Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Vicerrectoría de postgrado

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

Línea de investigación: Salud y Bienestar

Línea específica de investigación: Endodoncia y Microcirugía

Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos

AUTOR

Hernández–Castellón, Diana Laura

https://orcid.org/0009-0000-6941-3995

Managua, Nicaragua

Septiembre de 2026

Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Vicerrectoría de postgrado

Tesis monográfica para optar al título de

Especialista en Endodoncia y Microcirugía

Línea de investigación: Salud y Bienestar

Línea específica de investigación: Endodoncia y Microcirugía

Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua, de enero a mayo de 2026

AUTOR

Hernández–Castellón, Diana Laura

https://orcid.org/0009-0000-6941-3995

TUTOR CIENTÍFICO

Dra. Ana Cecilia Baldizón

Especialista en Endodoncia

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

TUTOR METODOLÓGICO

PhD. Jesús Mendoza Casanova

Profesor investigador / UNICA

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

REVISOR Y CORRECTOR DE ESTILO

Lic. Hazel María López Palacios

Profesor Investigador/UNICA

https://orcid.org/0009-0003-9963-8409

ASESOR REDACCIÓN/ESTILO

MSc. Marvin Antonio González Ortega

Profesor de Tiempo Completo/UNICA

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

Managua, Nicaragua

Septiembre de 2026

CARTA AVAL DEL TUTOR CIENTIFICO

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

Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua, de enero a mayo de 2026.

Realizado por Diana Laura Hernández Castellón, cumple con las disposiciones científicas y técnicas que regulan esta actividad académica, y constituye su tesis monográfica para optar al título de Especialista en endodoncia y microcirugía.

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

Managua, Nicaragua, 8 de septiembre de 2026.

Atentamente,

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

CARTA AVAL DEL TUTOR METODOLÓGICO

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

Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua, de enero a mayo de 2026

Realizado por Diana Laura Hernández Castellón, cumple con las disposiciones Institucionales y metodológicas, que regulan esta actividad académica, y constituye su tesis monográfica para optar al título de Especialista en endodoncia y microcirugía.

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

Managua, Nicaragua, 08 días de septiembre de 2026.

Atentamente,

PhD. Jesús Mendoza Casanova
Profesor investigador / UNICA
jmendoza8@unica.edu.ni

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi refugio en cada etapa de este camino. Gracias por darme sabiduría, perseverancia y la oportunidad de cumplir uno de los sueños más importantes de mi vida profesional. En los momentos de cansancio, incertidumbre y dificultad, Su amor y misericordia me permitieron continuar y no rendirme.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por creer siempre en mí aun en los momentos más difíciles. Gracias por ser el motor que impulsa mi vida, por sus consejos, sus oraciones y por enseñarme el valor del esfuerzo, la disciplina y la humildad. Cada logro alcanzado también les pertenece a ustedes, porque han sido parte fundamental de mi formación personal y profesional.

A mis maestros y tutores, quienes con paciencia, dedicación y vocación compartieron sus conocimientos y experiencia durante este proceso académico. Gracias por orientarme, motivarme y contribuir significativamente al desarrollo de esta investigación y de mi formación como especialista en Endodoncia y Microcirugía. Su apoyo y enseñanzas dejarán una huella invaluable en mi vida profesional.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida profesional. Gracias por darme salud, fortaleza, sabiduría y la capacidad de superar cada reto presentado durante este proceso académico. Su guía ha sido fundamental para culminar esta etapa con fe, perseverancia y dedicación.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi apoyo incondicional en cada paso de mi vida. Gracias por sus sacrificios, sus consejos, sus oraciones y por impulsarme siempre a luchar por mis sueños. Todo el esfuerzo realizado durante esta especialidad ha sido posible gracias al amor, la confianza y el respaldo que siempre me han brindado.

Agradezco de manera especial a mis tutores y maestros del programa de Especialidad en Endodoncia y Microcirugía de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo, por compartir sus conocimientos, experiencia y orientación académica durante el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas han contribuido significativamente a mi crecimiento profesional y humano.

Asimismo, agradezco al Laboratorio Sagrada Familia por el apoyo brindado durante el proceso investigativo, así como a todas las personas que de una u otra manera colaboraron y aportaron al desarrollo de este estudio. Finalmente, agradezco a cada paciente, compañero y persona cercana que me motivó a continuar creciendo profesionalmente y a seguir trabajando con pasión y compromiso por la endodoncia y la microcirugía.

Resumen

La desinfección efectiva del sistema de conductos radiculares constituye uno de los principales factores asociados al éxito del tratamiento endodóntico. En este contexto, el hipoclorito de sodio es considerado el irrigante de elección debido a sus propiedades antimicrobianas y capacidad de disolución tisular. Sin embargo, la búsqueda de estrategias que optimicen su eficacia continúa siendo un área de interés científico.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre su acción antimicrobiana frente a *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales humanos extraídos.

Se realizó un estudio cuantitativo, correlacional, longitudinal y comparativo. La población estuvo constituida por órganos dentales humanos extraídos seleccionados de acuerdo con criterios de inclusión previamente establecidos, conformándose una muestra distribuida en grupos experimentales según la temperatura de aplicación del irrigante. Como instrumentos se utilizaron fichas de registro microbiológico, protocolos de control térmico y procedimientos de cuantificación bacteriana mediante unidades formadoras de colonias (UFC/ml). La recolección de datos se efectuó a través de la inoculación controlada de *Enterococcus faecalis*, la aplicación de hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas y el posterior análisis microbiológico de las muestras.

Los resultados evidenciaron una reducción significativa de la carga bacteriana en los grupos experimentales, observándose una mayor eficacia antimicrobiana cuando el hipoclorito de sodio fue aplicado a temperaturas elevadas. Los análisis estadísticos permitieron identificar diferencias significativas entre las condiciones evaluadas, respaldando la hipótesis de investigación.

Se concluye que el aumento de la temperatura del hipoclorito de sodio favorece su acción antimicrobiana frente a *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares. Se recomienda ampliar las investigaciones mediante estudios clínicos y microbiológicos que incorporen diferentes concentraciones del irrigante, otras especies microbianas y protocolos complementarios de desinfección para fortalecer la evidencia disponible y optimizar la práctica endodóntica.

Palabras clave: Hipoclorito de sodio, Enterococcus faecalis, irrigación endodóntica, temperatura.

Abstract

Effective disinfection of the root canal system constitutes one of the main factors associated with the success of endodontic treatment. In this context, sodium hypochlorite is considered the irrigant of choice due to its antimicrobial properties and tissue-dissolving capacity. However, the search for strategies to optimize its effectiveness remains an area of scientific interest.

The aim of this study was to evaluate the effect of sodium hypochlorite temperature variation on its antimicrobial activity against *Enterococcus faecalis* in the root canals of extracted human dental organs.

A quantitative, correlational, longitudinal, and comparative study was conducted. The population consisted of extracted human teeth selected according to previously established inclusion criteria, and the sample was distributed into experimental groups based on the temperature at which the irrigant was applied. Microbiological record sheets, thermal control protocols, and bacterial quantification procedures using colony-forming units (CFU/ml) were employed as research instruments. Data collection was carried out through the controlled inoculation of *Enterococcus faecalis*, the application of sodium hypochlorite at different temperatures, and the subsequent microbiological analysis of the samples.

The results demonstrated a significant reduction in bacterial load in the experimental groups, with greater antimicrobial efficacy observed when sodium hypochlorite was applied at elevated temperatures. Statistical analyses revealed significant differences among the evaluated conditions, supporting the research hypothesis.

It is concluded that increasing the temperature of sodium hypochlorite enhances its antimicrobial activity against *Enterococcus faecalis* in root canals. Further clinical and microbiological studies involving different irrigant concentrations, additional microbial species, and complementary disinfection protocols are recommended to strengthen the available evidence and optimize endodontic practice.

Keywords. Sodium hypochlorite, Enterococcus faecalis, endodontic irrigation, temperature.

Índice de contenido

1. Introducción 1
2. Antecedentes 5
3. Contexto del problema 8
4. Pregunta de investigación 11
5. Objetivos 12
   5.1 Objetivo general 12
   5.2 Objetivos específicos 12
6. Justificación 13
7. Limitantes de la investigación 16
8. Marco teórico 19
   8.1 Marco referencial 19
   8.2 Marco conceptual 27
9. Marco metodológico 36
   9.1 Tipo de investigación 36
   9.2 Hipótesis de investigación 38
   9.3 Definición operativa de las variables 39
   9.4 Criterios de inclusión y exclusión 42
   9.5 Población y muestra 43
   9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 44
   9.7 Validez y confiabilidad de los instrumentos 60
   9.8 Procedimientos para el procesamiento y análisis de información 61
   9.9 Consideraciones éticas 62
10. Resultados y discusión 63
11. Conclusiones 76
12. Recomendaciones 77
13. Referencias 78
14. Apéndices / Anexos 81
   14.1 Apéndices 81
   14.2 Anexos 85

Índice de tablas

Tabla 1 *Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 1*.....39

Tabla 2 *Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 2*.....40

Tabla 3 *Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 3*.....41

Tabla 4 *Estadísticos descriptivos al grupo expuesto al NaOCl a 24 °C*.....66

Tabla 5 *Estadísticos descriptivos al grupo expuesto a NaOCl a 36 °C*.....69

Tabla 6 *Estadísticas de grupo de porcentaje de inhibición bacteriana*.....72

Tabla 7 *Pruebas de normalidad* 72

Tabla 8 *Pruebas de hipótesis para muestras independientes*.....74

Índice de figuras

Figura 1 *Enterococcus faecalis* .....**¡Error! Marcador no definido.**
Figura 2 *Irrigación en endodoncia* 32
Figura 3 *Hipoclorito de sodio* 33
Figura 4 *Órganos dentales caninos superiores* 44
Figura 5 *Corte de corona y limpieza externa de los órganos dentales* 45
Figura 6 *Sellado del órgano dental* 45
Figura 7 *Órganos dentales sellados* 46
Figura 8 *Lima calibre #15 FKg manual* 46
Figura 9 *Endomotor extreme y limas utilizadas para la instrumentación* 47
Figura 10 *Irrigación en endodoncia con aguja de salida lateral* 47
Figura 11 *Conos de papel estériles 30/04 marca FKG* 48
Figura 12 *Esterilización de los 30 órganos dentales* 48
Figura 13 *Incubadoras con la temperatura de trabajo* 49
Figura 14 *Cepa de Enterococcus faecalis ATCC:29212* 49
Figura 15 *Erlenmeyer conteniendo los órganos dentales* 50
Figura 16 *Preparación de tubos de ensayos microbiológicos* 50
Figura 17 *Preparación del caldo nutritivo* 51
Figura 18 *Equipo básico para el estudio microbiológico* 51
Figura 19 *Toma de muestra con el cono de papel* 52
Figura 20 *Irrigación con hipoclorito de sodio a 24 °C* 53
Figura 21 *Muestra depositada en el tubo de ensayo* 53
Figura 22 *Recepción de muestras biológicas* 54
Figura 23 *Preparación del medio de cultivo* 55
Figura 24 *Órganos dentales para el estudio microbiológico* 56
Figura 25 *Incubación de los órganos dentales a 37 °C* 57
Figura 26 *Preparación y montaje de agar BHI* 58
Figura 27 *Platos petri inoculados con Enterococcus faecalis* 58
Figura 28 *Recuento de UFC de Enterococcus faecalis expuesto al NaOCl a 24 °C* 64
Figura 29 *Recuento de UFC de Enterococcus faecalis expuesto a NaOCl a 36 °C* 67
Figura 30 *Porcentaje de inhibición bacteriana alcanzado en dos temperaturas* 70

1. Introducción

La endodoncia contemporánea tiene como uno de sus principales objetivos la eliminación de microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares, debido a que las infecciones de origen endodóntico constituyen una de las causas más frecuentes de patología pulpar y periapical. Diversos estudios han demostrado que el éxito del tratamiento endodóntico depende en gran medida de la reducción o eliminación de la carga microbiana existente dentro de los conductos radiculares, ya que la persistencia de microorganismos favorece la aparición de infecciones secundarias, lesiones periapicales persistentes y fracaso terapéutico. En este contexto, la irrigación química representa un componente fundamental del tratamiento, puesto que complementa la acción mecánica de la instrumentación al alcanzar áreas anatómicas inaccesibles para los instrumentos endodónticos.

Entre los irrigantes utilizados en la práctica clínica, el hipoclorito de sodio es considerado el estándar de referencia debido a sus propiedades antimicrobianas, capacidad de disolver tejido orgánico y eficacia para eliminar residuos presentes en el sistema de conductos radiculares. Sin embargo, a pesar de sus reconocidas ventajas, la búsqueda de estrategias que permitan optimizar su efectividad continúa siendo un tema de interés para la investigación científica. Dentro de estas estrategias, el incremento de la temperatura del irrigante ha despertado especial atención debido a la posibilidad de potenciar sus propiedades químicas y microbiológicas sin necesidad de aumentar su concentración.

La evidencia científica disponible señala que el calentamiento del hipoclorito de sodio puede incrementar la velocidad de sus reacciones químicas, mejorar su capacidad de disolución tisular y favorecer su acción antimicrobiana. No obstante, los resultados reportados por diferentes investigaciones continúan siendo variables y, en algunos casos, contradictorios, particularmente en relación con la magnitud del efecto que produce la temperatura sobre microorganismos resistentes asociados a infecciones endodónticas persistentes. Esta situación evidencia la necesidad de continuar generando conocimiento científico que permita comprender con mayor precisión el comportamiento del irrigante bajo diferentes condiciones térmicas.

Uno de los microorganismos de mayor relevancia en endodoncia es *Enterococcus faecalis*, bacteria grampositiva facultativa que ha sido frecuentemente aislada en órganos dentales con

tratamientos endodónticos fallidos y lesiones periapicales persistentes. Su capacidad para sobrevivir en ambientes con escasos nutrientes, resistir condiciones adversas y penetrar profundamente en los túbulos dentinarios la convierte en un desafío clínico para los procedimientos de desinfección. Debido a estas características*, E. faecalis* ha sido ampliamente utilizada como microorganismo modelo en investigaciones destinadas a evaluar la eficacia de distintos protocolos de irrigación y desinfección endodóntica.

En este contexto surge el problema de investigación relacionado con la necesidad de determinar si la variación de temperatura del hipoclorito de sodio modifica significativamente su acción antimicrobiana frente a *E faecalis* en conductos radiculares. Aunque diversos estudios han explorado esta temática, aún existen vacíos de conocimiento respecto a la magnitud de dicho efecto y a su posible aplicación clínica en protocolos de irrigación endodóntica. La falta de evidencia concluyente limita la toma de decisiones fundamentadas sobre el empleo rutinario del calentamiento del irrigante como estrategia para optimizar la desinfección del sistema de conductos radiculares.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al fortalecimiento de la evidencia científica relacionada con los procedimientos de irrigación endodóntica. Desde el punto de vista clínico, los resultados podrían proporcionar información relevante para mejorar la eficacia de los protocolos de desinfección, favoreciendo la reducción de microorganismos resistentes y contribuyendo potencialmente al aumento de las tasas de éxito del tratamiento endodóntico. Asimismo, el estudio aporta evidencia experimental útil para futuras investigaciones orientadas a perfeccionar las técnicas de irrigación y optimizar el uso del hipoclorito de sodio en la práctica odontológica.

En correspondencia con el problema planteado, el objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre su acción antimicrobiana frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales humanos extraídos.

Para alcanzar este propósito se plantearon objetivos específicos orientados a determinar el recuento de UFC de *E. faecalis* después de la exposición al NaOCl a 24 °C y 36 °C, así como a

comparar la eficacia antimicrobiana obtenida entre ambas condiciones térmicas mediante análisis estadístico.

Por tratarse de una investigación con enfoque cuantitativo y diseño experimental, se formuló la siguiente hipótesis de investigación: la elevación de la temperatura del hipoclorito de sodio incrementa significativamente su acción antimicrobiana frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales humanos extraídos. De manera complementaria, se estableció como hipótesis nula que no existen diferencias estadísticamente significativas en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio al variar su temperatura de aplicación.

La investigación se desarrolló dentro de límites claramente definidos. Temporalmente, el estudio se ejecutó durante el período correspondiente al desarrollo del proyecto de investigación, incluyendo las fases de recolección de muestras, preparación experimental, inoculación microbiológica, aplicación de tratamientos y análisis estadístico de los resultados.

Espacialmente, el estudio se llevó a cabo en un laboratorio autorizado para la realización de procedimientos microbiológicos y experimentales relacionados con la investigación. Conceptualmente, la investigación se delimitó al análisis de la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio bajo diferentes condiciones térmicas frente a *E. faecalis*, sin incluir la evaluación de otros microorganismos, otras soluciones irrigantes o variables clínicas adicionales relacionadas con el tratamiento endodóntico.

Con el propósito de presentar de manera organizada y sistemática el desarrollo de la investigación, el informe se estructuró en varios apartados. En primer lugar, se presenta el planteamiento del problema, donde se describe la situación objeto de estudio, la formulación del problema, la justificación y los objetivos de la investigación. Posteriormente, se desarrolla el marco teórico, que reúne los fundamentos conceptuales, científicos y antecedentes relacionados con la microbiología endodóntica, las propiedades del hipoclorito de sodio, la influencia de la temperatura sobre los irrigantes y las características microbiológicas de *E. faecalis*.

Seguidamente, se expone el marco metodológico, en el cual se describen el enfoque, diseño, tipo de estudio, población, muestra, variables, técnicas, instrumentos y procedimientos utilizados para la obtención y análisis de los datos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los análisis descriptivos e inferenciales correspondientes, seguidos de la

discusión de los hallazgos en relación con la evidencia científica disponible. Finalmente, se incluyen las conclusiones derivadas del estudio, las recomendaciones orientadas a la práctica clínica y futuras investigaciones, las limitaciones identificadas durante el desarrollo del proyecto, así como las referencias bibliográficas y anexos que respaldan el proceso investigativo realizado.

De esta manera, la presente investigación busca aportar evidencia científica sobre el efecto de la temperatura en la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio, contribuyendo al fortalecimiento de los conocimientos actuales en el campo de la endodoncia y proporcionando información útil para la optimización de los protocolos de desinfección del sistema de conductos radiculares.

2. Antecedentes

Este apartado reúne la evidencia previa que sustenta el estudio propuesto, situándolo en su línea de investigación (Endodoncia: desinfección del sistema de conductos) y sublínea (Irrigación: hipoclorito de sodio, temperatura), y describiendo hallazgos clave en tres escalas: internacional**,** regional centroamericana y nacional (Nicaragua)**.** La revisión resalta investigaciones temáticamente afines (acción antimicrobiana de NaOCl frente a *E. faecalis*, con énfasis en la temperatura) y establece una secuencia temporal desde trabajos clásicos hasta publicaciones muy recientes, para identificar consistencias, controversias y vacíos que justifican el estudio *in vitro* 2026.

Nivel Internacional

Sirtes et al. (2005), en la Universidad de Zúrich, Suiza, desarrollaron un estudio in vitro donde evaluaron la acción antimicrobiana y de disolución tisular del hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas. Los autores demostraron que el NaOCl aumenta significativamente su eficacia al elevar la temperatura entre 45 °C y 60 °C, observándose mayor poder solvente y reducción bacteriana. Este estudio fue uno de los primeros en establecer la relación directa entre temperatura y eficacia químico-antimicrobiana**,** formando la base conceptual de investigaciones posteriores.

En otra revisión sistemática realizada por Govindaraju et al. (2024), del Sri Ramachandra Dental College, India, realizaron una revisión sistemática y metarregresión siguiendo los lineamientos PRISMA para analizar si el incremento de la temperatura del NaOCl mejora su eficacia antimicrobiana. Incluyeron 12 estudios in vitro y concluyeron que, si bien existe tendencia positiva, las diferencias metodológicas impiden afirmar resultados concluyentes.

Giardino et al. (2016), investigadores vinculados a instituciones de Italia, Irán y Brasil, realizaron un estudio experimental *in vitro* con el objetivo de evaluar la influencia de la temperatura sobre la actividad antibacteriana de irrigantes a base de hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis*. Utilizaron 170 muestras de dentina radicular bovina y compararon las soluciones a 20 °C y 45 °C. Los resultados mostraron una mayor actividad antibacteriana a 45 °C. Los autores

concluyeron que el incremento de la temperatura favorece la eficacia antimicrobiana de los irrigantes a base de NaOCl.

Nivel Regional (Centroamérica)

Meneses Guzmán y Loaiza Azofeifa (2014), en la Facultad de Odontología de la Universidad de Costa Rica, realizaron un estudio experimental *in vitro* para evaluar la capacidad de diferentes materiales de restauración temporal para impedir la microfiltración de *E. faecalis*. Los resultados demostraron que ninguno de los materiales evitó completamente la contaminación bacteriana del sistema de conductos radiculares. Los autores concluyeron que el control de *E. faecalis* continúa siendo un desafío en endodoncia.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación porque evidencia la persistencia de este microorganismo y la necesidad de optimizar los protocolos de desinfección mediante estrategias que potencien la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio, como la variación de su temperatura.

Armira Camey (2008), en la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un estudio experimental in vitro para comparar la eficacia bactericida del hipoclorito de sodio y el agua ozonizada frente a *E. faecalis*. Los resultados evidenciaron que el hipoclorito de sodio al 5.25 % eliminó el 100 % de las muestras bacterianas, demostrando una eficacia significativamente superior al agua ozonizada. La autora concluyó que el hipoclorito de sodio continúa siendo uno de los irrigantes más eficaces en endodoncia.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación porque confirma la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis* y sustenta la evaluación de la temperatura como un factor que podría potenciar su acción antimicrobiana.

Pereira Lu (1996), en la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un estudio experimental in vitro con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio sobre la dentina intrarradicular durante el tratamiento de conductos radiculares. Los resultados demostraron que el hipoclorito de sodio

produjo alteraciones en la dentina, siendo más evidentes a mayores concentraciones, concluyendo que su eficacia y efectos dependen de las propiedades fisicoquímicas de la solución.

La evidencia se relaciona con la presente investigación, ya que las características del hipoclorito de sodio influyen en su comportamiento durante la irrigación endodóntica, sustentando la necesidad de evaluar otra propiedad fisicoquímica, como la temperatura, y su efecto sobre la acción antimicrobiana frente a *E. faecalis*.

Nivel Nacional (Nicaragua)

Corrales López (2024)**,** en la Especialidad de Endodoncia de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), desarrolló un estudio cuantitativo y experimental orientado a evaluar la inhibición de *E. faecalis* mediante un protocolo de irrigación complementado con activación ultrasónica pasiva en órganos dentales anterosuperiores con diagnóstico de absceso apical crónico. La investigación incluyó 30 órganos dentales y contempló tres momentos de muestreo microbiológico: antes de la instrumentación, después del protocolo convencional de irrigación y posterior a la activación ultrasónica pasiva, utilizando hipoclorito de sodio al 4.72 %, EDTA al 17 % y solución salina.

Los resultados mostraron que el protocolo de irrigación convencional logró una reducción superior al 95 % de las unidades formadoras de colonias en el 90 % de las muestras, mientras que la incorporación de la activación ultrasónica permitió alcanzar una inhibición total de *E. faecalis* en el 90 % de los casos. El autor concluyó que la activación ultrasónica pasiva mejora el contacto, la penetración y la acción antimicrobiana de las soluciones irrigadoras dentro del sistema de conductos radiculares.

En el contexto nacional, estos resultados sugieren que la eficacia del hipoclorito de sodio puede incrementarse al modificar las condiciones de aplicación del irrigante. Mientras Corrales López evaluó la activación ultrasónica como variable potenciadora, el presente estudio analizará el efecto de la temperatura a 24 °C y 36 °C sobre la reducción de *E. faecalis*, contribuyendo a determinar si el aumento térmico puede representar otra estrategia efectiva para optimizar la desinfección endodóntica en Nicaragua.

3. Contexto del problema

En este apartado se presenta el planteamiento y contextualización del problema que da origen a la presente investigación. Se pretende describir la situación clínica, científica y formativa relacionada con la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis* en el tratamiento de conductos, haciendo énfasis en los efectos negativos que se presentan actualmente, las causas probables que explican por qué esta problemática persiste, y las consecuencias de no actuar frente a dicha situación. Este análisis permitirá justificar la necesidad del estudio y evidenciar su relevancia en el campo de la endodoncia contemporánea, especialmente en el contexto de formación académica y práctica clínica en Nicaragua.

Efectos (Lo negativo)

Uno de los principales efectos de la problemática es la persistencia de infecciones endodónticas**,** incluso después de haber realizado el tratamiento de conductos con protocolo convencional. El microorganismo *E. faecalis* ha sido identificado como uno de los agentes más frecuentes en casos de retratamientos y fracasos endodónticos debido a su capacidad de sobrevivir en condiciones hostiles, penetrar los túbulos dentinarios y formar biopelículas resistentes.

Esto significa que, aunque el hipoclorito de sodio es reconocido como el irrigante de elección en la terapia endodóntica por su acción antimicrobiana y capacidad de disolver tejido orgánico, su eficacia no siempre es suficiente para garantizar la eliminación total de la carga bacteriana**.** Como resultado, el paciente puede experimentar la reaparición de dolor, inflamación periapical, infecciones recurrentes o la necesidad de someterse a tratamientos adicionales para controlar el proceso infeccioso.

Además, este efecto negativo es especialmente relevante en la práctica clínica porque aumenta el riesgo de fracaso terapéutico**,** lo cual impacta directamente en la calidad de vida del paciente. El fracaso de una terapia endodóntica implica no solo molestias físicas, sino también consecuencias económicas, debido a los costos relacionados con nuevos procedimientos como

retratamientos, cirugías apicales o incluso la extracción del órgano dental comprometido y su posterior reemplazo protésico. En un contexto donde muchas personas carecen de acceso continuo a servicios odontológicos especializados, la persistencia de infecciones endodónticas se convierte en una problemática de salud pública, marcando la necesidad de optimizar los procedimientos clínicos para aumentar la eficacia del tratamiento inicial y evitar complicaciones futuras.

Posibles causas

Entre las causas que explican la persistencia de esta problemática se encuentra que este microorganismo puede sobrevivir en ambientes con pH elevado, adaptarse a condiciones de nutrición limitada y mantener su viabilidad en presencia de agentes antimicrobianos que normalmente serían letales para otras bacterias. Además, es capaz de formar biopelículas densas y organizadas**,** estructuras que actúan como barrera protectora frente al efecto químico del hipoclorito de sodio, dificultando su penetración completa en los túbulos dentinarios. Esta resistencia microbiológica hace que la eliminación de *E. faecalis* requiera no solo el uso del irrigante adecuado, sino también condiciones específicas que favorezcan la acción química del NaOCl.

Otra posible causa se relaciona con el manejo clínico del hipoclorito de sodio, específicamente el control de su temperatura**,** una variable que no siempre es considerada en la práctica odontológica cotidiana. La literatura científica ha documentado que la eficacia antimicrobiana del NaOCl puede incrementar cuando se eleva su temperatura, ya que el calor aumenta la velocidad de reacción del hipoclorito, su capacidad de penetración en los túbulos dentinarios y su acción solvente sobre tejidos orgánicos. Sin embargo, la falta de protocolos estandarizados, la limitada formación sobre este aspecto en los currículos odontológicos y la ausencia de equipos específicos en ciertos entornos clínicos hacen que la variación de temperatura no sea aplicada de manera sistemática, reduciendo la potencial efectividad del irrigante durante la terapia endodóntica.

Consecuencias de no actuar

Si no se actúa para resolver esta problemática, una consecuencia directa será la continuidad de altas tasas de fracaso en los tratamientos endodónticos, lo que afecta tanto al paciente como al sistema de salud. La falta de eliminación completa de *E. Faecalis* dentro del conducto puede conducir a infecciones crónicas, lesiones periapicales recurrentes y, en última instancia, la pérdida del órgano dental. La pérdida de los órganos dentales impacta negativamente en la función masticatoria, la estética, la autoestima y el bienestar emocional del paciente. Además, cuando el paciente debe enfrentar procedimientos repetidos o más invasivos, se incrementa la ansiedad, el miedo a la consulta odontológica y el desgaste económico.

Asimismo, la ausencia de estrategias clínicas sustentadas en evidencia científica limita la optimización de los protocolos de irrigación endodóntica en el contexto local. Si no se investigan nuevas estrategias orientadas a potenciar la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio, como la variación de su temperatura, podrían mantenerse protocolos convencionales con limitaciones frente a microorganismos persistentes como *E. Faecalis*.

Desde el ámbito académico, esto restringe la incorporación de nuevos conocimientos en la formación de los futuros especialistas; desde el ámbito clínico, limita la optimización de los procedimientos de desinfección; y desde el ámbito social, puede repercutir en el acceso a tratamientos fundamentados en evidencia científica. En síntesis, continuar investigando estrategias que mejoren la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio resulta relevante para fortalecer la práctica endodóntica y contribuir a la preservación de los órganos dentales.

4. Pregunta de investigación

La persistencia de *E. faecalis* en los conductos radiculares representa uno de los principales desafíos en la terapia endodóntica, ya que esta bacteria es resistente a condiciones adversas y a diversos irrigantes. El hipoclorito de sodio (NaOCl) es el irrigante más utilizado por su reconocida capacidad antimicrobiana y de disolución tisular. Sin embargo, la literatura científica señala que su eficacia puede variar en función de la concentración, el tiempo de contacto y la temperatura de aplicación.

A pesar de la evidencia, aún existe controversia respecto al impacto que la temperatura ejerce sobre la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio, particularmente frente a *E. faecalis*. Esta falta de consenso limita la optimización de protocolos clínicos en endodoncia y subraya la necesidad de estudios experimentales en contextos locales que aporten datos específicos y aplicables.

En este sentido, surge la siguiente interrogante central:

¿Cuál es el efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, en el Laboratorio Sagrada Familia, de enero a mayo 2026?

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, en Laboratorio Sagrada Familia, de enero a mayo de 2026

Objetivos específicos

Determinar el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 24 °C utilizando métodos microbiológicos in vitro relacionando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Establecer el recuento de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 36 °C utilizando métodos microbiológicos in vitro evaluando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Comparar la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio a 24 °C y 36 °C empleando pruebas de significancia apropiadas para los datos obtenidos determinando si las variaciones térmicas producen efectos clínicamente relevantes.

6. Justificación

La justificación de una investigación se fundamenta en explicar las razones que motivan su realización, evidenciando su importancia y necesidad. Según Hernández Sampieri (2014), esta debe responder a cinco criterios principales: la conveniencia, que refleja la pertinencia del tema en un contexto específico; la relevancia social, que expone su impacto en la comunidad; el valor teórico, que contribuye a la generación de conocimiento; la utilidad metodológica, que enriquece los procedimientos de investigación; y las implicaciones prácticas, que señalan la aplicabilidad de los resultados en la solución de problemas reales. Bajo esta perspectiva, el presente estudio sobre el efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos busca cumplir con cada uno de estos criterios de justificación.

Conveniencia

El estudio es conveniente porque aborda una problemática actual en la endodoncia: la resistencia de *Enterococcus faecalis* frente a los irrigantes tradicionales. Evaluar el efecto de la temperatura en la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio resulta oportuno, ya que la literatura reporta resultados contradictorios y no existe un consenso definitivo en el ámbito científico. Al realizar este trabajo en un contexto universitario, se fortalecerán las líneas de investigación en odontología y microbiología.

Además, la investigación es pertinente porque se llevará a cabo en un entorno controlado (estudio *in vitro*), lo cual permite obtener datos fiables y reproducibles. Estos resultados podrán ser utilizados como base para futuros estudios clínicos, ampliando la comprensión del fenómeno y aportando evidencia que justifique cambios en los protocolos de irrigación endodóntica.

Relevancia social

La relevancia social del estudio radica en que las infecciones endodónticas representan un problema de salud pública debido a su alta prevalencia y a la dificultad de erradicación de microorganismos resistentes como *E. faecalis*. Optimizar la acción del hipoclorito de sodio podría

mejorar los resultados clínicos de los tratamientos de conductos, reduciendo las tasas de fracaso y la necesidad de retratamientos endodónticos.

De esta forma, los beneficios se reflejarán directamente en los pacientes, al ofrecer alternativas más eficaces y seguras para preservar los órganos dentales. Esto no solo mejora la calidad de vida de las personas, sino que también disminuye los costos asociados a tratamientos prolongados o reemplazos protésicos derivados de extracciones por fracasos terapéuticos.

Valor teórico

El estudio aporta valor teórico porque enriquecerá el conocimiento científico sobre la relación entre la temperatura y la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio. Si se comprueba una mayor efectividad a temperaturas específicas, se podrían establecer nuevas bases para la explicación de los mecanismos de acción del irrigante.

Asimismo, este valor se traduce en un aporte a la literatura endodóntica, al complementar las investigaciones previas con evidencia experimental controlada. Esto contribuirá a clarificar la controversia existente y servirá de soporte para futuras investigaciones orientadas a explorar la interacción de variables como concentración, tiempo de exposición y métodos de activación.

Utilidad metodológica

La investigación presenta utilidad metodológica porque empleará un diseño experimental in vitro que puede ser replicado y adaptado en otros contextos académicos y clínicos. La aplicación de métodos microbiológicos estandarizados, como la inoculación de cepas de *E. faecalis* en conductos radiculares y el análisis de recuentos bacterianos, constituye una estrategia válida y confiable para evaluar la eficacia antimicrobiana.

De igual manera, los procedimientos empleados podrán ser utilizados por otros investigadores en estudios comparativos con diferentes irrigantes o condiciones de activación.

Así, el presente estudio no solo generará resultados propios, sino que también ofrecerá una base metodológica útil para el desarrollo de nuevas líneas de investigación en endodoncia.

Implicaciones prácticas

Las implicaciones prácticas de este estudio se reflejan en la posibilidad de mejorar los protocolos de irrigación endodóntica. Si se demuestra que la variación de temperatura potencia el efecto del hipoclorito de sodio, los profesionales podrían implementar esta técnica en la práctica clínica cotidiana, optimizando los resultados de la terapia de conductos.

En este sentido, la investigación contribuirá directamente a la formación de odontólogos con un enfoque basado en la evidencia científica, capaces de aplicar protocolos más efectivos y seguros. De manera indirecta, se beneficiarán los pacientes al recibir tratamientos con mayor probabilidad de éxito y menores complicaciones asociadas.

7. Limitantes de la investigación

En el presente estudio, orientado a evaluar el efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre su acción antimicrobiana frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales humanos extraídos, se identificaron diversas limitaciones que deben ser consideradas al momento de analizar los hallazgos obtenidos y establecer su aplicabilidad clínica.

Desde el punto de vista metodológico, una de las principales limitaciones estuvo relacionada con el carácter experimental *in vitro* de la investigación. Aunque este tipo de diseño permite controlar rigurosamente las variables experimentales y reducir la influencia de factores externos, las condiciones de laboratorio no reproducen completamente la complejidad biológica presente en el entorno clínico real.

En la cavidad oral y en el sistema de conductos radiculares existen múltiples variables biológicas, químicas y microbiológicas que interactúan simultáneamente y que pueden modificar el comportamiento de los irrigantes endodónticos. Por esta razón, los resultados obtenidos deben interpretarse dentro de las condiciones experimentales establecidas y no extrapolarse de forma absoluta a situaciones clínicas sin el respaldo de estudios complementarios.

Otra limitación metodológica estuvo asociada al uso de una única especie bacteriana como microorganismo de estudio. Aunque *E. faecalis* es ampliamente reconocido como uno de los principales microorganismos relacionados con infecciones endodónticas persistentes y fracasos terapéuticos, las infecciones pulpares y periapicales suelen presentar una microbiota compleja y polimicrobiana. En consecuencia, la respuesta observada frente al hipoclorito de sodio calentado podría diferir cuando se evalúan otras especies bacterianas, hongos o comunidades microbianas organizadas en biopelículas mixtas, lo cual representa una limitación para la generalización de los resultados.

Asimismo, el tamaño de la muestra constituyó una restricción inherente al diseño experimental. La disponibilidad de órganos dentales humanos extraídos que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos limitó la cantidad de especímenes que pudieron incorporarse al estudio. Aunque se aplicaron procedimientos de selección estandarizados para garantizar la homogeneidad de la muestra, un mayor número de especímenes habría permitido incrementar

la potencia estadística de los análisis y fortalecer la capacidad de detección de diferencias entre los grupos experimentales.

De igual manera, la cuantificación microbiológica mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) presenta limitaciones inherentes a la técnica. Este método permite estimar el crecimiento bacteriano viable; sin embargo, no identifica microorganismos que hayan ingresado en estados metabólicos alterados o que no sean cultivables bajo las condiciones de laboratorio utilizadas. Por tal motivo, es posible que la reducción bacteriana observada no represente de forma absoluta la totalidad de los cambios microbiológicos ocurridos en los conductos radiculares tratados.

Otra limitación técnica estuvo asociada a la imposibilidad de reproducir completamente las características anatómicas presentes en los órganos dentales humanos durante la práctica clínica. Aunque se seleccionaron órganos dentales con condiciones anatómicas similares y se realizaron procedimientos de preparación estandarizados, la variabilidad natural existente en la morfología de los conductos radiculares, presencia de istmos, conductos accesorios y otras irregularidades anatómicas puede influir en la penetración y eficacia de los irrigantes. Estas características podrían comportarse de manera diferente en un contexto clínico real.

En relación con la recopilación de información, se identificó una limitación vinculada a la disponibilidad de literatura científica específica sobre el calentamiento intracanal del hipoclorito de sodio en determinadas condiciones experimentales. Si bien existen investigaciones previas relacionadas con la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio y los efectos de la temperatura sobre sus propiedades químicas, algunos aspectos continúan siendo objeto de debate científico, lo que restringió la posibilidad de establecer comparaciones directas con estudios desarrollados bajo protocolos metodológicos idénticos.

Respecto a la viabilidad de la investigación, puede afirmarse que el estudio fue factible gracias a la disponibilidad de recursos humanos (especialistas en Bioanálisis Clínico), materiales y equipos tecnológicos necesarios para su ejecución.

La disponibilidad de tiempo constituyó un aspecto determinante para la viabilidad del proyecto. La investigación requirió un período considerable para la obtención de los órganos dentales, estandarización de procedimientos, inoculación bacteriana, incubación de cultivos,

aplicación de tratamientos experimentales y procesamiento de resultados. Cada una de estas etapas demandó una planificación rigurosa para garantizar la calidad y reproducibilidad de los datos obtenidos.

En cuanto a los recursos financieros, el estudio implicó costos asociados a la adquisición de medios de cultivo, reactivos microbiológicos, materiales de laboratorio, instrumental odontológico y equipos necesarios para el control de temperatura. Aunque estos recursos estuvieron disponibles para el desarrollo de la investigación, la ampliación del tamaño muestral o la incorporación de tecnologías microbiológicas más avanzadas habría requerido una inversión económica significativamente mayor.

El acceso a las muestras biológicas también representó un factor importante de viabilidad. La obtención de órganos dentales humanos extraídos dependió de la disponibilidad de órganos que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos y de la correspondiente autorización ética para su utilización con fines investigativos. Esta situación limitó la rapidez con que pudo conformarse la muestra definitiva del estudio.

8. Marco teórico

El marco teórico constituye un apartado fundamental en todo trabajo académico, ya que permite sustentar el estudio en el conocimiento científico existente y en las categorías conceptuales pertinentes. Este se divide en dos partes complementarias: el marco referencial y el marco conceptual**.** En el marco referencial se integran y analizan las referencias bibliográficas más relevantes y actuales relacionadas con la problemática, destacando los resultados de investigaciones previas que sirven como antecedentes y punto de comparación para la presente investigación. Su propósito es evidenciar la base científica que justifica el estudio, así como identificar vacíos de conocimiento que motivan la propuesta.

Por otro lado, el marco conceptual se centra en la definición y explicación de los principales conceptos, categorías y variables vinculados al objeto de estudio. En esta sección se clarifican términos como acción antimicrobiana, hipoclorito de sodio, variación de temperatura, *Enterococcus faecalis*, conductos radiculares, entre otros, que resultan indispensables para la comprensión del tema. Esta delimitación conceptual asegura la coherencia interna de la investigación, evitando ambigüedades y estableciendo un lenguaje técnico preciso y compartido entre investigadores, docentes y lectores del trabajo.

8.1 Marco referencial

Investigadores del Centro de Medicina Dental de la Universidad de Zúrich y la Universidad de Basilea en Suiza, desarrollaron un estudio experimental *in vitro* con el objetivo de evaluar los efectos del precalentamiento del hipoclorito de sodio (NaOCl) sobre su estabilidad química, su capacidad de disolución tisular y su eficacia antimicrobiana frente a *E. faecalis*. Sirtes et al. (2005), utilizaron soluciones de NaOCl en diferentes concentraciones (1 %, 2,62 % y 5,25 %) que fueron calentadas mediante un dispositivo especial para jeringas de irrigación hasta alcanzar temperaturas de 45 °C y 60 °C, comparándolas con soluciones a temperatura ambiente (20 °C).

Asimismo, se analizaron muestras de tejido pulpar humano para evaluar la capacidad de disolución tisular del irrigante y se realizaron pruebas microbiológicas con cultivos de *E. faecalis* para determinar la eficacia antimicrobiana de las soluciones a distintas temperaturas.

Los resultados mostraron que el incremento de la temperatura del hipoclorito de sodio mejora significativamente su eficacia biológica. En las pruebas de disolución tisular, la solución

de NaOCl al 1 % calentada a 45 °C logró una capacidad de disolución similar a la solución al 5,25 % a 20 °C, mientras que la solución al 1 % a 60 °C fue aún más eficaz, logrando disolver aproximadamente el 96 % del tejido pulpar en un minuto.

Además, en los ensayos microbiológicos se observó que la actividad antimicrobiana del NaOCl aumentó notablemente con el incremento de temperatura, registrándose hasta 100 veces mayor eficacia bactericida frente a *E. faecalis* a 45°C en comparación con 20 °C. Estos hallazgos indican que el calentamiento del irrigante puede potenciar considerablemente su acción antimicrobiana y su capacidad de disolución orgánica.

Los autores concluyeron que el precalentamiento del hipoclorito de sodio mejora tanto su capacidad de disolución del tejido pulpar como su actividad antimicrobiana frente a bacterias asociadas a infecciones endodónticas persistentes. Asimismo, señalaron que el calentamiento del irrigante podría representar una estrategia clínica para aumentar su eficacia sin necesidad de utilizar concentraciones más altas, lo que contribuiría a reducir el potencial tóxico del NaOCl.

Estos resultados resultan altamente relevantes para la presente investigación, ya que respaldan la hipótesis de que la variación de temperatura del hipoclorito de sodio puede modificar su actividad antimicrobiana frente a *E. faecalis*, aspecto que será evaluado experimentalmente en conductos radiculares de órganos dentales extraídos en el presente estudio.

Giardino et al. (2016), investigadores vinculados a instituciones científicas de Italia, Irán y Brasil, desarrollaron un estudio experimental *in vitro*, publicado en la revista *Brazilian Dental Journal*, titulado *Influence of Temperature on the Antibacterial Activity of Sodium Hypochlorite*, con el objetivo de comparar la actividad antibacteriana del hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,25 % y de dos soluciones modificadas con agentes tensioactivos, Hypoclean y Chlor-Xtra, a temperaturas de 20 °C y 45 °C. La investigación se fundamentó en la necesidad de optimizar los protocolos de desinfección endodóntica, considerando que la persistencia de microorganismos como *Enterococcus faecalis* en los túbulos dentinarios constituye un factor asociado al fracaso del tratamiento endodóntico.

Para el desarrollo del estudio se utilizaron 170 muestras de dentina radicular bovina, distribuidas en seis grupos experimentales y dos grupos de control. Las muestras fueron

infectadas experimentalmente con *E. faecalis* y posteriormente expuestas a las diferentes soluciones irrigantes a las temperaturas establecidas. La actividad antibacteriana se evaluó mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC), con mediciones inmediatamente después del tratamiento y a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las soluciones evaluadas ($p < 0,0001$). El NaOCl convencional calentado a 45 °C presentó menores recuentos bacterianos que a 20 °C; sin embargo, las soluciones Hypoclean y Chlor-Xtra a 45 °C demostraron la mayor actividad antibacteriana, lo que evidencia la influencia conjunta de la temperatura y las propiedades fisicoquímicas del irrigante.

Los autores concluyeron que el calentamiento puede favorecer la eficacia antibacteriana de las soluciones a base de hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis*, especialmente cuando se combina con agentes tensioactivos que disminuyen la tensión superficial y mejoran la humectabilidad de la dentina. Desde el fundamento fisicoquímico, el incremento de temperatura aumenta la energía cinética molecular y puede disminuir la viscosidad y la tensión superficial de la solución, favoreciendo su comportamiento durante la irrigación. Estos hallazgos constituyen un antecedente relevante para el presente estudio, al respaldar la importancia de evaluar la temperatura como variable que influye en la actividad antimicrobiana del NaOCl, aunque los resultados obtenidos en dentina bovina y a temperaturas de 20 °C y 45 °C no deben extrapolarse directamente a las condiciones experimentales de 24 °C y 36 °C utilizadas en esta investigación.

Gulsahi et al. (2014), investigadores de la Universidad Baskent y la Universidad de Ankara en Turquía, realizaron un estudio experimental in vitro con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de contacto del hipoclorito de sodio (NaOCl) al 2,5 % sobre microorganismos resistentes asociados a infecciones endodónticas persistentes, específicamente *E. faecalis* y *Candida albicans*. Para el desarrollo del estudio se emplearon 115 cilindros radiculares obtenidos de órganos dentales humanos extraídos, los cuales fueron estandarizados, esterilizados e infectados con cultivos bacterianos de *E. faecalis* o *C. albicans*.

Posteriormente, las muestras fueron distribuidas en subgrupos experimentales según dos temperaturas del irrigante (25 °C y 37 °C) y tres tiempos de contacto (30 segundos, 1 minuto y 5 minutos). La evaluación de la actividad antimicrobiana se realizó mediante el análisis del

crecimiento microbiano después de la irrigación, incubando las muestras y verificando la presencia bacteriana a las 24 y 48 horas mediante cultivo microbiológico.

Los resultados demostraron que el tiempo de contacto del hipoclorito de sodio tuvo una influencia significativa en la eliminación de *E. faecalis*. En particular, el régimen de irrigación con NaOCl al 2,5 % a 25 °C durante 5 minutos produjo la mayor reducción del crecimiento bacteriano en comparación con los tiempos de contacto más cortos. En contraste, para *C. albicans* se observó que el NaOCl a 37 °C durante 5 minutos presentó una eficacia antifúngica significativamente superior en comparación con los tiempos de exposición menores.

Sin embargo, cuando se compararon las dos temperaturas en iguales tiempos de contacto, los autores no encontraron diferencias estadísticamente significativas en la eliminación de *E. faecalis*, lo que sugiere que el tiempo de irrigación puede ser un factor más determinante que la temperatura en la actividad antimicrobiana del NaOCl frente a esta bacteria.

Los autores concluyeron que el hipoclorito de sodio al 2,5 % mantiene una actividad antimicrobiana efectiva frente a microorganismos endodónticos resistentes, y que el tiempo de contacto del irrigante desempeña un papel fundamental en su eficacia antibacteriana, mientras que el aumento de temperatura puede mejorar la acción antifúngica frente a *C. albicans*. Asimismo, señalaron que se requieren más investigaciones que analicen diferentes combinaciones de concentración, temperatura y tiempo de exposición para determinar el protocolo más eficiente en la desinfección del sistema de conductos radiculares.

Estos hallazgos resultan relevantes para la presente investigación, ya que aportan evidencia sobre la influencia de la temperatura y el tiempo de contacto del hipoclorito de sodio en su acción antimicrobiana, aspectos que serán evaluados experimentalmente en el estudio propuesto sobre la variación de temperatura del NaOCl frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos.

Rathore et al. (2020), desde el Departamento de Odontología Conservadora y Endodoncia del Yogita Dental College and Hospital en India, llevaron a cabo un estudio in vitro para comparar la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5 % utilizado a temperatura ambiente, calentado extracanal a 60 °C en baño de agua y calentado intracanal mediante dos métodos: láser de diodo y la fuente de calor Elements System-B. Los autores seleccionaron 80

premolares unirradiculares inoculados con *E. faecalis* durante dos semanas y evaluaron la reducción bacteriana mediante conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) tras aplicar los protocolos de irrigación.

Los resultados mostraron que los grupos irrigados con NaOCl calentado intracanalmente (ya sea con láser de diodo o con el sistema Elements-B) lograron la mayor reducción bacteriana, alcanzando porcentajes de eliminación de *E. faecalis* cercanos al 100 %. En contraste, el NaOCl calentado extracanal a 60 °C y el NaOCl a temperatura ambiente obtuvieron reducciones menores, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$). Estos hallazgos confirman que la fuente de calor intracanal mantiene la temperatura efectiva por más tiempo dentro del conducto, favoreciendo una acción bactericida más profunda en comparación con el precalentamiento externo.

Los autores concluyeron que el calentamiento intracanal del NaOCl mediante láser de diodo o el sistema Elements-B potencia significativamente su eficacia antimicrobiana contra *E. faecalis* en comparación con el uso del irrigante a temperatura ambiente o precalentado fuera del conducto.

Karataş et al. (2021), investigadores de la Universidad Atatürk en Turquía, realizaron un estudio clínico controlado aleatorizado con el objetivo de evaluar el efecto de la irrigación final con hipoclorito de sodio (NaOCl) a diferentes temperaturas sobre la actividad antibacteriana y el dolor postoperatorio en pacientes sometidos a tratamiento endodóntico. En el estudio participaron 45 pacientes con periodontitis apical asintomática, quienes fueron divididos en tres grupos según la temperatura del irrigante utilizado: NaOCl a 2 °C, 25 °C y 45 °C. Para evaluar la actividad antibacteriana se recolectaron muestras intraconducto antes y después del tratamiento (S1 y S2), las cuales fueron analizadas mediante reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real (qPCR) para determinar la carga bacteriana total.

Los resultados del estudio mostraron que la preparación quimiomecánica y la irrigación final con NaOCl produjeron una reducción significativa del recuento bacteriano en todos los grupos. El número total de bacterias disminuyó aproximadamente entre 93,9 % y 95 %, independientemente de la temperatura utilizada. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en cuanto a la eficacia antibacteriana del NaOCl

a diferentes temperaturas. En contraste, sí se observaron diferencias en relación con el dolor postoperatorio, ya que el grupo irrigado con NaOCl a 45 °C presentó niveles significativamente mayores de dolor postoperatorio y mayor consumo de analgésicos en comparación con el grupo tratado con NaOCl frío.

Los autores concluyeron que el precalentamiento del hipoclorito de sodio no proporciona un beneficio adicional en la eficacia antibacteriana, aunque puede incrementar el dolor postoperatorio en los pacientes tratados endodónticamente. Estos hallazgos sugieren que la temperatura del irrigante puede influir en la respuesta clínica del paciente, pero no necesariamente en la eliminación bacteriana. Este estudio resulta relevante para la presente investigación, ya que respalda la necesidad de analizar con mayor precisión el efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre microorganismos endodónticos, particularmente *E. faecalis*, bajo condiciones experimentales controladas en conductos radiculares de órganos dentales extraídos.

Kranz et al. (2021), investigadores vinculados a instituciones europeas en el área de materiales dentales y microbiología oral, desarrollaron un estudio experimental in vitro publicado en la revista *Materials* con el objetivo de evaluar la eficacia antibacteriana de distintos agentes utilizados en la desinfección del sistema de conductos radiculares frente a *E. faecalis*.

El estudio se centró en analizar la capacidad de diferentes soluciones desinfectantes, entre ellas el hipoclorito de sodio, para eliminar microorganismos presentes en los túbulos dentinarios. Para ello se utilizaron muestras dentales infectadas experimentalmente con *E. faecalis*, un microorganismo frecuentemente asociado al fracaso del tratamiento endodóntico debido a su capacidad de penetrar profundamente en la dentina radicular y resistir diversos agentes antimicrobianos.

Los resultados del estudio evidenciaron que los desinfectantes evaluados presentan diferentes niveles de eficacia antimicrobiana frente a *E. faecalis*, dependiendo del agente químico empleado y de las condiciones de aplicación. Los autores observaron que el hipoclorito de sodio mantiene una actividad antimicrobiana significativa, siendo capaz de reducir de forma considerable la carga bacteriana dentro del sistema de conductos radiculares. Asimismo, se destacó que *E. faecalis* posee una notable capacidad de supervivencia dentro de los túbulos

dentinarios, lo que dificulta su eliminación completa mediante procedimientos convencionales de irrigación. Este hallazgo confirma la necesidad de optimizar los protocolos de desinfección endodóntica para mejorar la eliminación de microorganismos resistentes.

Los autores concluyeron que la desinfección efectiva del sistema de conductos radiculares depende de la adecuada selección y aplicación de los irrigantes endodónticos, destacando el papel del hipoclorito de sodio como uno de los agentes más utilizados en la práctica clínica debido a su potente actividad antimicrobiana. Sin embargo, también señalan que la resistencia de microorganismos como *E. faecalis* obliga a continuar investigando estrategias que permitan potenciar la eficacia de estos irrigantes.

Herce-Ros et al. (2024), investigadores vinculados a instituciones europeas especializadas en endodoncia, desarrollaron un estudio orientado a analizar los factores que influyen en la eficacia antimicrobiana de los irrigantes endodónticos, con especial énfasis en el hipoclorito de sodio como agente desinfectante principal durante el tratamiento del sistema de conductos radiculares. El objetivo del estudio fue evaluar cómo variables como la concentración del irrigante, la temperatura, el tiempo de contacto y los métodos de activación pueden modificar la capacidad del hipoclorito de sodio para eliminar microorganismos presentes en infecciones endodónticas persistentes.

Para ello, los autores realizaron un análisis basado en evidencia científica disponible, considerando investigaciones experimentales y estudios microbiológicos relacionados con la actividad antimicrobiana del NaOCl frente a bacterias resistentes, particularmente *E. faecalis*, reconocido como uno de los microorganismos más frecuentemente asociados al fracaso del tratamiento endodóntico.

Los resultados descritos por los autores evidencian que la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio depende de diversos factores fisicoquímicos que influyen en su comportamiento dentro del conducto radicular. Entre estos factores destacan la temperatura del irrigante, la concentración de la solución y la activación mecánica o ultrasónica, los cuales pueden potenciar la penetración del irrigante dentro del sistema de conductos y mejorar su capacidad para destruir microorganismos y disolver tejido orgánico.

Asimismo, el estudio señala que bacterias como *E. faecalis* presentan una elevada resistencia a condiciones adversas, debido a su capacidad de formar biofilm y sobrevivir en ambientes con escasos nutrientes. Por esta razón, los autores destacan la importancia de optimizar los protocolos de irrigación mediante el control de variables como la temperatura del irrigante para mejorar la eficacia de la desinfección endodóntica.

Los autores concluyen que el hipoclorito de sodio continúa siendo el irrigante más eficaz para la desinfección del sistema de conductos radiculares, aunque su efectividad depende de la adecuada manipulación de las variables que influyen en su actividad química y antimicrobiana. Entre estas variables, la temperatura del irrigante ha sido identificada como un factor capaz de potenciar la actividad del NaOCl, al incrementar la velocidad de las reacciones químicas responsables de la eliminación bacteriana y la disolución de tejido orgánico.

Govindaraju et al. (2024), desde el Departamento de Odontología Conservadora y Endodoncia del Sri Ramachandra Dental College, India, llevaron a cabo una revisión sistemática y metarregresión para evaluar si el aumento de la temperatura del hipoclorito de sodio (NaOCl) mejora su eficacia antimicrobiana y su capacidad de disolución tisular. Este estudio se desarrolló siguiendo las directrices PRISMA e incluyó 12 estudios in vitro que analizaban la acción del NaOCl sobre microorganismos endodónticos, entre ellos *E. faecalis*, así como sobre distintos tejidos pulpares y dentinarios. La revisión se centró en determinar si elevar la temperatura del irrigante constituye una estrategia efectiva para optimizar la desinfección en el tratamiento de conductos radiculares.

Los resultados evidenciaron que, aunque varios estudios incluidos mostraron una tendencia positiva en la actividad antimicrobiana y la disolución tisular del NaOCl cuando se incrementó su temperatura, la heterogeneidad metodológica (diferencias en concentración, tiempo de exposición, volumen, método de calentamiento y diseño experimental) impidió obtener conclusiones estadísticamente consistentes. La meta regresión mostró que, por cada 1 °C de aumento, la capacidad de disolución tisular del NaOCl incrementaba en 0,13 unidades, aunque este resultado no alcanzó significancia estadística. Los autores subrayaron que variables como concentración y tiempo de contacto influyeron más fuertemente que la temperatura cuando los protocolos no estaban estandarizados.

Los autores concluyeron que, si bien el calentamiento del NaOCl puede proporcionar beneficios tanto en la disolución tisular como en su actividad antimicrobiana, la evidencia disponible no es aún concluyente debido a la falta de uniformidad en los diseños experimentales *in vitro*.

Elsawaf, et al. (2024), investigadores de la Universidad de El Cairo, realizaron un estudio comparativo in vitro para evaluar la eficacia antibacteriana del hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas frente a *E. faecalis* en órganos dentales unirradiculares extraídos. El estudio incluyó seis grupos experimentales que compararon el hipoclorito de sodio en condiciones criotratadas (2–4 °C), a temperatura ambiente y calentado intracanalmente hasta 180 °C, con y sin activación ultrasónica pasiva, empleando métodos microbiológicos estandarizados para medir la reducción bacteriana.

Los resultados mostraron que el hipoclorito de sodio calentado intracanalmente a 180 °C con activación ultrasónica pasiva produjo la mayor reducción bacteriana posterior a la irrigación. Le siguieron en efectividad el NaOCl criotratado con activación ultrasónica, el NaOCl calentado intracanal, el NaOCl criotratado y el NaOCl a temperatura ambiente con activación ultrasónica, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($p > 0,05$). El NaOCl a temperatura ambiente sin activación mostró la menor eficacia antibacteriana, con diferencias significativas frente a los demás grupos ($p < 0,001$).

Los autores concluyen que la combinación de temperatura elevada y activación ultrasónica optimiza la acción antibacteriana del NaOCl frente a *E. faecalis*. Este hallazgo respalda la hipótesis de que la temperatura influye directamente en la eficacia del irrigante y sugiere que estrategias de calentamiento intracanal podrían mejorar los resultados clínicos en la desinfección endodóntica.

8.2 Marco conceptual

Microbiología endodóntica

La microbiología endodóntica estudia los microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares y su relación con las enfermedades pulpares y perirradiculares. Las infecciones endodónticas son causadas principalmente por bacterias que colonizan el conducto

radicular después de la necrosis pulpar, formando comunidades microbianas complejas capaces de sobrevivir en condiciones adversas.

La presencia de microorganismos y sus subproductos constituye el principal factor etiológico de la inflamación pulpar y de las lesiones periapicales, por lo que su eliminación representa uno de los objetivos fundamentales del tratamiento endodóntico. Aun cuando la instrumentación mecánica y la irrigación química disminuyen considerablemente la carga bacteriana, algunos microorganismos pueden persistir dentro del sistema de conductos radiculares debido a la complejidad anatómica y a su elevada resistencia biológica (Alghamdi, 2020).

Entre los microorganismos asociados al fracaso del tratamiento endodóntico, *E. faecalis* ha sido identificado como uno de los patógenos más relevantes debido a su elevada capacidad de supervivencia y adaptación. Este microorganismo es un coco grampositivo anaerobio facultativo que puede resistir ambientes con pocos nutrientes, altas concentraciones salinas, temperaturas variables y medios altamente alcalinos. Además, posee la capacidad de penetrar profundamente en los túbulos dentinarios, adherirse al colágeno dentinario y formar biopelículas bacterianas resistentes a los agentes antimicrobianos utilizados durante la irrigación endodóntica.

Diversos estudios incluidos en la revisión sistemática señalan que *E. faecalis* presenta una alta prevalencia en órganos dentales previamente tratados con lesiones periapicales persistentes, alcanzando porcentajes de detección de hasta el 90 % en algunos casos de fracaso endodóntico (Alghamdi, 2020).

La resistencia de *E. faecalis* se relaciona con múltiples mecanismos de supervivencia que dificultan su eliminación del sistema de conductos radiculares. Entre estos mecanismos destacan la formación de biofílm, la utilización del fluido del ligamento periodontal como fuente de nutrición, la capacidad de sobrevivir en presencia de hipoclorito de sodio y otros agentes antimicrobianos, así como la expresión de genes específicos relacionados con el estrés alcalino y la adaptación metabólica.

Estas características permiten que la bacteria sobreviva incluso después de los procedimientos de desbridamiento químico-mecánico y medicación intracanal. Por esta razón, la

microbiología endodóntica moderna enfatiza la necesidad de optimizar los protocolos de irrigación y desinfección mediante estrategias que potencien la eficacia antimicrobiana de los irrigantes, como el incremento de temperatura del hipoclorito de sodio (Alghamdi, 2020).

Microorganismos asociados a fracasos endodónticos

Según cohen la capacidad de un microorganismo de causar virulencia, indica el grado de patogenicidad de un microorganismo y los factores de virulencia son los productos microbianos, los componentes estructurales o las estrategias que contribuyen a la patogenicidad. Los factores de virulencia de las bacterias consistentes en los componentes estructurales celulares y los productos liberados. Los métodos que utilizan las bacterias que contribuyen a la patogenicidad son la capacidad de formar agregados y crear biopelículas, que les confiere protección frente a las defensas del huésped y los agentes antimicrobianos (Hargreaves, 2011).

Algunos microorganismos causan sistemáticamente la enfermedad en el huésped, y se denominan patógenos primarios. Otros, causan la enfermedad sólo cuando las defensas están deterioradas, y se denomina patógenos oportunistas. Las bacterias que componen el microbiota normal están presentes como comensales inocuos y viven en equilibrio con su huésped. Uno de los mayores efectos beneficiosos de la microbiota humana es su tendencia a proteger al huésped de las infecciones exógenas, al eliminar otros microorganismos. No obstante, en determinadas situaciones se altera este equilibrio al disminuir el nivel normal de resistencia y después las bacterias comensales son las primeras que obtienen beneficio.

La mayoría de las bacterias implicadas en las infecciones endodónticas son habitantes normales de la microbiota oral que se aprovechan de los cambios que se producen en el equilibrio en la relación huésped-bacterias, convirtiéndose en patógenos oportunistas y provocando infecciones endógenas (Hargreaves, 2011).

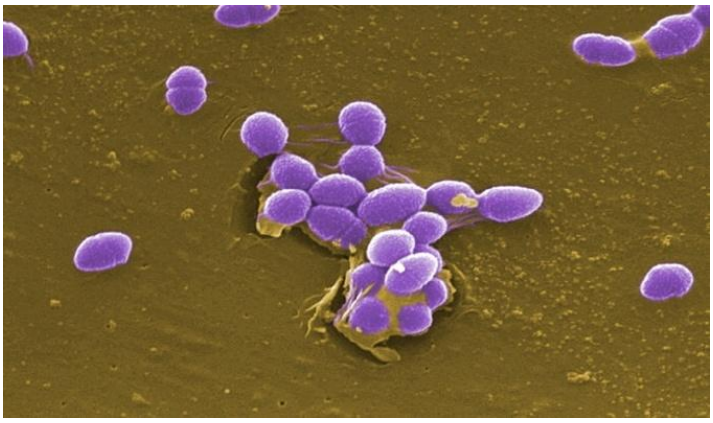
El fracaso del tratamiento endodóntico puede deberse a diversas causas, como la persistencia de bacterias, conductos radiculares mal limpiados y obturados, sellado coronal inadecuado (fugas) y conductos sin tratar (conductos no tratados). La principal causa del fracaso endodóntico es la presencia de ciertas especies de bacterias en el sistema de conductos radiculares, como *Enterococcus faecalis*. Estas bacterias son más resistentes a los desinfectantes, lo que provoca una infección persistente intra o extrarradiculares.

Enterococcus faecalis

Es uno de los microorganismos más frecuentemente asociados al fracaso del tratamiento endodóntico debido a su capacidad de sobrevivir en ambientes adversos, formar biofilm y penetrar profundamente en los túbulos dentinarios. La persistencia de esta bacteria dentro del sistema de conductos radiculares representa un desafío clínico importante, por lo que optimizar los protocolos de irrigación mediante estrategias como el aumento de temperatura del hipoclorito de sodio puede contribuir significativamente a mejorar la eficacia antimicrobiana durante el tratamiento endodóntico (Abdellatif, 2025).

Figura 1

Enterococcus faecalis



Nota. *Micrografía electrónica de barrido de Enterococcus faecalis,* tomada de *Enterococcus faecalis* [Micrografía electrónica de barrido coloreada digitalmente], por P. Wardell, s. f., Centers for Disease Control and Prevention, Public Health Image Library (https://wwwn.cdc.gov/phil/Details.aspx?pid=12803). Dominio público.

Los enterococos poseen la sustancia específica del grupo D y anteriormente se clasificaban como estreptococos del grupo D (Carroll, 2019).

Dado que el antígeno específico de la pared celular del grupo D es un ácido teicoico, no es un buen marcador antigénico; los enterococos se identifican generalmente por características distintas a la reacción inmunológica con antisueros específicos del grupo. Forman parte de la microbiota intestinal normal. Suelen ser no hemolíticos, pero ocasionalmente son α-hemolíticos. Los enterococos son PYR positivos. Crecen en presencia de bilis, hidrolizan la esculina (bilis

esculina positiva) y, a diferencia de los estreptococos del grupo D no enterocócicos, crecen bien en NaCl al 6,5 %. Mientras que los enterococos crecen bien entre 10 °C y 45 °C, los estreptococos generalmente crecen en un rango de temperatura mucho más estrecho. Son más resistentes a la penicilina G que los estreptococos, y algunos aislados presentan plásmidos que codifican la β-lactamasa. Muchos aislados son resistentes a la vancomicina (Carroll, 2019).

E. faecalis es la especie más común y causa entre el 85 % y el 90 % de las infecciones por enterococos; *Enterococcus faecium* causa entre el 5 % y el 10 %. *E. faecalis* es un coco grampositivo anaerobio que normalmente se origina en la cavidad oral, el tracto gastrointestinal y la vagina, gracias a su buena adaptación a entornos ricos en nutrientes, bajos niveles de oxígeno y una ecología compleja. Diversos estudios han demostrado que *E. faecalis* se encuentra con mayor frecuencia en casos de tratamiento endodóntico fallido que en casos con infecciones primarias.

Entre todos los casos reportados con dolor e infección posterior a la terapia endodóntica, se ha observado que *E. faecalis* es el más común, con una prevalencia que alcanza hasta el 90 %. Entre todos los casos con infección endodóntica primaria, E. faecalis se asoció con mayor frecuencia a casos asintomáticos que a los sintomáticos (Costa, 2024).

E. faecalis puede sobrevivir en entornos muy hostiles, con un aporte deficiente de nutrientes y un pH alcalino elevado que alcanza hasta 11,5. La capacidad de *E. faecalis* para crecer como biopelícula en las paredes de los conductos radiculares y como mono infección en conductos tratados sin el apoyo sinérgico de otras bacterias convierte a este patógeno en un patógeno muy resistente al tratamiento endodóntico, debido a su alta resistencia a los antimicrobianos (Costa, 2024).

Irrigación en endodoncia

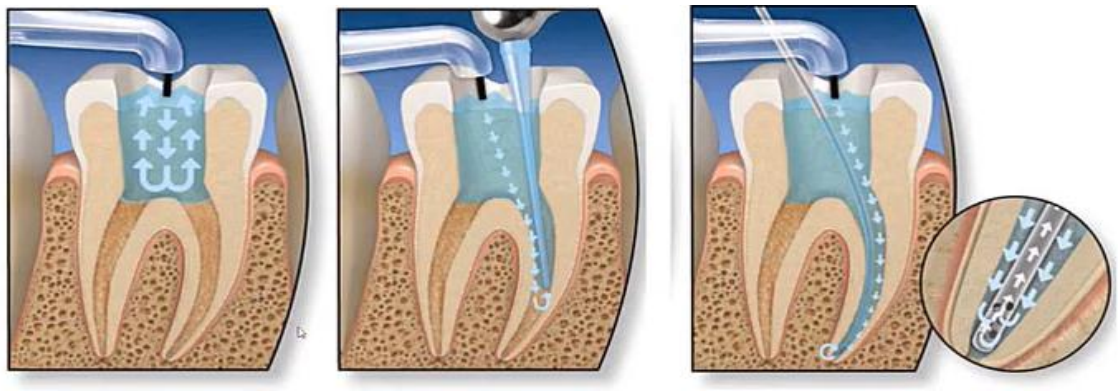
Para aumentar la eficacia de la preparación mecánica y la eliminación de bacterias, la instrumentación debe complementarse con soluciones de irrigación activas. Irrigación se define como el lavado de una cavidad o herida corporal con agua o un líquido medicado. (Cohen, 2011)

Los objetivos de la irrigación son mecánicos y biológicos. El objetivo mecánico es eliminar residuos, lubricando el conducto y disolviendo tejido orgánico e inorgánico. La función biológica de los irrigantes se relacionan con su efecto antimicrobiano (Hargreaves, 2011).

La eficacia de la irrigación del conducto radicular en cuanto a eliminación de residuos y erradicación de bacterias depende de varios factores: profundidad de penetración de la aguja, diámetro del conducto radicular, diámetro interno y externo de la aguja, presión de irrigación, viscosidad del irrigante, velocidad del irrigante en la punta de la aguja y tipo y orientación del bisel de la aguja (Hargreaves, 2011).

Figura 2

Irrigación en endodoncia



Nota. En la imagen se observa el proceso de irrigación por medio de aguja y aspiración respetando la longitud de trabajo. Tomada de *Técnicas de irrigación* [Ilustración], por La que te educa, 2016, *Endodoncia I* (https://endodoncia1dralara.blogspot.com/2016/05/tecnicas-de-irrigacion.html). Dominio público.

El irrigante ideal debería cumplir:

- Ser germicida y fungicida eficaz
- No irritar los tejidos periapicales
- Mantenerse estable en solución
- Tener un efecto antimicrobiano prolongado
- Ser activo en presencia de sangre, suero y derivados proteicos del tejido
- Tener una tensión superficial baja
- No interferir en la reparación de los tejidos periapicales.
- No teñir la estructura dental

- Poder inactivarse en un medio de cultivo
- No inducir una respuesta inmune celular
- Poder eliminar completamente el barril dentinario y poder desinfectar la dentina subyacente y sus túbulos
- No ser antigénico, tóxico ni carcinógeno para las células tisulares que rodean al órgano dental.
- No tener efectos adversos en las propiedades físicas de la dentina expuesta
- No tener efectos adversos en la capacidad de sellado de los materiales obturadores
- Ser de aplicación práctica y ser relativamente económico (Hargreaves, 2011).

La irrigación del sistema de conductos en la terapia endodóntica con diferentes sustancias es de suma importancia en el éxito del tratamiento, así mismo estos agentes eliminan las bacterias del conducto radicular, es decir tienen actividad antibacteriana, mientras que otros destruyen la parte de la pulpa residual, realizando una función desinfectante. (Hargreaves, 2011)

Hipoclorito de sodio

El NaOCl es la solución irrigante más utilizada. Es un excelente antibacteriano, capaz de disolver tejido necrótico, tejido pulpar vital y los componentes orgánicos de dentina y biopelículas.

Figura 3

Hipoclorito de Sodio



Nota. La solución de NaOCl, conocida como lejía, se usa a menudo como desinfectante o blanqueador. Tomada de *Cohen. Vías de la pulpa* (12.ª ed., p. XX),

El hipoclorito de sodio es el irrigante más utilizado en endodoncia debido a su amplia capacidad antimicrobiana y su habilidad para disolver tejido orgánico dentro del sistema de conductos radiculares. Su acción química permite eliminar restos pulpares, microorganismos y subproductos bacterianos que no pueden ser removidos únicamente mediante la instrumentación mecánica. Estas propiedades lo convierten en el irrigante de elección durante el tratamiento endodóntico, especialmente en casos asociados a infecciones persistentes y presencia de microorganismos resistentes como *E. faecalis* (Zehnder, 2006).

El mecanismo de acción del hipoclorito de sodio se relaciona con la liberación de cloro libre y la formación de ácido hipocloroso, sustancias responsables de alterar enzimas bacterianas, degradar proteínas y producir destrucción celular. Asimismo, su capacidad de saponificación y neutralización de aminoácidos favorece la disolución de tejido orgánico y restos necróticos presentes dentro del conducto radicular. La eficacia del NaOCl depende de factores como la concentración, el tiempo de contacto, la renovación del irrigante y la temperatura de la solución (Zehnder, 2006).

Diversos estudios han demostrado que el aumento de temperatura del hipoclorito de sodio puede potenciar significativamente su actividad química y antimicrobiana, mejorando la penetración del irrigante en los túbulos dentinarios y favoreciendo una mayor eliminación bacteriana. Por esta razón, el calentamiento del NaOCl ha sido propuesto como una estrategia para optimizar la desinfección del sistema de conductos radiculares durante el tratamiento endodóntico (Zehnder, 2006).

Incremento de la temperatura del NaOCl

La irrigación química constituye una fase fundamental del tratamiento endodóntico, debido a que la instrumentación mecánica por sí sola no logra eliminar completamente los microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares, especialmente en áreas anatómicas complejas como istmos, conductos laterales y deltas apicales. En este contexto, el hipoclorito de sodio continúa siendo el irrigante de elección gracias a sus propiedades antimicrobianas y su capacidad de disolver tejido orgánico, desempeñando un papel esencial en la reducción de la carga microbiana intracanal (Abdellatif, 2025).

Diversos estudios han demostrado que el aumento de temperatura del hipoclorito de sodio mejora significativamente su eficacia química y biológica. El calentamiento del NaOCl incrementa la velocidad de reacción química, favoreciendo una mayor capacidad de disolución tisular y una acción antimicrobiana más rápida y efectiva frente a microorganismos resistentes como *E. faecalis* y *Candida albicans*. Además, el calentamiento intracanal permite mantener temperaturas elevadas durante más tiempo en el tercio apical, zona crítica para la desinfección endodóntica (Abdellatif, 2025).

La activación térmica del hipoclorito de sodio ha sido propuesta como una estrategia para optimizar la desinfección del sistema de conductos radiculares. Según los estudios analizados en la revisión, elevar la temperatura del NaOCl incrementa considerablemente su actividad antimicrobiana, observándose una mayor reducción bacteriana frente a *E. faecalis*. Sirtes et al. demostraron que aumentar la temperatura del NaOCl en 25 °C puede incrementar hasta cien veces su actividad antimicrobiana, lo que evidencia la importancia clínica de controlar las variables térmicas durante la irrigación endodóntica (Abdellatif, 2025).

La temperatura aumenta no solo la acción bactericida y la capacidad de disolución de tejidos de las soluciones de hipoclorito de sodio, sino que también es una de las principales variables que influyen en la viscosidad del fluido y la tensión superficial de los irrigantes a base de NaOCl. Cuando el NaOCl se calienta, la energía cinética aumenta, sus moléculas se excitan y comienzan a moverse. La energía de este movimiento es suficiente para superar las fuerzas que unen las moléculas, lo que permite que el líquido se vuelva más fluido y disminuye su viscosidad. Con el aumento de la temperatura, la tensión superficial también disminuye porque la energía cinética (velocidad) de las moléculas aumenta. Por lo tanto, la fuerza de las fuerzas intermoleculares disminuye, lo que también resulta en la disminución de la tensión superficial (Giardino, 2016).

9. Marco metodológico

En este apartado, correspondiente al marco metodológico, se exponen los elementos fundamentales que sustentan el diseño del estudio y garantizan su rigurosidad científica. Se describe el tipo de investigación y su clasificación, lo que permitió ubicar el estudio dentro de un enfoque metodológico coherente. Posteriormente, se plantean la hipótesis de investigación como guía para contrastar los resultados. Asimismo, se detalla la población y la muestra, junto con los criterios de inclusión y exclusión, que precisaron los parámetros de selección de los elementos de análisis.

De igual forma, se establece la definición operativa de las variables, que permitieron medir de manera clara y objetiva los fenómenos estudiados. También se especifica la técnica e instrumentos de recolección de datos, así como los procesos que garantizaron su validez y fiabilidad. A continuación, se describe el procedimiento de procesamiento y análisis de la información, asegurando el uso de métodos estadísticos apropiados. Finalmente, se presentan las consideraciones éticas del estudio, enmarcadas en los principios de respeto, confidencialidad y consentimiento informado, con el fin de garantizar la integridad científica y ética de la investigación.

9.1 Tipo de investigación

Enfoque o paradigma: Cuantitativo

El presente estudio se clasifica como cuantitativo, dado que buscaba medir de manera objetiva el efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *E. faecalis*. Para ello, se emplearon mediciones numéricas (recuento de colonias bacterianas, halos de inhibición, porcentajes de reducción microbiana) que posteriormente fueron sometidas a análisis estadístico, lo cual responde a la lógica del método cuantitativo.

Además, este enfoque permitió probar hipótesis bajo condiciones controladas, utilizando una muestra representativa de órganos dentales extraídos inoculados con *E. faecalis*. La cuantificación y comparación de resultados en función de diferentes temperaturas aportó evidencia empírica objetiva y verificable, característica esencial del paradigma cuantitativo.

Alcance o profundidad: Correlacional

El alcance del estudio es correlacional**,** ya que buscó establecer la relación entre dos variables principales: la variación de la temperatura (independiente) y la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio (dependiente). Se pretendió determinar en qué medida los cambios de temperatura se asociaban con variaciones en la eliminación de *E. faecalis*.

Este alcance no se limitó a describir fenómenos, sino que intentó vincularlos mediante un análisis relacional. A partir de los resultados, se esperaba identificar si existe una correlación significativa entre el incremento de la temperatura y el aumento en la acción antimicrobiana, lo que permitió inferir tendencias relevantes para la práctica clínica endodóntica.

Aplicabilidad de la investigación: Aplicada

La investigación es de tipo aplicada**,** ya que se orientó a resolver un problema práctico en el campo de la odontología: la persistencia de *E. faecalis* en conductos radiculares a pesar del uso convencional del hipoclorito de sodio. El objetivo no era solo generar conocimiento teórico, sino aportar información útil que pueda incorporarse a los protocolos clínicos.

En este sentido, el estudio aplicado buscó optimizar los procedimientos de irrigación endodóntica a través de la evidencia experimental. Los resultados obtenidos podrán ser transferidos a la práctica profesional, contribuyendo a mejorar la eficacia de los tratamientos y, por ende, la calidad de vida de los pacientes.

Dimensión temporal o temporalidad: Longitudinal

La investigación es longitudinal porque observó los efectos del hipoclorito de sodio bajo diferentes temperaturas a lo largo de un periodo de tiempo definido dentro del año 2026. No se limitó a una única medición, sino que contempló la evaluación en varias fases experimentales, lo que permitió analizar la evolución del comportamiento antimicrobiano bajo condiciones controladas.

Al adoptar un diseño longitudinal, se logró establecer una secuencia temporal en los resultados, identificando si los efectos de la temperatura sobre la acción antimicrobiana fueron consistentes a lo largo de diferentes momentos de exposición. Esto proporcionó mayor validez interna y fortaleció la comprensión del fenómeno en estudio.

Diseño de la investigación: De campo

El diseño es de campo, dado que los datos se obtuvieron directamente de la manipulación experimental realizada sobre órganos dentales extraídos inoculados con *Enterococcus faecalis* en condiciones de laboratorio. Esto implicó trabajar con material biológico real y procedimientos de control microbiológico, lo que lo diferenció de un diseño puramente documental o teórico.

Asimismo, al ser un diseño de campo con enfoque experimental, se aplicaron tratamientos diferenciados (hipoclorito de sodio a distintas temperaturas) a grupos comparativos, lo que permitió medir de manera directa los efectos sobre la variable dependiente. Este tipo de diseño fortaleció la validez de los hallazgos y los acercó a una posible aplicación clínica futura.

9.2 Hipótesis de investigación

La variación de temperatura del hipoclorito de sodio influye en su acción antimicrobiana frente a *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos; por lo tanto, al utilizar el hipoclorito a 36 °C se obtiene una mayor inhibición bacteriana (menor recuento de UFC) que al utilizarlo a 24 °C.

Hipótesis nula (H_0)

No existen diferencias significativas en el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* entre el hipoclorito de sodio utilizado a 24 °C y el utilizado a 36 °C; es decir, la temperatura no modifica su eficacia antimicrobiana.

Hipótesis alternativa (H_1)

Sí existen diferencias significativas en el recuento de UFC de *Enterococcus faecalis* cuando se utiliza hipoclorito de sodio a distintas temperaturas; específicamente, el hipoclorito a 36°C logra una reducción bacteriana mayor que el hipoclorito a 24°C.

9.3 Definición operativa de las variables

Objetivo específico # 1

Determinar el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 24°C utilizando métodos microbiológicos in vitro relacionando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Tabla 1

Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 1

Variable conceptual	Subvariable / Dimensión	Indicador / Variable operativa	Ítems del instrumento	Tipo de variable
Temperatura del hipoclorito de sodio	Condición térmica de la solución irrigante (grupo a 24 °C)	Registro de la temperatura del hipoclorito de sodio en grados centígrados (24 °C), antes de su aplicación en el conducto radicular.	Temperatura del NaOCl (°C): ____	Cuantitativa numérica continua
Recuento de unidades formadoras de colonias de *E. faecalis*	Carga bacteriana antes de la exposición al hipoclorito de sodio a 24 °C	Número de unidades formadoras de colonias (UFC/ml)	UFC/mL inicial: _____	Cuantitativa numérica discreta
Acción antimicrobiana frente a *E. faecalis*	Carga bacteriana posterior a la exposición al hipoclorito de sodio a 24 °C	Número de unidades formadoras de colonias (UFC/ml)	UFC/mL final: _____	Cuantitativa numérica discreta
Inhibición bacteriana frente a *E. faecalis*	Porcentaje de reducción de la carga bacteriana posterior al tratamiento	Porcentaje de reducción de unidades formadoras de colonias de *E. faecalis.*	Reducción bacteriana (%):	Cuantitativa numérica continua

Nota. Se describen las variables relacionadas con la temperatura del NaOCl a 24 °C, el recuento de UFC/mL de *E. faecalis* y su porcentaje de inhibición bacteriana.

Objetivo específico #2

Establecer el recuento de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 36 °C utilizando métodos microbiológicos in vitro evaluando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Tabla 2

Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 2

Variable conceptual	Subvariable / Dimensión	Indicador / Variable operativa	Ítems del instrumento	Tipo de variable
Temperatura del hipoclorito de sodio	Condición térmica de la solución irrigante (grupo a 36 °C)	Registro de la temperatura del hipoclorito de sodio en grados centígrados (36 °C), antes de irrigar el conducto radicular.	Temperatura del NaOCl (°C): ____	Cuantitativa numérica continua
Acción antimicrobiana frente a *E. faecalis*	Carga bacteriana antes de la exposición al NaOCl a 36 °C	Número de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) de *E. faecalis*	UFC/mL inicial: _____	Cuantitativa numérica discreta
Acción antimicrobiana frente a *E. faecalis*	Carga bacteriana posterior a la exposición al NaOCl a 36 °C	Número de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) de *E. faecalis*	UFC/mL final: _____	Cuantitativa numérica discreta
Inhibición bacteriana	Porcentaje de reducción bacteriana luego del tratamiento	Porcentaje de disminución de UFC posterior a la irrigación con NaOCl a 36 °C.	Reducción bacteriana (%):	Cuantitativa numérica continua

Nota. Se describen las variables relacionadas con la temperatura del NaOCl a 36 °C, el recuento de UFC/mL de *E. faecalis* y su porcentaje de inhibición bacteriana.

Objetivo específico #3

Comparar la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio a 24°C y 36°C empleando pruebas de significancia apropiadas para los datos obtenidos determinando si las variaciones térmicas producen efectos clínicamente relevantes.

Tabla 3

Tabla de operacionalización de las variables del objetivo específico 3

Variable conceptual	Subvariable / Dimensión	Indicador / Variable operativa	Ítems del instrumento	Tipo de variable
Temperatura del hipoclorito de sodio	Grupos experimentales según temperatura (24 °C y 36 °C)	Registro de la temperatura utilizada en cada grupo experimental para comparar los resultados microbiológicos.	Temperatura del NaOCl (°C): 24 / 36	Cuantitativa numérica continua
Eficacia antimicrobiana	Diferencias en recuento de UFC entre los grupos según temperatura	Valores numéricos de UFC/ml obtenidos en cada condición térmica, antes y después de la irrigación, para su análisis comparativo.	UFC/mL inicial: _____ UFC/mL final: _____	Cuantitativa numérica discreta
Inhibición bacteriana	Variación porcentual entre los grupos	Diferencia porcentual en la reducción de *E. faecalis* al comparar ambos grupos (24 °C vs 36 °C).	Reducción bacteriana (%):	Cuantitativa numérica continua
Diferencia significativa	Resultado del análisis estadístico	Valor p obtenido en pruebas de significancia ($p < 0.05$) que indique si existe o no una diferencia real entre los grupos.	Diferencia de reducción 24 °C vs 36 °C: _____	Cuantitativa (estadística inferencial)

Nota. Se describen las variables relacionadas con la comparación del NaOCl a 24 °C y 36 °C y su eficacia antimicrobiana frente a *E. faecalis*.

9.4 Criterios de inclusión y exclusión

En el presente estudio, los criterios de inclusión y exclusión se establecieron con el propósito de delimitar de manera clara y objetiva la muestra de investigación, asegurando que las unidades de análisis seleccionadas fueran coherentes con los objetivos planteados y permitieran evaluar de forma válida el efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre la acción antimicrobiana frente a *E. faecalis*. La definición precisa de estos criterios contribuyó a reducir sesgos, estandarizar el procedimiento experimental y fortalecer la validez interna del estudio.

Criterios de inclusión

Se incluyeron en el estudio los siguientes casos:

- Órganos dentales humanos extraídos unirradiculares caninos superiores.
- Órganos dentales con conducto radicular único, recto y permeable, que permita una instrumentación estandarizada.
- Órganos dentales con ápice completamente formado**.**
- Órganos dentales sin tratamiento endodóntico previo.
- Órganos dentales sin evidencia de fracturas radiculares, fisuras o perforaciones.
- Órganos dentales que puedan ser adecuadamente esterilizados e inoculados con *E. faecalis*.
- Muestras que permitan un control adecuado de las condiciones experimentales in vitro**.**

Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio los siguientes casos:

- Órganos dentales multirradiculares.
- Órganos dentales con tratamientos endodónticos previos.
- Órganos dentales con fracturas radiculares, fisuras, perforaciones o reabsorciones internas o externas.

- Órganos dentales con calcificaciones severas o anatomía radicular compleja que impida la estandarización del procedimiento.
- Órganos dentales con ápices inmaduros.

9.5 Población y muestra

La población del presente estudio estuvo constituida por órganos dentales humanos extraídos, correspondientes a caninos superiores unirradiculares, que cumplían con los criterios de selección establecidos para la investigación.

A partir de esta población, se seleccionó una muestra representativa, la cual permitió evaluar de manera objetiva la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis* bajo diferentes condiciones de temperatura.

La selección de las muestras se realizó mediante un muestreo probabilístico de tipo simple, asegurando que cada órgano dental tuviera la misma probabilidad de ser incluido en el estudio. El tamaño muestral fue definido considerando la homogeneidad de las 30 unidades experimentales y la necesidad de obtener resultados estadísticamente válidos, garantizando así la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

Este procedimiento de selección responde a los principios de la investigación cuantitativa, en los cuales la adecuada definición de la población y la muestra permite que los hallazgos sean generalizables a la población de referencia. Al emplear un muestreo probabilístico y distribuir las muestras en grupos experimentales según la temperatura del hipoclorito de sodio (24 °C y 36 °C), se aseguró una comparación válida entre los grupos, minimizando sesgos y controlando las variables externas. De esta manera, la representatividad de la muestra y la estandarización del procedimiento experimental fortalecen la validez interna y externa del estudio, permitiendo que los resultados contribuyan de forma significativa al conocimiento científico en el campo de la endodoncia.

9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación cuantitativa, la recolección de datos se realizó mediante un instrumento estructurado de registro, diseñado para obtener información numérica, objetiva y verificable relacionada con la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas frente a *Enterococcus faecalis*. De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), el uso de instrumentos estructurados permite captar datos cuantificables que posteriormente pueden ser analizados mediante procedimientos estadísticos, garantizando precisión y sistematicidad en la medición de las variables.

Fase de preparación de la muestra

Se recolectaron 30 órganos dentales caninos superiores de pacientes, donados sin fines de lucro y con el propósito único de realizar esta investigación, los cuales fueron extraídos por enfermedad periodontal o indicación protésica.

Figura 4

Órganos dentales caninos superiores



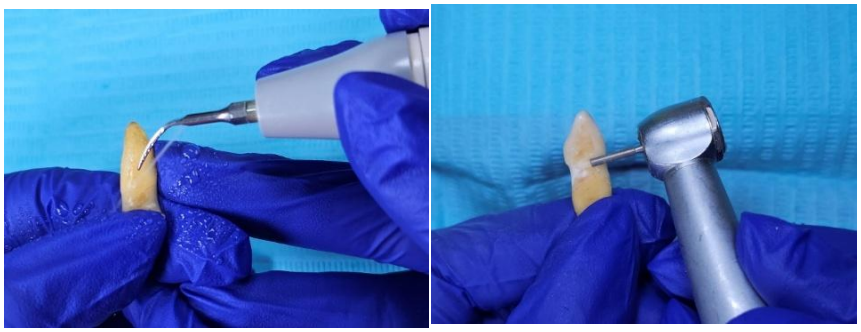
Nota. Órganos dentales que previamente fueron extraídos a pacientes por enfermedad periodontal o indicación protésica. Foto del autor.

Se eliminó el tejido blando remanente de los órganos dentales al ser lavados con un cepillo la parte externa de la raíz.

Luego se removió cálculo y placa dentobacteriana con ultrasonido HW-5L (Woodpecker) a una frecuencia de vibración constante de 28 kHz con abundante irrigación.

Figura 5

Corte de corona y limpieza externa a órganos dentales



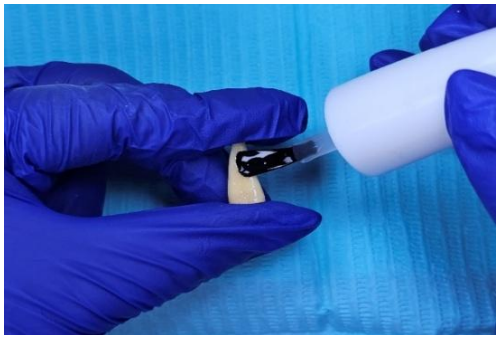
Nota. En la figura se observa la limpieza externa y la forma en que se realizó el corte de corona a nivel de la línea amelo cementaría en sentido transversal a los órganos dentales. Foto del autor.

El corte de corona se realizó a cada uno de los órganos dentales a nivel de la línea amelo cementaría en sentido transversal con una fresa piedra diamante cilíndrica extremo plano código 3098 de la marca Microdont con el objetivo de estandarizar la longitud a 19mm (midiendo a partir del ápice anatómico hacia cervical).

Para evitar filtración a través de los túbulos dentinarios, se cubrió con 2 capas de barniz para uñas la parte externa radicular de cada órgano dental, entre cada capa de barniz se esperó un tiempo de 10 minutos de secado, y luego se dejaron secando a temperatura ambiente por 24 horas.

Figura 6

Sellado del órgano dental



Nota. Se observa el procedimiento de aplicación del barniz de uña para el sellado de la superficie externa de los órganos dentales. Foto del autor.

Figura 7

Órganos dentales sellados



Nota. Órganos dentales sellados con barniz de uñas. Foto del autor.

Figura 8

Lima calibre #15 FKG Manual



Nota. Lima utilizada para determinar la conductometría. Foto del autor.

Por medio de limas manual calibre #15 K-FILE de la marca FKG Manual, se determinó la conductometría al insertar la lima dentro del conducto hasta que sobresalió del foramen apical restando 0.5 milímetros hasta determinar la longitud de trabajo.

Figura 9

Endo motor extreme y limas utilizadas para la instrumentación



Nota. Se realizó la preparación mecánica con endo motor extreme de la marca Eighteeth, con sistema de limas manuales #15 para determinar la longitud de trabajo y limas rotatorias AF blue taper 04 (FANTA) hasta lograr un ISO 40/04 en cada órgano dental. Fotos del autor.

Figura 10

Irrigación endodóntica con aguja de salida lateral



Nota. Se observa el proceso de irrigación endodóntica con hipoclorito de sodio al 5.25%. Foto del autor.

Durante la preparación biomecánica de los conductos radiculares, se realizó irrigación con 5 mL de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,25 % entre cada lima utilizada. La solución irrigante fue administrada mediante una jeringa de 5 mL acoplada a una aguja de irrigación endodóntica de salida lateral, calibre 27G, marca Royal Dent. La aguja se introdujo hasta una longitud de 18 mm, correspondiente a 1 mm menos de la longitud de trabajo establecida en 19 mm para todos los órganos dentales previamente estandarizados.

Seguidamente se procedió a secar con conos de papel estériles 30/04 de la marca FKG y se almacenaron en bolsas de esterilizar.

Figura 11

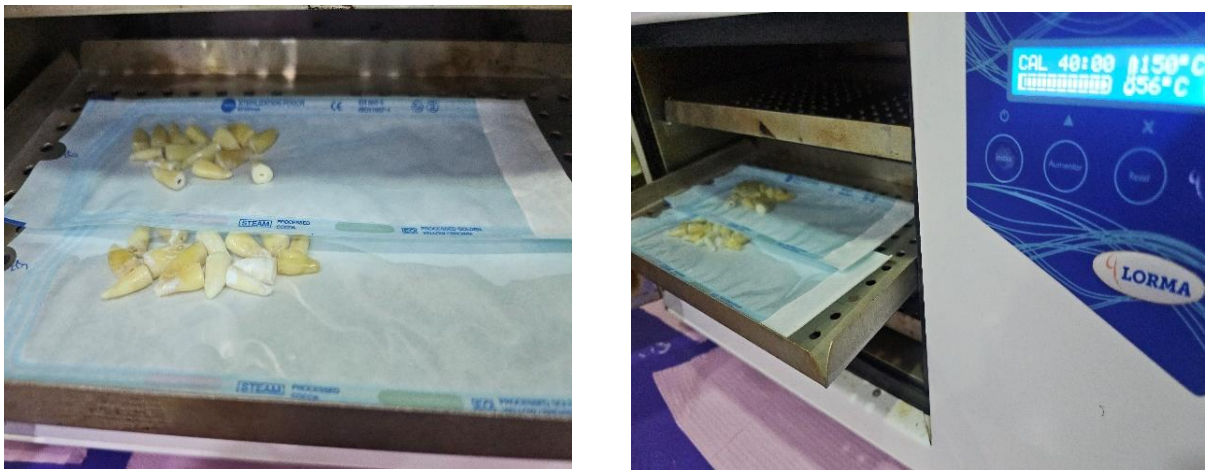
Conos de papel estériles 30/04 marca FKG



Nota. Conos estériles utilizados para secar el conducto de los órganos dentales. Fotos del autor.

Figura 12

Esterilización de los 30 órganos dentales



Nota. Se observan los 30 órganos dentales luego de la instrumentación rotatoria se procedieron a esterilización con calor seco en el esterilizador marca Lorma modelo M08.

Se colocaron en 2 bolsas de esterilización selladas en cada bolsa 15 órganos dentales a una temperatura de 150 °C por 40 min, para su posterior traslado al laboratorio Sagrada Familia.

Figura 13

Incubadoras con la temperatura de trabajo

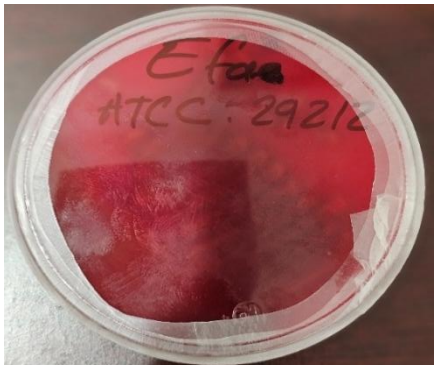


Nota. Se observa las incubadoras utilizadas para incubar las jeringas con Hipoclorito de Sodio. Fotos del autor.

Incubadoras utilizadas para conservar la temperatura del hipoclorito de sodio a 24 °C y 36 °C, donde se almacenaron las jeringas por una hora, conteniendo 3mL de hipoclorito de sodio a una concentración de 5.25 %.

Figura 14

Cepa de *Enterococcus faecalis* ATCC: 29212



Nota. Medio de cultivo conteniendo la cepa ATCC de *Enterococcus faecalis*. Foto del autor.

Figura 15

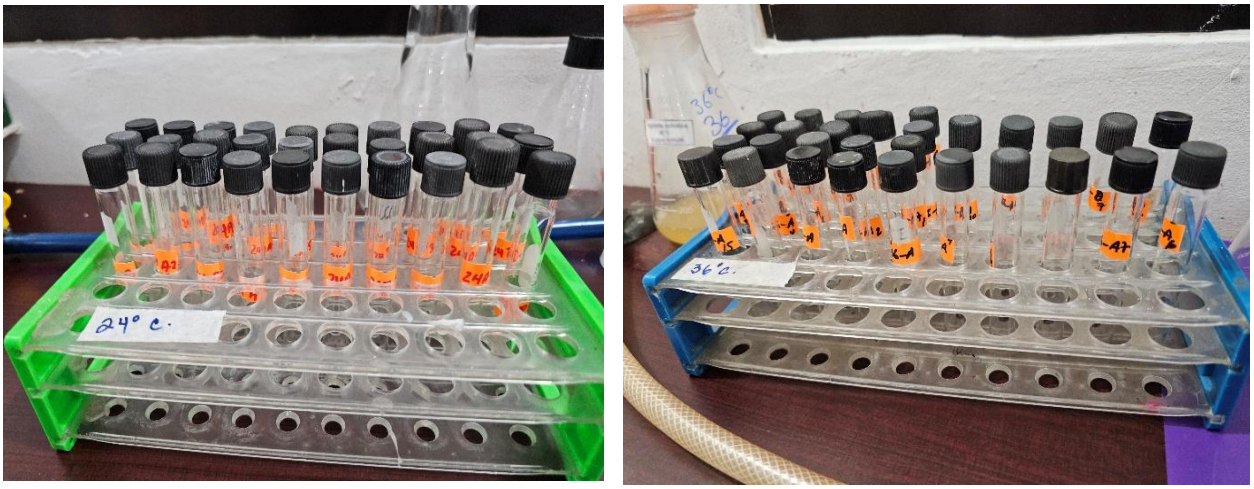
Erlenmeyer conteniendo los órganos dentales



Nota. Se observa los órganos dentales sumergidos en el caldo. Foto del autor.

Figura 16

Preparación de tubos de ensayo microbiológicos



Nota. Tubos microbiológicos listos para recibir la muestra que serían incubadas a 24 ^{0}C y 36 ^{0}C. Foto del autor.

Figura 17

Preparación de caldo nutritivo



Nota. Proceso de finalización en la preparación del caldo nutritivo. Foto del autor.

Figura 18

Equipo básico para el estudio microbiológico



Nota. Mesa de trabajo previamente esterilizada se observa el equipo básico. Foto del autor.

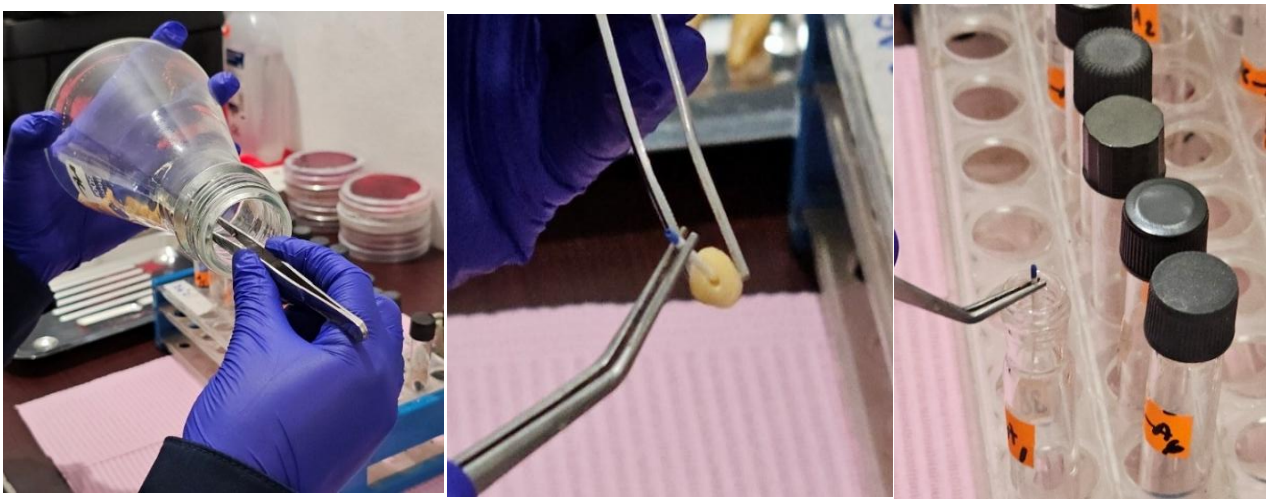
El equipo de trabajo estuvo formado por:

- Conos de papel FKG 30/04 estériles sellados,
- 30 tubos microbiológicos para cada grupo de órganos dentales a 24 °C y a 36 °C. Cada tubo tenía un código de muestra, donde los primeros 15 tubos estaban codificados 24 A 1 al 24 A 15.
    - 24: Temperatura.
    - A: Antes de la irrigación.
    - 1: Numero de órgano dental
- El segundo grupo de 15 tubos estaba codificado a 24 D 1 al 24 D 15.
    - 24: Temperatura.
    - D: Después de la irrigación.
    - 1: Numero de órgano dental

El mismo procedimiento para el grupo de órganos dentales a temperatura de 36 °C.

Figura 19

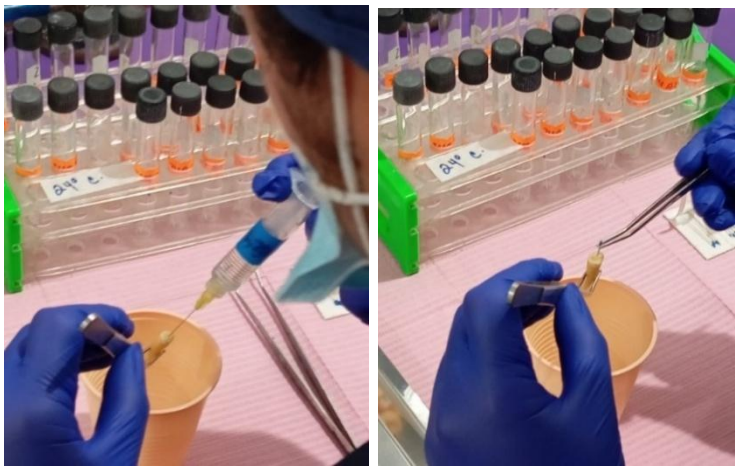
Toma de muestra con el cono de papel



Nota. Se observa la secuencia de pasos para la toma de muestra con el cono de papel para finalmente ser depositado en los tubos de ensayo de rosca. Se inicio tomando el órgano dental numero 1 (24 °C, A antes, 1 órgano dental numero 1). Se inserto inmediatamente el cono de papel estéril para tomar de la muestra inicial luego el cono se depositó en el tubo microbiológico. Foto del autor.

Figura 20

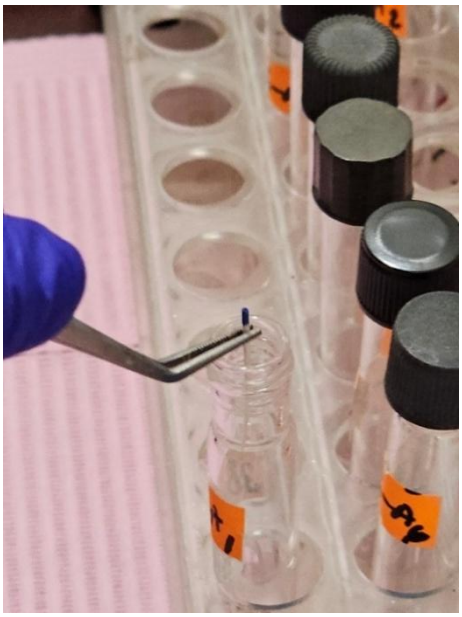
Irrigación del hipoclorito de sodio a 24 ˚ C



Nota. Secuencia de pasos de la irrigación a 24 ˚C y toma de muestra con cono de papel del conducto radicular. Foto del autor.

Figura 21

Muestra depositada en el tubo de ensayo



Nota. Las muestras fueron depositadas de manera individual en tubos de ensayos de rosca, garantizando su aislamiento. Foto del autor.

El siguiente paso consistió con la irrigación de 3 ml de hipoclorito de sodio a concentración de 5.25 % la jeringa era retirada de la incubadora y en el mismo momento se irrigaba para no perder la temperatura, una vez que se irrigaba se insertaba el cono de papel estéril y se colocaba en el tubo microbiológico, el mismo procedimiento para los 14 órganos dentales restantes y para el grupo de 36 °C. Una vez realiza el procedimiento en los 30 órganos dentales se colocaron los tubos microbiológicos con los respectivos conos de papel en las incubadoras para conservar la temperatura de ambos grupos.

El protocolo normatizado de trabajo del laboratorio clínico se describe a continuación:

Fase preanalítica

En la fase preanalítica se realizó la recepción de las muestras biológicas en el laboratorio, consistentes en dos recipientes que contenían 15 órganos dentales cada uno. Ambos recipientes fueron verificados y rotulados de acuerdo con la identificación correspondiente establecida para el estudio, garantizando la correcta trazabilidad y organización de las muestras previo al procesamiento microbiológico.

Figura 22

Recepción de muestras biológicas



Nota. Frasco de Erlenmeyer conteniendo 15 órganos dentales. Foto del autor.

Fase analítica

Procedimiento microbiológico

Para la preparación del medio de cultivo caldo Infusión Cerebro Corazón (BHI), se suspendieron 7.4 g del medio en 200 ml de agua destilada. Posteriormente, el contenido se colocó en un matraz Erlenmeyer tapado y se llevó a calentamiento en hot plate previamente acondicionado a una temperatura superior a 400 °C, manteniéndose hasta alcanzar el punto de ebullición con agitación frecuente, con el propósito de lograr la completa disolución del medio.

Figura 23

Preparación del medio de cultivo

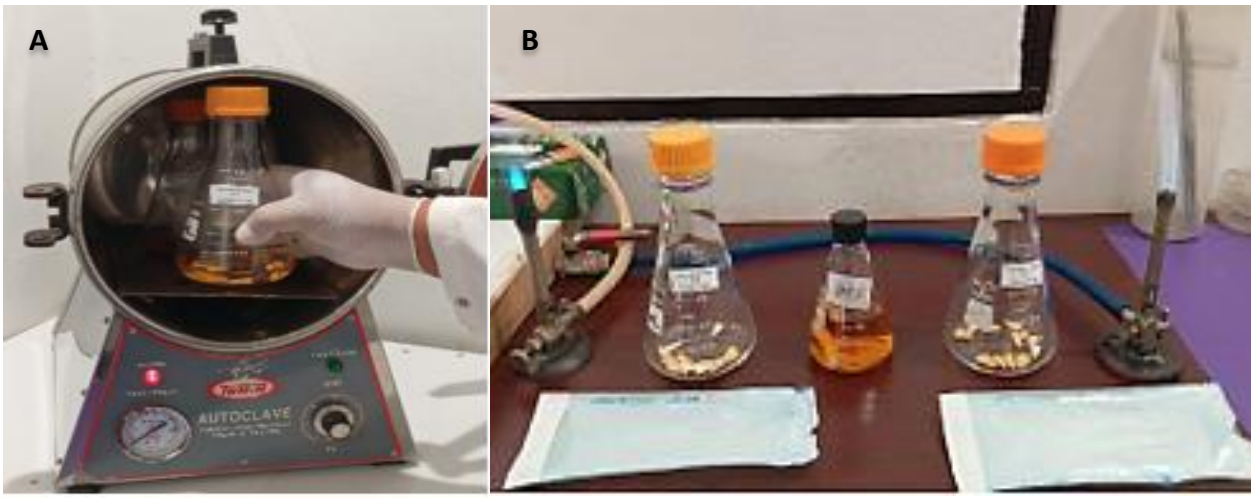


Nota. Se observa el pesaje para preparar caldo de BHI. Foto del autor.

Una vez preparado, se agregaron aproximadamente 100 ml de caldo BHI a cada recipiente que contenía los órganos dentales, asegurando que el medio cubriera totalmente las muestras biológicas. Seguidamente, los recipientes fueron esterilizados en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Finalizado el proceso de esterilización, los recipientes se retiraron de la autoclave y se dejaron enfriar en baño maría hasta alcanzar una temperatura de 37 °C. Finalmente, las muestras fueron incubadas a 37 °C durante 48 horas.

Figura 24

Órganos dentales listos para el estudio microbiológico



Nota. En la figura **A** se observa los órganos dentales sometidos a esterilización y en la figura **B** los órganos dentales con el caldo de infusión cerebro- corazón (centro). Foto del autor.

Para la infección experimental de los órganos dentales, se inocularon 60 µl de una suspensión de *E. faecalis* ATCC 29212 ajustada a una escala de McFarland 0.5 en cada uno de los recipientes. Posteriormente, las muestras se incubaron a 37 °C durante un período de siete días, efectuándose el recambio del caldo BHI cada 48 horas para mantener condiciones óptimas de crecimiento bacteriano.

En el muestreo microbiológico por órganos dentales, inicialmente se preparó solución estéril de caldo BHI en 60 tubos estériles, destinados a la obtención de muestras antes y después de la irrigación con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5.25 %. Antes de la irrigación, se obtuvo una muestra microbiológica de cada conducto radicular utilizando puntas de papel estériles tipo cono de papel 30 taper 04 para los 30 órganos dentales. Posteriormente, cada punta de papel fue introducida en un tubo con solución estéril y rotulada de acuerdo con la codificación correspondiente (24A-1 al 15 y 36A-1 al 15). Las muestras permanecieron en reposo durante 30 minutos y posteriormente fueron agitadas en vórtex previo a la realización de las diluciones seriadas.

Después de la irrigación con NaOCl al 5.25 % a diferentes temperaturas, se procedió nuevamente a la toma de muestras microbiológicas utilizando puntas de papel estériles tipo cono de papel 30 taper 04 en los 30 órganos dentales, correspondientes a 15 muestras irrigadas a 24

°C y 15 muestras irrigadas a 36 °C. Cada punta de papel fue colocada en tubos con solución estéril y rotulada según la codificación establecida (24D-1 al 15 y 36D-1 al 15).

Posteriormente, las muestras permanecieron en reposo durante 30 minutos y fueron agitadas en vórtex antes de efectuar las diluciones seriadas.

Para el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC), se realizaron diluciones seriadas en los 60 tubos procesados. Inicialmente, se tomó 1 mL de la muestra contenida en cada tubo y se transfirió a un tubo con 9 mL de solución de NaCl al 0.85 %, obteniéndose la dilución 10^{-1}. A partir de esta dilución, se tomó nuevamente 1 mL y se transfirió a otro tubo con 9 mL de solución de NaCl al 0.85v% para obtener la dilución 10^{-2}, repitiéndose el procedimiento sucesivamente hasta alcanzar la dilución 10^{-5}.

De cada dilución se tomaron 100 µL, los cuales fueron sembrados por duplicado sobre la superficie de placas Petri con agar BHI solidificado.

Posteriormente, la muestra fue distribuida uniformemente sobre toda la superficie del medio y las placas fueron rotuladas adecuadamente. Finalmente, las placas se incubaron a 37 °C durante 48 horas.

Figura 25

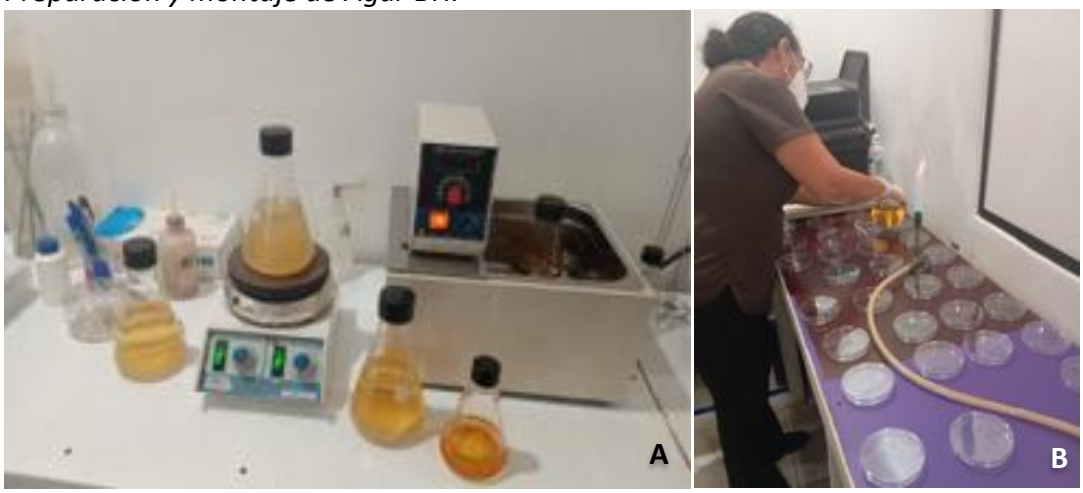
Incubación de órganos dentales a 37 ^{0}C



Nota. Se observa los órganos dentales incubados a 37 ^{0}C en BHI previamente infectados con *E. faecalis*. Foto del autor.

Figura 26

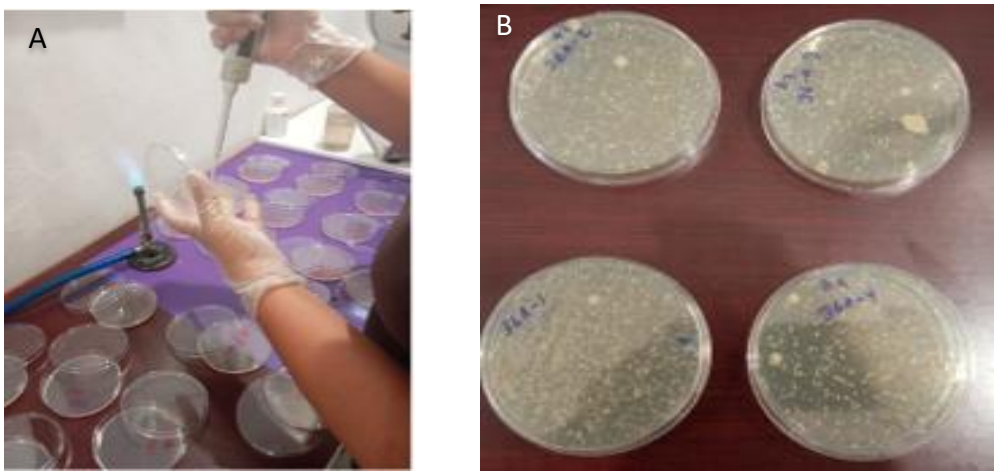
Preparación y montaje de Agar BHI



Nota. En la figura **A** se observa la preparación del Agar BHI y en la figura **B** el montaje del Agar en platos Petri. Fotos del autor.

Figura 27

Platos Petri inoculados con Enterococcus faecalis



Nota. En la figura **A** se observa la inoculación de la dilución 10-2 en los platos Petri. En la figura **B** se observan los mismos con UFC de *Enterococcus faecalis* listos para el recuento. Foto del autor.

Para el recuento microbiológico, se seleccionaron las placas que presentaron entre 30 y 300 colonias, registrándose el número de colonias observadas en cada una. Los resultados obtenidos fueron expresados como unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml).

Instrumento de recolección de datos

La investigación utilizó como instrumento una ficha técnica de registro microbiológico diseñada específicamente para estudios *in vitro*, elaborada con el propósito de recopilar de manera sistemática y organizada la información obtenida durante el desarrollo experimental.

El instrumento correspondió a una ficha de observación y medición de carácter cuantitativo y estructurado, orientada al registro estandarizado de los datos microbiológicos generados durante el procedimiento experimental.

La recolección de datos se realizó mediante observación directa y medición microbiológica estandarizada, permitiendo documentar objetivamente los cambios bacterianos observados antes y después de la irrigación con hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas.

La finalidad del instrumento consistió en registrar de forma ordenada, precisa y sistemática los datos relacionados con la temperatura del hipoclorito de sodio aplicada a 24 °C y 36 °C, el recuento inicial y final de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis*, así como el porcentaje de inhibición bacteriana obtenido posterior al procedimiento de irrigación endodóntica.

La unidad de análisis estuvo constituida por el conducto radicular de órganos dentales humanos unirradiculares extraídos, seleccionados para el desarrollo del estudio microbiológico *in vitro*.

Entre las variables de medición se distinguen: La variable independiente correspondió a la temperatura del hipoclorito de sodio, mientras que la variable dependiente estuvo representada por la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio frente a *E. faecalis*, evaluada mediante el recuento microbiológico y el porcentaje de inhibición bacteriana.

El instrumento se organizó en tres secciones principales.

- La primera sección correspondió a los datos generales de la muestra, incluyendo el código de identificación, la fecha de análisis, la temperatura aplicada, el objetivo específico relacionado y el responsable del procedimiento.
- La segunda sección estuvo destinada al registro microbiológico, contemplando el recuento inicial de UFC, el recuento final posterior a la irrigación, el tiempo de exposición al irrigante y el cálculo del porcentaje de inhibición bacteriana.

- La tercera sección correspondió a la validación del registro, incorporando la identificación del investigador responsable, el cargo desempeñado, la fecha y la firma, con el propósito de garantizar el control de calidad y la confiabilidad de los datos registrados.

Escala de medición. La temperatura fue medida mediante una escala numérica continua expresada en grados Celsius (°C). El recuento bacteriano se registró utilizando una escala numérica discreta expresada en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), Mientras que la actividad antibacteriana se evaluó mediante el porcentaje (%) de inhibición bacteriana.

Forma de aplicación. El instrumento fue aplicado de manera directa durante el desarrollo del experimento *in vitro.* Los datos fueron registrados inmediatamente después de cada procedimiento microbiológico realizado, con el propósito de minimizar errores de transcripción y asegurar la precisión, fidelidad y confiabilidad de la información obtenida.

Base metodológica. El diseño y uso de este instrumento se fundamenta en los principios de la investigación cuantitativa descritos por Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), quienes señalan que los instrumentos estructurados permiten recoger información objetiva, replicable y susceptible de análisis estadístico, asegurando que los datos obtenidos respondan de manera directa a los objetivos de la investigación.

9.7 Validez y confiabilidad de los instrumentos

En el presente estudio, la validez del instrumento de recolección de datos se garantizó mediante el juicio de expertos, con el propósito de asegurar que el instrumento sea pertinente y adecuado para medir las variables planteadas en la investigación. Para ello, el instrumento fue revisado por profesionales con experiencia en el área de endodoncia, microbiología y metodología de la investigación**,** quienes evaluaron la claridad, coherencia y correspondencia entre los indicadores del instrumento y los objetivos del estudio.

Como resultado de este proceso, los expertos emitieron su valoración y recomendaciones, las cuales permitieron realizar los ajustes necesarios antes de la aplicación definitiva del instrumento. La revisión quedó respaldada mediante un documento escrito, donde los especialistas hicieron constar que el instrumento fue analizado y validado para su uso en la recolección de los datos del estudio.

Por otra parte, la fiabilidad del instrumento se determinó mediante la realización de una prueba piloto, aplicada en una pequeña cantidad de muestras con características similares a las del estudio principal. Este procedimiento permitió verificar la consistencia y estabilidad del instrumento durante el proceso de recolección de datos, así como identificar posibles dificultades en su aplicación. A partir de los resultados obtenidos en el pilotaje, se realizó los ajustes necesarios para garantizar que el instrumento proporcionara datos confiables y reproducibles en la investigación.

9.8 Procedimientos para el procesamiento y análisis de información

El procesamiento de la información se realizó a partir de los datos obtenidos mediante la ficha técnica de registro microbiológico diseñada para el estudio in vitro. Inicialmente, los resultados derivados del recuento microbiológico fueron registrados de forma inmediata y sistemática después de cada procedimiento experimental, con el propósito de garantizar la integridad, trazabilidad y fidelidad de la información recolectada. Los datos correspondientes al recuento inicial y final de *E. faecalis*, la temperatura del hipoclorito de sodio aplicada (24 °C y 36 °C) y el porcentaje de inhibición bacteriana fueron organizados en matrices de registro elaboradas para el estudio.

Posteriormente, se efectuó la depuración, codificación y tabulación de los datos obtenidos, verificándose la consistencia interna de los registros y la ausencia de errores de transcripción. Los resultados microbiológicos fueron expresados en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), considerando para el análisis únicamente aquellas placas de cultivo que presentaron un rango de crecimiento bacteriano entre 30 y 300 colonias, conforme a los criterios microbiológicos estandarizados para el recuento viable.

Para el análisis de la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio frente a *Enterococcus faecalis*, se compararon los recuentos bacterianos obtenidos antes y después de la irrigación endodóntica a las diferentes temperaturas evaluadas. A partir de dichos valores, se calculó el porcentaje de inhibición bacteriana, permitiendo determinar la variación de la carga microbiana posterior a la aplicación del irrigante y valorar el comportamiento antimicrobiano del hipoclorito de sodio bajo las condiciones experimentales establecidas.

El análisis de la información se desarrolló mediante estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central y de dispersión para la organización, síntesis e interpretación de los resultados cuantitativos obtenidos. Los datos fueron presentados mediante tablas y representaciones gráficas, facilitando la comparación entre los grupos experimentales y permitiendo una visualización objetiva del efecto de la temperatura del hipoclorito de sodio sobre la reducción bacteriana en conductos radiculares infectados con *E. faecalis*.

Finalmente, la interpretación de los resultados se efectuó en función de los objetivos específicos, las variables de estudio y los fundamentos científicos reportados en la literatura especializada, con el propósito de establecer conclusiones sustentadas acerca de la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas en condiciones experimentales in vitro

9.9 Consideraciones éticas

En la presente investigación se tomaron en cuenta los principios éticos que orientan el desarrollo de los estudios científicos, garantizando que el proceso se realice con responsabilidad, respeto y rigor académico. Debido a que el estudio corresponde a un diseño experimental in vitro, realizado con órganos dentales humanos previamente extraídos por indicación clínica, no se requirió la aplicación de consentimiento libre e informado, ya que no se realizó intervención directa sobre pacientes ni se afectó su integridad física.

No obstante, los órganos dentales utilizados en el estudio fueron empleados exclusivamente con fines académicos y de investigación, procurando su manejo adecuado y el cumplimiento de las normas de bioseguridad y manejo de material biológico establecidas en el laboratorio donde se desarrolló el estudio. Asimismo, los procedimientos experimentales se llevaron a cabo en condiciones controladas, respetando los protocolos establecidos para la manipulación de muestras biológicas.

De igual manera, se garantizó la confidencialidad de la información relacionada con las muestras utilizadas, evitando cualquier elemento que permita identificar a los pacientes de los cuales provinieron los órganos dentales. De esta forma, se resguardará la privacidad y el manejo responsable de los datos generados durante la investigación.

10. Resultados y discusión

El presente capítulo expone los resultados obtenidos en la evaluación del efecto de la variación de temperatura del hipoclorito de sodio sobre la acción antimicrobiana frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, así como su correspondiente discusión a la luz de la evidencia científica disponible. El análisis se desarrolló mediante procedimientos descriptivos, correlacionales e inferenciales que permitieron valorar el comportamiento de la carga bacteriana antes y después de la aplicación del irrigante en diferentes condiciones térmicas.

Inicialmente, los análisis descriptivos permitieron caracterizar el comportamiento de las unidades formadoras de colonias (UFC/ml) en los grupos experimentales expuestos al hipoclorito de sodio a 24 °C y 36 °C. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de la carga bacteriana en ambas condiciones, observándose diferencias en los porcentajes de inhibición bacteriana y en la magnitud de los recuentos finales, lo que sugiere una posible influencia de la temperatura sobre la eficacia antimicrobiana del irrigante.

Posteriormente, los análisis correlacionales permitieron examinar la relación existente entre el incremento de la temperatura y la disminución del crecimiento bacteriano, identificando tendencias que respaldan la hipótesis de que el calentamiento del hipoclorito de sodio favorece su capacidad de desinfección frente a *E. faecalis*. Asimismo, los análisis inferenciales, desarrollados mediante pruebas estadísticas de comparación de medias y análisis de varianza, posibilitaron determinar si las diferencias observadas entre los grupos experimentales respondían a efectos reales de la intervención y no al azar.

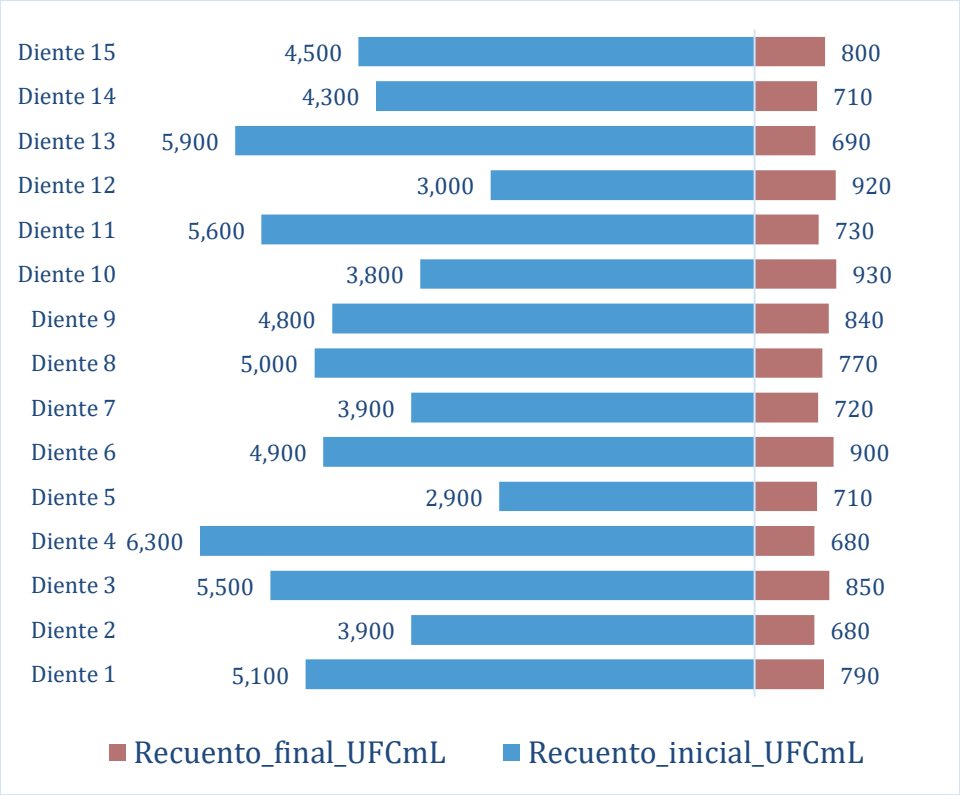
La discusión integra estos hallazgos con los reportes de investigaciones previas nacionales e internacionales, permitiendo contrastar los resultados obtenidos con la literatura científica actual y valorar las implicaciones clínicas del uso de hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas como estrategia para optimizar la desinfección del sistema de conductos radiculares durante el tratamiento endodóntico.

Objetivo específico 1:

Determinar el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *E. faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 24 °C utilizando métodos microbiológicos in vitro relacionando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Figura 28

Recuento de UFC de Enterococcus faecalis expuesto al NaOCl a 24 °C



Nota. la Figura 28 de tornado permite visualizar una reducción clara entre el recuento inicial y el recuento final de UFC/ml en los 15 órganos dentales analizados. Fuente propia.

En función del primer objetivo específico, orientado a determinar el recuento de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 24 °C. Aunque en la tabla los valores iniciales aparecen con signo negativo por la forma en que se construyó el gráfico, estos deben interpretarse como valores absolutos. En ese sentido, los recuentos iniciales oscilaron entre 2,900 y 6,300 UFC/ml, mientras que los recuentos finales se

ubicaron entre 680 y 930 UFC/ml, lo que evidencia una disminución considerable de la carga bacteriana después de la aplicación del hipoclorito de Sodio a 24 °C.

La tendencia general muestra que todos los órganos dentales presentaron reducción bacteriana posterior al contacto con el irrigante, aunque con variaciones entre las muestras. Algunos órganos dentales iniciaron con cargas bacterianas más elevadas, como el órgano dental 4 con 6,300 UFC/ml y el órgano dental 13 con 5,900 UFC/ml, pero aun así finalizaron con recuentos bajos de 680 y 690 UFC/ml, respectivamente. Esto indica que el hipoclorito de Sodio a 24 °C tuvo una acción antimicrobiana efectiva frente a *E. faecalis*, logrando una reducción promedio importante, aunque no una eliminación total del microorganismo.

Esta lectura se corresponde con los estadísticos descriptivos, donde el recuento inicial promedio fue de 4,626.67 UFC/ml y el recuento final promedio fue de 781.33 UFC/ml, con un porcentaje promedio de inhibición bacteriana de 82.16 %.

Sirtes et al. (2005) coinciden con estos resultados al señalar que el hipoclorito de Sodio posee capacidad antimicrobiana frente a microorganismos endodónticos, incluso cuando se utiliza en condiciones convencionales; sin embargo, sus hallazgos también indican que dicha eficacia puede incrementarse cuando se eleva la temperatura del irrigante. En contraste, los resultados del presente objetivo muestran que a 24 °C el NaOCl sí reduce de manera marcada el recuento de *E. faecalis*, pero deja recuentos finales detectables en todas las muestras, lo que sugiere una acción efectiva pero limitada.

Esta interpretación también guarda relación con lo planteado por Elsawaf et al. (2024) y Govindaraju et al. (2024), quienes sostienen que la temperatura puede actuar como una variable potenciadora de la acción antimicrobiana del hipoclorito, aunque la magnitud del efecto depende de las condiciones experimentales, la concentración, el tiempo de contacto y el protocolo de aplicación.

Tabla 4

Estadísticos descriptivos al grupo expuesto al NaOCl a 24 °C

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Recuento inicial UFCml	15	2900	6300	4626,67	1003,185
Recuento final UFCml	15	680	930	781,33	88,468
Porcentaje inhibición bacteriana	15	69,33	89,21	82,1636	5,23059
N válido (por lista)	15				

Nota. Los estadísticos descriptivos correspondientes al grupo expuesto al hipoclorito de sodio a 24 °C permiten evidenciar una disminución importante en el recuento de unidades formadoras de colonias de *E. faecalis*. Fuente propia.

En las 15 muestras analizadas, el recuento inicial presentó una media de 4,626.67 UFC/ml, con valores que oscilaron entre 2,900 y 6,300 UFC/ml. Esta amplitud entre el valor mínimo y máximo muestra que, antes de la aplicación del irrigante, existía una carga bacteriana variable entre los conductos radiculares evaluados, lo cual es esperable en estudios experimentales con órganos dentales extraídos, debido a las diferencias anatómicas, condiciones del conducto y nivel inicial de contaminación bacteriana.

Posterior a la exposición al hipoclorito de sodio a 24 °C, el recuento final disminuyó hasta una media de 781.33 UFC/ml, con un mínimo de 680 y un máximo de 930 UFC/ml. Esta reducción evidencia que el hipoclorito de sodio, aun a temperatura ambiente, tuvo un efecto antimicrobiano relevante frente a *E. faecalis*. Además, la desviación estándar del recuento final fue de 88.468, menor que la observada en el recuento inicial, lo que indica que después de la aplicación del irrigante los valores tendieron a concentrarse en un rango más homogéneo. En términos prácticos, esto sugiere que el NaOCl a 24 °C logró disminuir la carga bacteriana en todas las muestras, aunque no produjo una eliminación total del microorganismo.

En coherencia con Sirtes et al. (2005), quienes reportaron que el hipoclorito de Sodio posee capacidad antimicrobiana frente a microorganismos resistentes del sistema de conductos radiculares, los resultados obtenidos en este grupo muestran una inhibición bacteriana promedio de 82.16 %, con valores entre 69.33 % y 89.21 %. Este hallazgo confirma que el NaOCl a 24 °C es

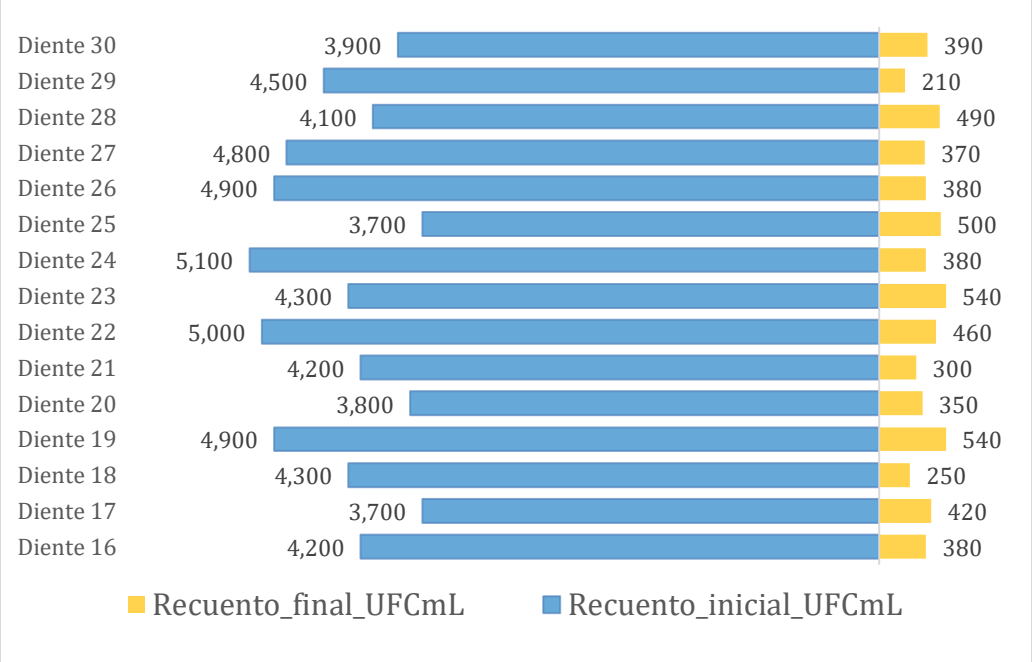
efectivo para reducir significativamente la presencia de *E. faecalis*; sin embargo, al mantenerse recuentos finales detectables, los resultados también coinciden con planteamientos más recientes, como los de Elsawaf et al. (2024) y Govindaraju et al. (2024), quienes señalan que la eficacia antimicrobiana del hipoclorito puede potenciarse cuando se modifican condiciones como la temperatura, concentración o tiempo de exposición. Por tanto, para este primer objetivo específico, se establece que el hipoclorito de Sodio a 24 °C presentó una acción antimicrobiana considerable, aunque parcial, frente a *E. faecalis*.

Objetivo específico 2:

Establecer el recuento de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 36 °C utilizando métodos microbiológicos in vitro evaluando el aumento de temperatura y la inhibición bacteriana.

Figura 29

Recuento de UFC de Enterococcus faecalis expuesto al NaOCl a 36 °C



Nota. la Figura 29 de tornado permite observar una reducción marcada entre el recuento inicial y el recuento final de UFC/ml en los 15 órganos dentales analizados. Fuente propia.

En función del segundo objetivo específico, orientado a establecer el recuento de unidades formadoras de colonias de *E. faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a 36 °C. Aunque los valores iniciales aparecen con signo negativo por la estructura visual del gráfico, estos deben interpretarse como valores absolutos. En este grupo, los recuentos iniciales oscilaron entre 3,700 y 5,100 UFC/ml, mientras que los recuentos finales se ubicaron entre 210 y 540 UFC/ml, lo que evidencia una disminución considerable de la carga bacteriana posterior a la aplicación del hipoclorito de sodio calentado a 36 °C.

La tendencia general de los resultados muestra que todos los órganos dentales presentaron una reducción importante del recuento bacteriano después de la exposición al irrigante. Por ejemplo, el órgano dental 24 inició con 5,100 UFC/ml y finalizó con 380 UFC/ml, mientras que el órgano dental 29 pasó de 4,500 UFC/mL a 210 UFC/ml, siendo este uno de los valores finales más bajos registrados. Esto indica que el hipoclorito de sodio a 36°C tuvo una acción antimicrobiana efectiva frente a *E. faecalis*, con una disminución más pronunciada de las UFC/ml en comparación con los valores iniciales. Además, los recuentos finales se mantuvieron en un rango bajo y relativamente concentrado, lo que sugiere una respuesta antimicrobiana consistente en la mayoría de las muestras evaluadas.

Govindaraju et al. (2024) sostienen que el aumento de la temperatura puede favorecer la capacidad antimicrobiana del hipoclorito de sodio, al mejorar su actividad química y su acción sobre microorganismos persistentes en el sistema de conductos radiculares. En correspondencia con estos planteamientos, los resultados del presente objetivo muestran que a 36 °C el NaOCl redujo de manera notable el recuento de *E. faecalis*, dejando valores finales considerablemente menores que los iniciales.

De forma similar, lo señalado por Sirtes et al. (2005) y Elsawaf et al. (2024) permite interpretar que el calentamiento del irrigante puede potenciar su eficacia, especialmente frente a bacterias resistentes como *E. faecalis*. Por tanto, los hallazgos obtenidos para este segundo objetivo específico evidencian que el hipoclorito de sodio a 36 °C presentó una acción antimicrobiana elevada y consistente en la reducción de UFC/ml.

Tabla 5

Estadísticos descriptivos al grupo expuesto al NaOCl a 36 °C

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Recuento inicial UFCml	15	3700	5100	4360,00	483,735
Recuento final UFCml	15	210	540	397,33	98,014
Porcentaje inhibición bacteriana	15	86,49	95,33	90,7740	2,53078
N válido (por lista)	15				

Nota. Los estadísticos descriptivos de la Tabla 5 del grupo expuesto al hipoclorito de sodio a 36 °C permiten observar una disminución marcada del recuento de unidades formadoras de colonias de *E. faecalis*. Fuente propia.

En las 15 muestras analizadas, el recuento inicial presentó una media de 4,360.00 UFC/ml, con valores comprendidos entre 3,700 y 5,100 UFC/ml. Esta distribución muestra que, antes de la aplicación del irrigante, las muestras presentaban una carga bacteriana considerable, aunque menos dispersa que la observada en el grupo de 24 °C. La desviación estándar inicial de 483.735 indica que los recuentos bacterianos de partida se mantuvieron relativamente agrupados alrededor de la media, lo cual favorece una lectura más consistente del comportamiento del hipoclorito de sodio bajo esta temperatura.

Después de la exposición al hipoclorito de sodio a 36 °C, el recuento final disminuyó hasta una media de 397.33 UFC/ml, con un valor mínimo de 210 y un máximo de 540 UFC/ml. Este descenso evidencia una acción antimicrobiana importante del irrigante calentado, ya que los valores finales fueron considerablemente menores que los recuentos iniciales. Asimismo, aunque la desviación estándar final fue de 98.014, los datos se mantuvieron dentro de un rango bajo de UFC/ml, lo que sugiere que el efecto antibacteriano fue relativamente constante entre las muestras. En términos del porcentaje de inhibición bacteriana, se obtuvo una media de 90.77 %, con valores entre 86.49% y 95.33 %, lo que permite afirmar que el NaOCl a 36 °C produjo una reducción elevada de *E. faecalis* en los conductos radiculares evaluados.

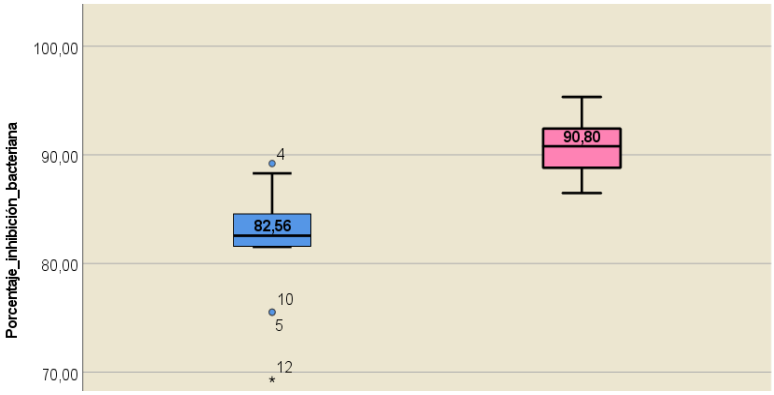
Sirtes et al. (2005) plantean que el incremento de la temperatura puede mejorar la capacidad antimicrobiana del hipoclorito de sodio, al favorecer su actividad química y su efecto sobre microorganismos resistentes presentes en el sistema de conductos radiculares. En correspondencia con este planteamiento, los resultados obtenidos en el presente objetivo evidencian que el NaOCl a 36 °C alcanzó un porcentaje promedio de inhibición bacteriana superior al 90 %, dejando recuentos finales bajos en todas las muestras. Esta tendencia también se relaciona con lo señalado por Elsawaf et al. (2024) y Govindaraju et al. (2024), quienes destacan que el calentamiento del irrigante puede potenciar su eficacia antimicrobiana frente a *E. faecalis*. Por tanto, los estadísticos descriptivos permiten establecer que el hipoclorito de sodio a 36 °C tuvo una acción antimicrobiana elevada y más concentrada, dando respuesta al segundo objetivo específico de la investigación.

Objetivo específico 3:

Comparar la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio a 24°C y 36°C empleando pruebas de significancia apropiadas para los datos obtenidos determinando si las variaciones térmicas producen efectos clínicamente relevantes.

Figura 30

Porcentaje de inhibición bacteriana alcanzado en dos temperaturas



Nota. La Figura 30 de caja y bigotes permite comparar visualmente el porcentaje de inhibición bacteriana alcanzado por el hipoclorito de sodio a 24 °C y a 36 °C frente a *E. faecalis*.

En el grupo tratado con NaOCl a 24 °C, la mediana de inhibición bacteriana fue de 82.56 %, mientras que en el grupo tratado a 36 °C la mediana fue de 90.80 %. Esta diferencia muestra que, en términos centrales, el hipoclorito de sodio calentado presentó una mayor capacidad antimicrobiana que el utilizado a temperatura ambiente. Por tanto, el gráfico evidencia que la variación térmica se asocia con un incremento en la reducción bacteriana.

En el grupo de 24 °C se observa una mayor dispersión de los datos, con valores atípicos por debajo del comportamiento central de la muestra y un valor superior cercano al 90 %. Esto indica que, aunque el NaOCl a 24 °C logró inhibir el crecimiento bacteriano, su efecto fue menos uniforme entre los órganos dentales analizados. En cambio, el grupo de 36°C muestra una distribución más concentrada, con valores ubicados principalmente por encima del 86 %, sin presencia evidente de valores atípicos extremos. Esta menor variabilidad sugiere que el hipoclorito de sodio a 36 °C no solo produjo una mayor inhibición bacteriana, sino que también presentó un comportamiento más estable entre las muestras.

En correspondencia con lo planteado por Sirtes et al. (2005), el aumento de la temperatura puede potenciar la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio, debido a que favorece su actividad química y mejora su capacidad de acción frente a microorganismos resistentes en el sistema de conductos radiculares. Los resultados del diagrama coinciden con este planteamiento, ya que la mediana de inhibición bacteriana fue mayor en el grupo de 36 °C que en el de 24 °C.

Asimismo, estos hallazgos guardan relación con lo señalado por Elsawaf et al. (2024) y Govindaraju et al. (2024), quienes destacan que el calentamiento del irrigante puede incrementar su eficacia antimicrobiana frente a *E. faecalis*. En consecuencia, el análisis gráfico permite establecer que la temperatura de 36 °C generó un efecto antimicrobiano superior y más consistente, dando respuesta al tercer objetivo específico de la investigación.

Tabla 6

Estadísticas de grupo de porcentaje de inhibición bacteriana

		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Porcentaje inhibición	NaOCl 24°C	15	82,1636	5,23059	1,35053
bacteriana	NaOCl 36°C	15	90,7740	2,53078	,65345

Nota. La Tabla 6 permite comparar visualmente con la Figura 30 el porcentaje de inhibición bacteriana alcanzado por el hipoclorito de sodio a 24 °C y a 36 °C frente a *E. faecalis*. Fuente propia.

En el grupo tratado con NaOCl a 24 °C, la mediana de inhibición bacteriana fue de 82.56 %, mientras que en el grupo tratado a 36 °C la mediana fue de 90.80 %. Esta diferencia muestra que, en términos centrales, el hipoclorito de sodio calentado presentó una mayor capacidad antimicrobiana que el utilizado a temperatura ambiente. Por tanto, el gráfico evidencia que la variación térmica se asocia con un incremento en la reducción bacteriana.

En el grupo de 24 °C se observa una mayor dispersión de los datos, con valores atípicos por debajo del comportamiento central de la muestra y un valor superior cercano al 90 %. Esto indica que, aunque el NaOCl a 24 °C logró inhibir el crecimiento bacteriano, su efecto fue menos uniforme entre los órganos dentales analizados. En cambio, el grupo de 36 °C muestra una distribución más concentrada, con valores ubicados principalmente por encima del 86 %, sin presencia evidente de valores atípicos extremos. Esta menor variabilidad sugiere que el hipoclorito de sodio a 36 °C no solo produjo una mayor inhibición bacteriana, sino que también presentó un comportamiento más estable entre las muestras.

Tabla 7

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje inhibición bacteriana	,105	30	,200*	,932	30	,056

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para determinar la prueba estadística adecuada en la comparación de medias del porcentaje de inhibición bacteriana entre las temperaturas evaluadas, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, considerando que la muestra total estuvo conformada por 30 observaciones. Los resultados muestran un estadístico de Shapiro-Wilk de 0.932, con un valor de significancia de 0.056.

Dado que este valor es mayor que el nivel de significancia convencional de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad, lo que indica que los datos del porcentaje de inhibición bacteriana presentan una distribución compatible con la normalidad. En consecuencia, resulta pertinente utilizar una prueba paramétrica para la comparación de medias, específicamente la prueba t de Student para muestras independientes, con el propósito de establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de Sodio a 24°C y a 36°C.

Para dar salida al objetivo específico 3, que busca comparar la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio a 24 °C y 36 °C, las hipótesis pueden plantearse así:

Hipótesis nula (H_0):

No existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de inhibición bacteriana de *E. faecalis* entre el hipoclorito de sodio aplicado a 24 °C y el hipoclorito de sodio aplicado a 36°C.

Hipótesis alternativa (H_1):

Existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de inhibición bacteriana de *E. faecalis* entre el hipoclorito de sodio aplicado a 24 °C y el hipoclorito de sodio aplicado a 36 °C.

Tabla 8

Prueba de hipótesis para muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. bilateral	Diferencia de medias	Diferencia de desv. estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Porcentaje inhibición bacteriana	Se asumen varianzas iguales	2,609	,117	-5,739	28	,000	-861,038	150,031	-1,168,362	-553,713
	No se asumen varianzas iguales			-5,739	20,214	,000	-861,038	150,031	-1,173,784	-548,291

Nota. En la Tabla 8 se destaca la prueba de hipótesis para muestras independientes que permitió comparar el porcentaje de inhibición bacteriana del hipoclorito de sodio a 24 °C y 36 °C. Fuente propia.

En primer lugar, la prueba de Levene presentó un valor de significancia de 0.117, mayor que 0.05, por lo que se asume igualdad de varianzas entre los grupos. Bajo esta condición, la prueba t mostró un valor de t = -5.739, con 28 grados de libertad y una significancia bilateral de 0.000. Este resultado indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambas temperaturas, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. En términos prácticos, la diferencia de medias confirma que el hipoclorito de sodio a 36 °C produjo un porcentaje de inhibición bacteriana mayor que el aplicado a 24 °C, evidenciando que la variación térmica sí influyó en la eficacia antimicrobiana frente a *Enterococcus faecalis*.

Estos resultados coinciden con lo planteado por Sirtes et al. (2005), quienes señalaron que el calentamiento del hipoclorito de sodio mejora su capacidad antimicrobiana y favorece una acción más efectiva frente a microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares. De manera similar, Elsawaf et al. (2024) y Govindaraju et al. (2024) reportan que el aumento de la temperatura puede potenciar la acción del NaOCl, especialmente contra bacterias resistentes como *E. faecalis*.

En este sentido, los hallazgos de la presente investigación se relacionan con dichos antecedentes, ya que el grupo expuesto a 36 °C obtuvo una inhibición bacteriana significativamente superior al grupo de 24 °C. Por tanto, la comparación estadística respalda que el calentamiento del irrigante representa una condición favorable para incrementar su eficacia antimicrobiana.

11. Conclusiones

El hipoclorito de sodio aplicado a 24 °C demostró una acción antimicrobiana considerable frente a *E. faecalis*, al reducir el recuento promedio inicial de 4,626.67 UFC/ml a 781.33 UFC/ml. Este comportamiento evidencia que, aun a temperatura ambiente, el irrigante posee capacidad para disminuir de forma importante la carga bacteriana presente en los conductos radiculares; sin embargo, la permanencia de recuentos finales detectables indica que su efecto no fue completamente eliminatorio.

A 36 °C, el hipoclorito de sodio mostró una mayor eficacia antimicrobiana, reflejada en una reducción del recuento promedio inicial de 4,360.00 UFC/ml a 397.33 UFC/ml, con un porcentaje promedio de inhibición bacteriana de 90.77 %. Estos resultados permiten afirmar que el incremento de temperatura favoreció una respuesta más intensa y homogénea del irrigante, logrando valores finales de UFC/ml más bajos en comparación con los observados a 24 °C.

La comparación entre ambas temperaturas evidenció diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de inhibición bacteriana, lo que confirma que la variación térmica influyó en la eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio. En conjunto, los resultados permiten concluir que el calentamiento del NaOCl a 36 °C potencia su acción frente a *E. faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, por lo que representa una condición experimental favorable para mejorar su desempeño antimicrobiano.

12. Recomendaciones

Se recomienda considerar el uso del hipoclorito de sodio calentado como una alternativa complementaria dentro de los protocolos de irrigación endodóntica, debido a que los resultados evidenciaron una mayor inhibición bacteriana a 36 °C frente a *Enterococcus faecalis*. Esta condición podría favorecer una mejor reducción de microorganismos persistentes en el sistema de conductos radiculares.

Es conveniente que futuras investigaciones evalúen otras temperaturas del hipoclorito de sodio, así como diferentes concentraciones y tiempos de exposición, con el fin de identificar condiciones óptimas que incrementen su eficacia antimicrobiana sin comprometer la seguridad clínica. Esto permitiría fortalecer la evidencia sobre el uso térmico del irrigante en endodoncia.

Se sugiere ampliar el tamaño de la muestra en estudios posteriores, incorporando un mayor número de órganos dentales extraídos y, de ser posible, diferentes tipos de órganos dentales. Esto contribuiría a obtener resultados más representativos y a valorar si la acción antimicrobiana del NaOCl calentado mantiene el mismo comportamiento en distintas condiciones anatómicas.

También se recomienda complementar los estudios microbiológicos con análisis que valoren la penetración del irrigante en túbulos dentinarios y zonas de difícil acceso del conducto radicular. De esta manera, se podría comprender con mayor profundidad si la reducción de UFC/ml observada se relaciona únicamente con el contacto directo del irrigante o también con una mejor capacidad de difusión.

Finalmente, se recomienda desarrollar investigaciones comparativas entre hipoclorito de sodio calentado y otros irrigantes endodónticos utilizados en la práctica clínica. Esto permitiría establecer protocolos más fundamentados para el control de *E. faecalis* y contribuiría al fortalecimiento de procedimientos endodónticos más eficaces y seguros.

13. Referencias

Abdellatif, D., Cernera, M., Cecere, L., Iandolo, A., Rengo, C., Spagnuolo, G., Armogida, N. G., Mancino, D., & Meyer, C. (2025). Internally heated sodium hypochlorite for endodontic irrigation: A narrative review of efficacy and clinical applicability. *European Endodontic Journal, 10*(6), 456–465. https://doi.org/10.14744/eej.2025.64872

Alghamdi, F., & Shakir, M. (2020). The influence of *Enterococcus faecalis* as a dental root canal pathogen on endodontic treatment: A systematic review. *Cureus, 12*(3), e7257. https://doi.org/10.7759/cureus.7257

Armira Camey, L. M. (2008). *Evaluación comparativa del poder bactericida del hipoclorito de sodio y el agua ozonizada sobre bacterias tipo Enterococcus faecalis, para la desinfección de conductos radiculares (estudio in vitro)* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC. http://www.repositorio.usac.edu.gt/12374/

Carroll, K. C., Hobden, J. A., Miller, S., Morse, S. A., Mietzner, T. A., Detrick, B., Mitchell, T. G., & Sakanari, J. A. (2019). *Jawetz, Melnick & Adelberg's medical microbiology* (28.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Costa, R. S., Silva, M. A., et al. (2024). Enterococcus faecalis e sua relação com infecções endodônticas persistentes. RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar. https://recima21.com.br/recima21/es/article/view/5929/4051

Corrales López, L. Á. (2024). Inhibición de Enterococcus faecalis mediante protocolo de irrigación con activación ultrasónica pasiva en dientes anterosuperiores [Tesis de especialidad, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional de la UNAN-León http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/10213/1/254831.pdf

Elsawaf, G. H., Gawdat, S. I., Dwedar, R. A., & Emara, R. S. (2024). Antibacterial efficacy of sodium hypochlorite at different temperatures against Enterococcus faecalis in single-rooted

teeth: An in vitro comparative study. Advanced Dental Journal, 6(4), 666–674. https://adjc.journals.ekb.eg/article_383288_d3d3a75011b80a83ce5fce6eee18936d.pdf

Giardino, L., Mohammadi, Z., Beltrami, R., Poggio, C., Estrela, C., & Generali, L. (2016). Influence of temperature on the antibacterial activity of sodium hypochlorite. Brazilian Dental Journal, 27(1), 32–36. https://doi.org/10.1590/0103-6440201600627

Govindaraju, L., Shruthi, S. T., Gopal, R., Jenarthanan, S., & Rajendran, M. R. (2024). Does increase in temperature of sodium hypochlorite improve antimicrobial efficacy and tissue dissolution capacity? A systematic review and meta-regression. Journal of Conservative Dentistry and Endodontics, 27, 675–684. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_110_24

Hargreaves, K. M., & Cohen, S. (2011). *Cohen's pathways of the pulp* (10.ª ed.). Mosby Elsevier.

Herce-Ros, N., Álvarez-Sagües, A., Álvarez-Losa, L., Nistal-Villan, E., Amador, U., Presa, J., & Azabal, M. (2021). Antibacterial capacity of sodium hypochlorite activated with PUI vs. XPF file against the growth of bacteria in mature Enterococcus faecalis biofilm. Dentistry Journal, 9(6), Article 67. https://doi.org/10.3390/dj9060067

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: McGRAW-HILL.

Karataş, E., Ayaz, N., Uluköylü, E., Baltaci, M. Ö., & Adigüzel, A. (2021). Effect of final irrigation with sodium hypochlorite at different temperatures on postoperative pain level and antibacterial activity: A randomized controlled clinical study. Journal of Applied Oral Science, 29, e20200502. https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0502

Gulsahi, K., Tirali, R. E., Cehreli, S. B., Karahan, Z. C., Uzunoglu, E., & Sabuncuoglu, B. (2014). The effect of temperature and contact time of sodium hypochlorite on human roots infected with Enterococcus faecalis and Candida albicans. Odontology, 102(1), 36–41. https://doi.org/10.1007/s10266-012-0086-x

Kranz, S., Guellmar, A., Braeutigam, F., Tonndorf-Martini, S., Heyder, M., Reise, M., & Sigusch, B. W. (2021). Antibacterial effect of endodontic disinfections on Enterococcus faecalis in

dental root canals—An in-vitro model study. Materials, 14(9), 2427. https://doi.org/10.3390/ma14092427

Meneses Guzmán, J. P., & Loaiza Azofeifa, E. (2014). Microfiltración bacteriana del Enterococcus faecalis a través de los materiales de restauración temporal en endodoncia. Odovtos – International Journal of Dental Sciences, (16), 135–140. https://www.redalyc.org/pdf/4995/499550300014.pdf

Pereira Lu, W. E. (1996). *Estudio in vitro del efecto que produce la solución de hipoclorito de sodio sobre la dentina intrarradicular al utilizarla para irrigar durante un tratamiento de conductos radiculares* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Facultad de Odontología, Universidad de San Carlos de Guatemala. https://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/09/09_1294.pdf

Rathore, V., Samel, D., Moogi, P., Bandekar, S., Kshirsagar, S., & Vyas, C. (2020). Antimicrobial efficacy of intracanal and extracanal heated sodium hypochlorite against Enterococcus faecalis: An in vitro study. Endodontology, 32(3), 112–117. https://doi.org/10.4103/endo.endo_21_20

Sirtes, G., Waltimo, T., Schaetzle, M., & Zehnder, M. (2005). The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. Journal of Endodontics, 31(9), 669–671. https://doi.org/10.1097/01.don.0000153846.62144.d2

Zehnder, M. (2006). *Root canal irrigants*. *Journal of Endodontics, 32*(5), 389–398. https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014

14. Apéndices / Anexos

14.1 Apéndices

Apéndice A

Managua, 17 de 05 del 2026

Maestro
Francisco Herrera Montenegro
Director de Posgrado
Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Estimado Maestro Herrera:

Por medio de la presente, el suscrito, Doctora. Ana Cecilia Baldizón, con cédula de identidad número 281-101171-0005A, hago de su conocimiento que he aceptado ser tutor de tesis del maestrando Doctora Diana Laura Hernández Castellón, con carnet número 1004033, para el trabajo de investigación titulado: "Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua de enero a mayo de 2026", el que corresponde al Programa de Especialidad en Endodoncia y Microcirugía (4ª. Edición).

Asimismo, expreso mi compromiso para brindar el acompañamiento académico necesario, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Reglamento de Posgrado y las disposiciones de la Dirección de Posgrado. Mi rol de tutor tiene una duración estimada de diez horas (10), las que se distribuirán en el período académicos definido por el Coordinador Académico del Programa.

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

Atentamente



Nombre y firma del tutor
Especialidad: Especialidad en Endodoncia y microcirugía
E-mail: acbaldizon@hotmail.com
Teléfono: 88861170

Apéndice B

Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Ficha técnica del instrumento de recolección de datos

Instrumento cuantitativo diseñado para la recolección sistemática de datos del estudio in vitro sobre:

"*Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua, de enero a mayo de 2026.*

Tabla 1. Recuento de colonias de 15 órganos dentales inoculados con *Enterococcus faecalis* cepa ATCC:29212 e irrigadas con NaOCl al 5.25% a una temperatura de 24°C.

Antes de la Irrigación con NaOCl 5.25%	**Recuento inicial de UFC/ml**	**Después de la Irrigación con NaOCl 5.25%**	**Recuento final de UFC/ml**
24A-1		24D-1	
24A-2		24D-2	
24A-3		24D-3	
24A-4		24D-4	
24A-5		24D-5	
24A-6		24D-6	
24A-7		24D-7	
24A-8		24D-8	
24A-9		24D-9	
24A-10		24D-10	
24A-11		24D-11	
24A-12		24D-12	
24A-13		24D-13	
24A-14		24D-14	
24A-15		24D-15	
Media		Media	
Promedio de reducción del recuento de colonias			

Tabla 2. Recuento de colonias de 15 órganos dentales inoculados con *Enterococcus faecalis* cepa ATCC:29212 e irrigadas con NaOCl al 5.25% a una temperatura de 36°C.

Antes de la Irrigación con NaOCl 5.25%	**Recuento de UFC/ml**	**Después de la Irrigación con NaOCl 5.25%**	**Recuento de UFC/ml**
36A-1		36D-1	
36A-2		36D-2	
36A-3		36D-3	
36A-4		36D-4	
36A-5		36D-5	
36A-6		36D-6	
36A-7		36D-7	
36A-8		36D-8	
36A-9		36D-9	
36A-10		36D-10	
36A-11		36D-11	
36A-12		36D-12	
36A-13		36D-13	
36A-14		36D-14	
36A-15		36D-15	
Media		**Media**	
Promedio de reducción del recuento de colonias			



Apéndice C
Aval de Autorización para el uso del Instrumento

Managua, Nicaragua, 21 de mayo de 2026

Maestro Francisco Herrera Montenegro
Director de Posgrado
Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA)

Estimado Maestro Herrera:

Por este medio, yo, Dra. Ana Cecilia Baldizón especialista en endodoncia y tutora de tesis de la maestranda Dra. Diana Laura Hernández Castellón, con carnet universitario número 1004033, hago constar que he realizado la revisión metodológica y científica del instrumento de recolección de datos correspondiente al trabajo de investigación titulado:

"Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua de enero a mayo de 2026", perteneciente al Programa de Especialidad en Endodoncia y Microcirugía (4ª Edición).

Después de evaluar la estructura, coherencia metodológica, variables, indicadores y pertinencia científica del instrumento, se considera que este cumple con los criterios académicos y metodológicos necesarios para su aplicación en el desarrollo de la investigación. Asimismo, el instrumento se encuentra alineado con los objetivos general y específicos del estudio, permitiendo la recolección sistemática y objetiva de los datos experimentales relacionados con el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* expuestas al hipoclorito de sodio a diferentes temperaturas.

En consecuencia, en mi calidad de tutora de tesis, apruebo y doy aval al instrumento de recolección de datos presentado por la maestranda, siendo este el instrumento oficial que será utilizado durante la ejecución del estudio investigativo antes mencionado.

Sin más a que hacer referencia, extiendo la presente carta aval para los fines académicos correspondientes.

Atentamente



Dra. Ana Cecilia Baldizón
Cédula de identidad No. 281-101171-0005A
Tutora de Tesis

14.2 Anexos

Anexo A

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE PUBLICACIÓN

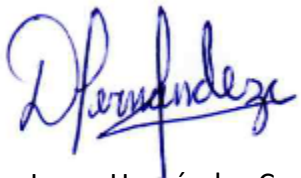
Yo, Diana Laura Hernández Castellón con cédula de identidad 321-120994-0003K, egresada del programa académico de Posgrado, en la especialidad de Endodoncia y Microcirugía declaro que:

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 Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA).

Así mismo, autorizo a UNICA por este medio, publicar la versión aprobada de mi trabajo de investigación, bajo el título *Efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra Enterococcus faecalis en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, Laboratorio Sagrada Familia, Managua, de enero a mayo de 2026,* 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 en aumentar la producción científica. Para constancia de lo expuesto anteriormente, se firma la presente declaración en la ciudad de Managua, Nicaragua a los 11 días del mes de agosto de 2026.

Atentamente,



Diana Laura Hernández Castellón
dhernandez16@unica.edu.ni

Anexo B

Constancia de capacidad técnica y científica para el desarrollo del estudio solicitado por la doctora Diana Laura Hernández Castellón

Laboratorio Clínico Sagrada Familia hace constar que es una institución dedicada al área diagnostica clínica y microbiológica, funcionando desde el año 2006 brindando servicios profesionales de laboratorio con estándares de calidad y responsabilidad.

Asimismo, certificamos que el proceso Microbiológico correspondiente al estudio solicitado para fines de tesis especialista en Endodoncia y microcirugía de la estudiante Diana Laura Hernández Castellón de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), fue efectuado bajo la supervisión y responsabilidad de los siguientes profesionales.

- Bayardo José González Morales con registro MINSA 15835.
  Máster en Hematología Clínica
  Máster en Educación superior con énfasis en curriculum por competencia
  Licenciado en Microbiología
  Licenciado en Bioanálisis Clínico
  Con posgrado en espermograma

- Fátima Indiana Reyes Baltodano con registro MINSA 16936.
  Máster en Hematología Clínica
  Licenciada en Microbiología
  Licenciada en Bioanálisis Clínico
  Con posgrado en cito morfología hematológica

El área de Microbiología del laboratorio cuenta con las condiciones equipos, materiales, reactivos e infraestructura necesaria para la realización adecuada de este tipo de estudios microbiológicos, incluyendo equipos, cepas bacteriológicas con certificación ATCC e insumos necesarios para garantizar el correcto procesamiento y análisis de las muestras.

Por tanto, el Laboratorio Clínico Sagrada Familia posee la capacidad técnica, profesional y estructural necesaria para la ejecución de estudios microbiológicos relacionados con investigaciones académicas y científicas.

Y para los fines que se estime conveniente, se extiende la presente a los 08 días del mes de mayo del 2026.

MSc. Bayardo José González Morales
Laboratorio Clínico Sagrada Familia

MSc. Fátima Indiana Reyes Baltodano
Laboratorio Clínico Sagrada Familia

Anexo C
Protocolo Normatizado de Trabajo

A solicitud de la Dra. Diana Laura Hernández, para efectos de investigación, cuyo objetivo propuesto es **Evaluar el efecto de la variación de temperatura en la acción antimicrobiana del hipoclorito de sodio contra *Enterococcus faecalis* en conductos radiculares de órganos dentales extraídos, en Laboratorio Sagrada Familia, Managua durante enero a mayo de 2026.**

1. **Fase preanalítica:**
   1.1. Recepción de muestras biológicas.
      1.1.1. Recepción de dos recipientes con 15 organos dentales respectivamente cada uno y rotulados con la leyenda:

Hipoclorito de sodio a 24 ^{0}C **15 órganos dentales**	**Hipoclorito de sodio a 36 ^{0}C** **15 órganos dentales**

2. **Fase Analítica:**
   2.1. Procedimiento microbiológico.

      2.1.1. <u>Preparación de medio de cultivo de caldo Infusión Cerebro Corazón (BHI)</u>
         2.1.1.1. Suspender 7.4g de BHI en 200 ml de agua destilada.
         2.1.1.2. Colocar inmediatamente el Erlenmeyer tapado al hot plate, previamente calentado a una temperatura mayor a 400 ^{0}C., calentar hasta la ebullición, con agitación frecuente, para disolver el medio por completo.
         2.1.1.3. Agregar a cada recipiente que contienen los órganos dentales aproximadamente 100 ml del medio de BHI (el medio debe cubrir por completo los órganos dentales)
         2.1.1.4. Autoclavear a 121^{0}C/15 minutos.
         2.1.1.5. Sacar de la autoclave, enfriar hasta 37 ^{0}C en baño maría
         2.1.1.6. Incubar a 37 ^{0}C / 48 horas.

      2.1.2. <u>Infección de los órganos dentales con E. faecalis</u>
         2.1.2.1. Inocular 60 μL (microlitros) de suspensión de E. faecalis ATCC: 29212 a escala de McFarland 0.5 a cada recipiente.
         2.1.2.2. Incubar los recipientes por 7 días a 37 ^{0}C. (hacer cambio de BHI cada 48 horas)

      2.1.3. <u>Muestreo microbiológico por órgano dental.</u>
         2.1.3.1. Preparar solución estéril (Caldo BHI) en 60 tubos estéril (se usarán 30 antes de la irrigación y 30 post irrigación con NaOCl 5.25%)

2.1.3.2. Antes de irrigar con NaOCl al 5.25%, a diferentes temperaturas, obtener muestra del conducto dental con punta de papel estéril (cono de papel 30 taper 04) para los 30 órganos dentales.

2.1.3.2.1. Agregar punta de papel estéril a cada tubo con solución estéril.
2.1.3.2.2. Rotular. (24A-1 al 15, y 36A-1 al 15)
2.1.3.2.3. Reposar por 30 minutos
2.1.3.2.4. Agitar en vórtex antes de hacer diluciones seriadas.

2.1.3.3. Después de irrigar con NaOCl 5.25%, obtener muestra del conducto dental con punta de papel estéril (cono de papel 30 taper 04) para los 30 órganos dentales (15 recipiente con NaOCl 5.25% a 24 ^{0}C y 15 recipiente con NaOCl 5.25% a 36 ^{0}C).

2.1.3.3.1. Agregar punta de papel estéril a cada tubo con solución estéril.
2.1.3.3.2. Rotular. (24D-1 al 15, y 36D-1 al 15)
2.1.3.3.3. Reposar por 30 minutos
2.1.3.3.4. Agitar en vórtex antes de hacer diluciones seriadas.

2.1.4. <u>Recuento de unidades formadoras de colonias (UFC)</u>

2.1.4.1. Realizar diluciones seriadas para los 60 tubos. (procedimiento para cada uno de los 60 tubos.

2.1.4.1.1. Tomar 1ml del tubo que contiene la punta y agregar en tubo que contiene 9 ml de solución NaOCl 0.85% (dilución 10^{-1})
2.1.4.1.2. Tomar de la dilución 10^{-1}, 1 mL y agregar en tubo que contiene 9 ml de solución de NaOCl 0.85% (dilución 10^{-2}).
2.1.4.1.3. Hacerlo sucesivamente hasta llegar a la dilución 10^{-5}
2.1.4.1.4. De cada dilución, tomar 100 μL y depositarlo en la superficie del plato Petri que contiene agar BHI solidificado. La siembra se hace por duplicado.
2.1.4.1.5. Extender la muestra en toda la superficie del medio. Rotular.
2.1.4.1.6. Incubar a 37 ^{0}C / 48 horas.

2.1.4.2. Para el recuento, seleccionar los platos que contengan un numero de colonia entre 30 y 300

2.1.4.2.1. Anotar el número de colonias contada

2.1.4.3. Expresar los resultados como UFC/mL

Anexo D

Cronograma para el procesamiento de los órganos dentales, in vitro, según el protocolo Normatizado de trabajo propuesto

	V 17	M 21	M 22	J 23	V 24	S 25	D 26	L 27	M 28	M 29	J 30	V 01	S 02	D 03	L 04
1.Recepción de muestras biológicas. (1.1.1.)	X														
2. Incubación de muestras biológicas con medio de BHI a 37 °C / 48 horas. (2.1.1.6.)		X	X												
3. Infección de las piezas dentales con *E. faecalis* (2.1.2.)				X	X	X	X	X	X	X					
4. Antes de irrigar con hipoclorito de sodio, obtener muestra del conducto dental con punta de papel estéril (2.1.3.2.)											X				
5. Después de irrigar con hipoclorito de sodio, obtener muestra del conducto dental con punta de papel estéril. (2.1.3.3.)											X				
6. Realizar diluciones seriadas para los 60 tubos. Incubar a 37 °C / 48 horas. (2.1.4.1)											X	X			
7. Recuento de colonias													X	X	
8. Informe de resultados															X

Anexo E

Reporte de resultados del recuento de colonias

Tabla No. 1. Recuento de colonias de 15 órganos dentales inoculados con *Enterococcus faecalis* cepa ATCC:29212 e irrigadas con NaOCl al 5.25% a una temperatura de 24°C.

	Antes de la Irrigación con NaOCl 5.25%	Recuento de UFC/ml	Después de la Irrigación con NaOCl 5.25%	Recuento de UFC/ml
	24A-1	5100	24D-1	790
	24A-2	3900	24D-2	680
	24A-3	5500	24D-3	850
	24A-4	6300	24D-4	680
	24A-5	2900	24D-5	710
	24A-6	4900	24D-6	900
	24A-7	3900	24D-7	720
	24A-8	5000	24D-8	770
	24A-9	4800	24D-9	840
	24A-10	3800	24D-10	930
	24A-11	5600	24D-11	730
	24A-12	3000	24D-12	920
	24A-13	5900	24D-13	690
	24A-14	4300	24D-14	710
	24A-15	4500	24D-15	800
	Media	4626..67	Media	781.33
Promedio de reducción del recuento de colonias				83.11%

Tabla No. 2. Recuento de colonias de 15 órganos dentales inoculados con *Enterococcus faecalis* cepa ATCC:29212 e irrigadas con NaOCl al 5.25% a una temperatura de 36°C.

	Antes de la Irrigación con NaOCl 5.25%	Recuento de UFC/ml	Después de la Irrigación con NaOCl 5.25%	Recuento de UFC/ml
	36A-1	4200	36D-1	380
	36A-2	3700	36D-2	420
	36A-3	4300	36D-3	250
	36A-4	4900	36D-4	540
	36A-5	3800	36D-5	350
	36A-6	4200	36D-6	300
	36A-7	5000	36D-7	460
	36A-8	4300	36D-8	540
	36A-9	5100	36D-9	380
	36A-10	3700	36D-10	500
	36A-11	4900	36D-11	380
	36A-12	4800	36D-12	370
	36A-13	4100	36D-13	490
	36A-14	4500	36D-14	210
	36A-15	3900	36D-15	390
	Media	**4360**	**Media**	**397.33**
Promedio de reducción del recuento de colonias				**90.88%**