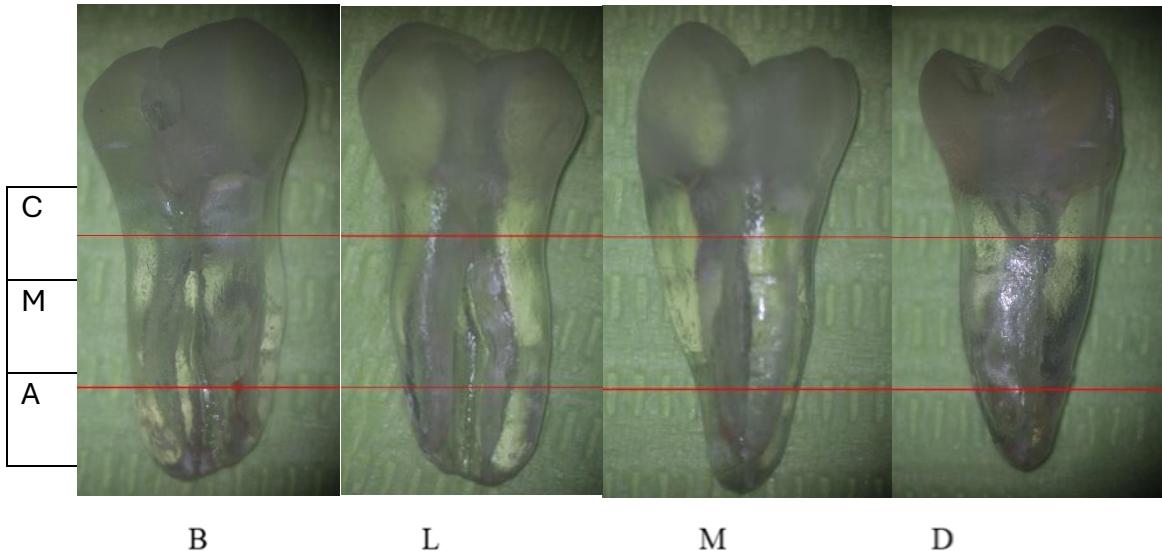
Diente 21



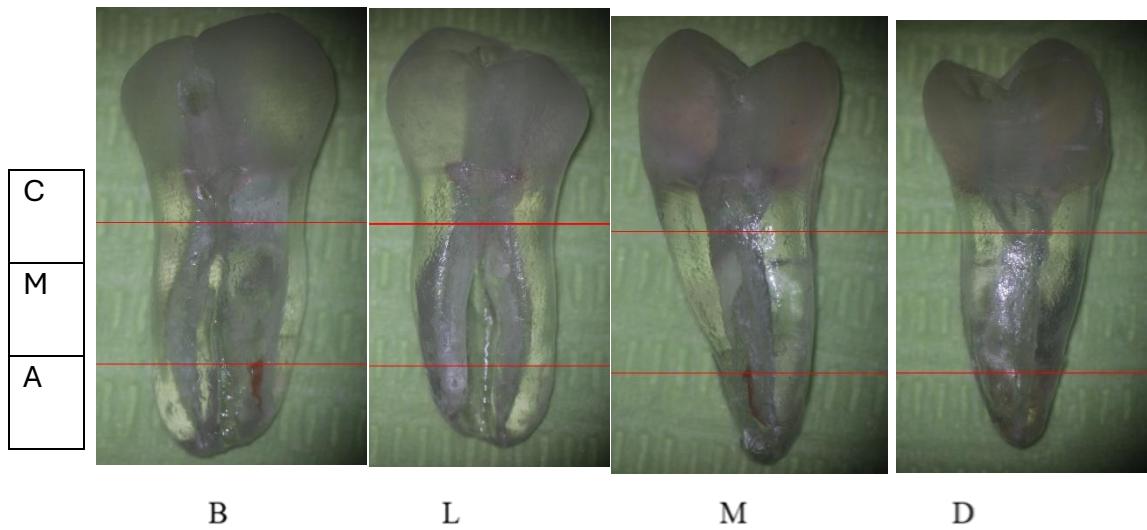
Diente 22



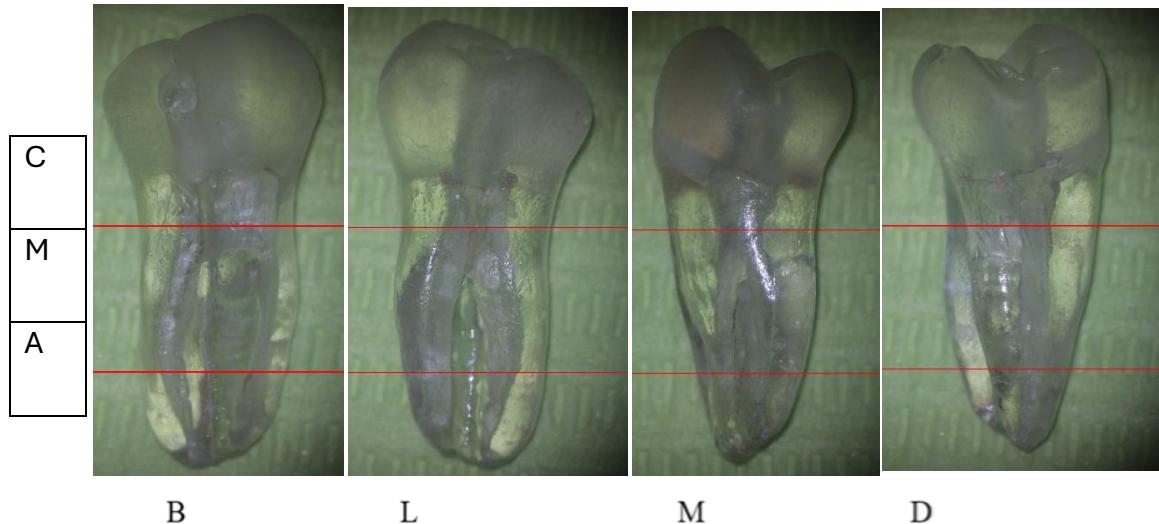
Diente 23



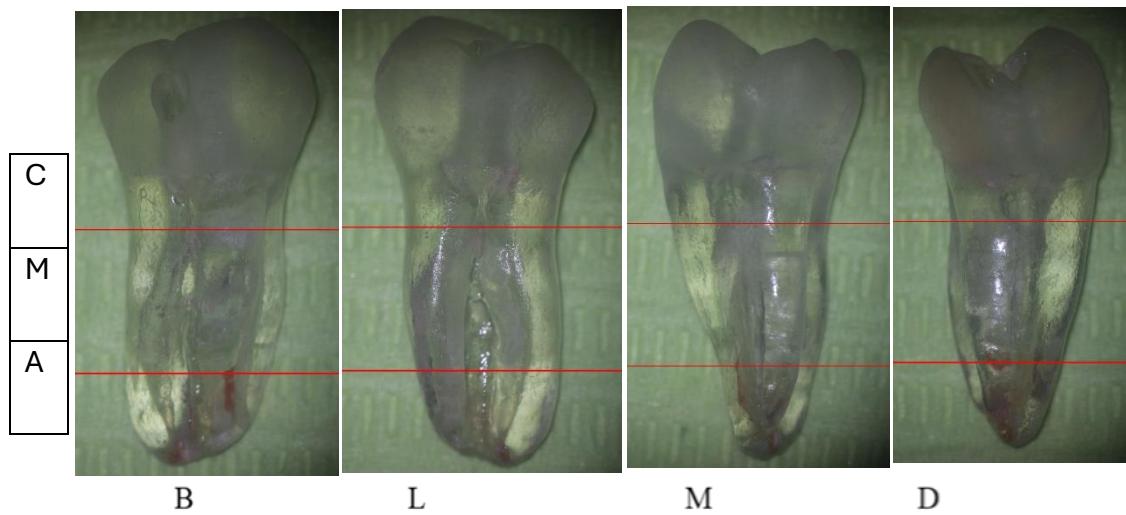
Diente 24



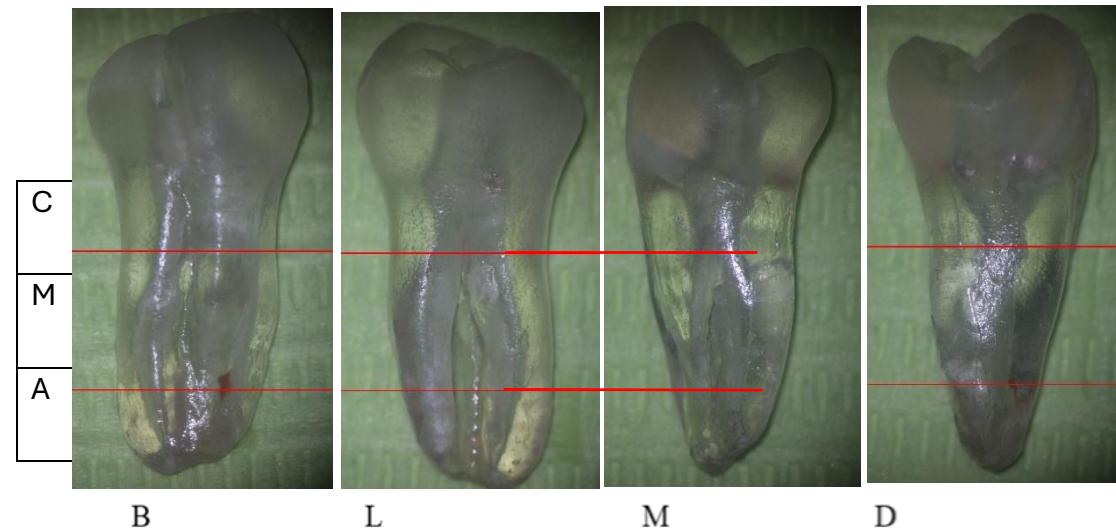
Diente 25



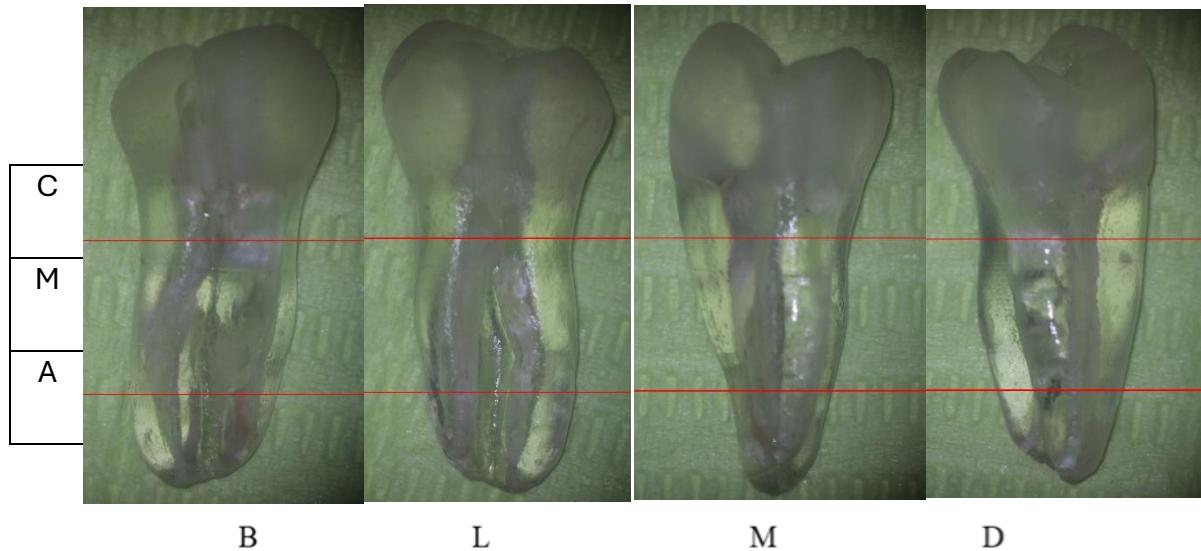
Diente 26



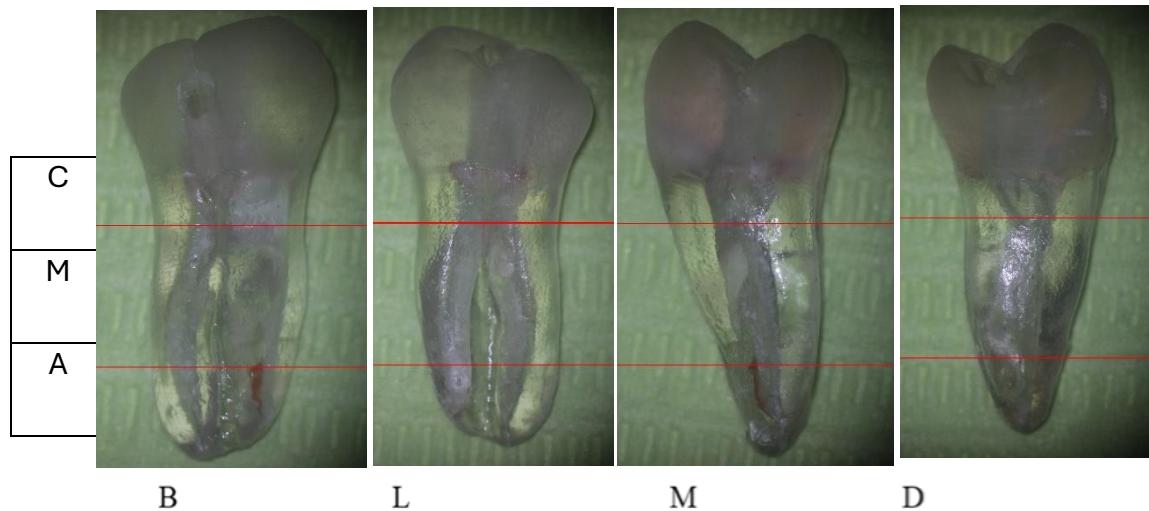
Diente 27



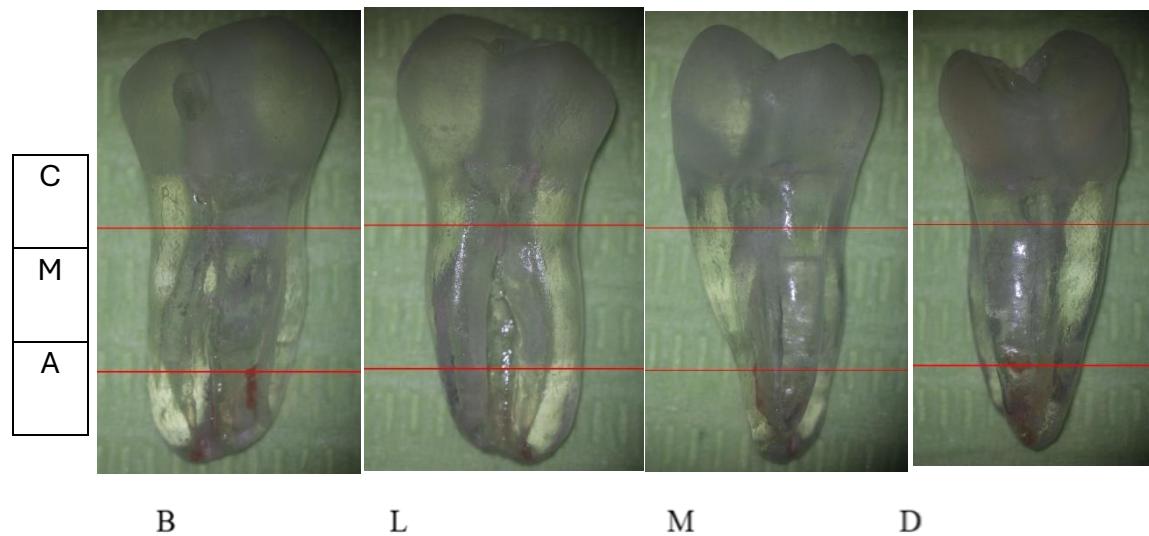
Diente 28



Diente 29



Diente 30



14.2 Anexos

Anexo A**DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE PUBLICACIÓN**

Yo, Eva María Fonseca Talavera, con cédula de identidad 441-050699- 1001U egresada del programa académico de Grado, Licenciatura en Especialidad en Endodoncia y Microcirugía declaró que:

El contenido del presente documento es un reflejo de mi trabajo personal, y toda la información que se presenta está libre de derechos de autor, por lo que, ante cualquier notificación de plagio, copia o falta a la fuente original, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad Católica Redemptoris Mater (UNICA).

Así mismo, autorizo a UNICA por este medio, publicar la versión aprobada de mi trabajo de investigación, bajo el título *Eficacia comparativa de tres tipos de agujas de irrigación para la limpieza de conductos radiculares con modelos de segundos molares mandibulares con anatomía C Shape, a través de fotografía microscópica, UNICA 2025*, en el campus virtual y en otros espacios de divulgación, bajo la licencia Atribución-No Comercial-Sin derivados, irrevocable y universal para autorizar los depósitos y difundir los contenidos de forma libre e inmediata.

Todo esto lo hago desde mi libertad y deseo de contribuir a aumentar la producción científica. Para constancia de lo expuesto anteriormente, firmo la presente declaración en la ciudad de Managua, Nicaragua a los 17 días del mes octubre de 2025.

Atentamente,



Firma:

Eva María Fonseca Talavera

efonseca2@unica.edu.ni