



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Odontología

Escuela Profesional de Odontología

**Evaluación in vitro del incremento térmico radicular generado por una
lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación en terapia
fotodinámica endodóntica - Arequipa 2026**

Tesis presentada por:

Valdivia Amesquita, Bryam

ORCID: 0009-0000-2379-5094

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesora:

Dra. Castro Nuñez, Gabriela Mariana

ORCID: 0000-0002-2586-541X

Arequipa - Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 13 de Junio del 2026

Dictamen: 017850-C-EPO-2026

Visto el borrador del expediente 017850, presentado por:

2021405311 - VALDIVIA AMESQUITA BRYAM

Titulado:

**EVALUACIÓN IN VITRO DEL INCREMENTO TÉRMICO RADICULAR GENERADO POR UNA
LÁMPARA LED DE FOTOCURADO COMO POSIBLE FUENTE DE ACTIVACIÓN EN TERAPIA
FOTODINÁMICA ENDODÓNTICA - AREQUIPA 2026**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**06292199 - DE LOS RIOS FERNANDEZ ENRIQUE MANUEL
DICTAMINADOR**



**29714707 - QUIROZ HUERTA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**29649041 - ZEVALLOS CHAVEZ MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN IN VITRO DEL INCREMENTO TÉRMICO RADICULAR GENERADO POR UNA LÁMPARA LED DE FOTOCURADO COMO POSIBLE FUENTE DE ACTIVACIÓN EN TERAPIA FOTODINÁMICA ENDODÓNTICA - AREQUIPA 2026

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

3%

2

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

www.researchgate.net

Fuente de Internet

1%

4

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

5

pt.scribd.com

Fuente de Internet

1%

6

www.medigraphic.com

Fuente de Internet

<1%

7

pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Fuente de Internet

<1%



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi papá y a mi mamá, por su amor incondicional, su sacrificio constante y por ser el pilar fundamental que ha sostenido cada etapa de mi formación personal y académica. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la constancia y la perseverancia.

A mi hermano, por su alegría, positivismo y apoyo sincero, que han sido una fuente permanente de motivación y fortaleza a lo largo de este camino.

Y a mi tío, por su respaldo incondicional, sus consejos y su presencia constante, que han marcado de manera significativa mi crecimiento personal y profesional.

Este logro está dedicado a ustedes, porque su amor, guía y apoyo han sido esenciales para hacerlo posible.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, Edwin, y a mi madre, Kattherine, por haber sido siempre mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Gracias por cada sacrificio realizado, por creer en mí incluso en los momentos de duda y por enseñarme, con su ejemplo, el valor de la responsabilidad, la perseverancia y el esfuerzo. Cada logro alcanzado es también fruto de su dedicación y del amor con el que me han acompañado a lo largo de mi vida.

De manera especial, agradezco a mi padre Edwin por ser un ejemplo de trabajo, compromiso y fortaleza. Gracias por enseñarme que las metas se alcanzan con constancia y disciplina, y por brindarme siempre tu apoyo incondicional. Tus consejos y tu ejemplo han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional.

A mi madre Kattherine, por su amor inagotable, su paciencia y su apoyo constante. Gracias por estar presente en cada momento importante de mi vida, por darme ánimo cuando más lo necesitaba y por ser ese refugio seguro al que siempre puedo acudir. Tu confianza en mí ha sido una de las mayores motivaciones para seguir adelante.

A mi hermano Valentino, por llenar cada etapa de mi vida con su alegría, optimismo y energía positiva. Gracias por recordarme constantemente la importancia de sonreír aun en los momentos difíciles y por motivarme, con tu forma de ser, a seguir adelante con entusiasmo y esperanza.

A mi tío Denis, por su apoyo, confianza y acompañamiento a lo largo de este proceso. Gracias por tus consejos, por creer en mis capacidades y por brindarme siempre palabras de aliento que me impulsaron a continuar trabajando por mis objetivos.

A mis amigos, por acompañarme durante esta etapa universitaria, por compartir momentos de aprendizaje, esfuerzo y crecimiento. Gracias por su amistad sincera, por su apoyo en los momentos de mayor exigencia y por hacer que este camino estuviera lleno de experiencias y recuerdos valiosos.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro, que hoy culmina una etapa significativa de mi vida y marca el inicio de nuevos desafíos y oportunidades.



EPÍGRAFE

"No siempre es posible ver el final del camino, pero siempre es posible dar un paso más."

RESUMEN

La terapia fotodinámica (TFD) ha sido propuesta como una alternativa complementaria para mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares. Sin embargo, uno de los aspectos que requiere evaluación es la seguridad térmica de las fuentes de luz utilizadas para su activación. El objetivo de la presente investigación fue evaluar in vitro el incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado utilizada como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica. Se realizó un estudio experimental, transversal y comparativo utilizando 27 dientes unirradiculares bovinos distribuidos en tres grupos experimentales (n=9), sometidos a irradiación LED durante 30, 60 y 120 segundos. La temperatura radicular fue registrada mediante termopares tipo K conectados a un sistema de adquisición de datos, calculándose el incremento térmico a partir de la diferencia entre la temperatura inicial y final. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de Games-Howell con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados mostraron incrementos térmicos promedio de $1,23 \pm 0,64$ °C para 30 segundos, $3,24 \pm 1,04$ °C para 60 segundos y $5,11 \pm 1,05$ °C para 120 segundos. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre todos los grupos evaluados ($p < 0,05$), evidenciando una relación directamente proporcional entre el tiempo de exposición y el incremento térmico radicular. No obstante, ningún grupo superó el límite de seguridad biológica de 10 °C descrito en la literatura científica. Se concluyó que la lámpara LED de fotocurado produjo incrementos térmicos dependientes del tiempo de irradiación, manteniéndose dentro de parámetros biológicamente seguros para los tejidos perirradiculares, por lo que podría considerarse una alternativa potencialmente segura como fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica.

Palabras clave: terapia fotodinámica, lámpara LED, incremento térmico radicular.

ABSTRACT

Photodynamic therapy (PDT) has been proposed as a complementary approach to improve root canal system disinfection. However, the thermal safety of the light sources used for its activation remains an important concern. The aim of this study was to evaluate, *in vitro*, the root surface temperature increase generated by an LED curing light used as a potential activation source for endodontic photodynamic therapy. An experimental, cross-sectional, and comparative study was conducted using 27 single-rooted bovine teeth divided into three experimental groups (n=9), exposed to LED irradiation for 30, 60, and 120 seconds. Root temperature was recorded using K-type thermocouples connected to a data acquisition system, and the thermal increase was calculated as the difference between initial and final temperatures. Data were analyzed using descriptive statistics, one-way ANOVA, and Games-Howell post hoc tests with a significance level of 0.05. The results showed mean temperature increases of 1.23 ± 0.64 °C for 30 seconds, 3.24 ± 1.04 °C for 60 seconds, and 5.11 ± 1.05 °C for 120 seconds. Statistically significant differences were found among all experimental groups ($p < 0.05$), demonstrating a direct relationship between irradiation time and root surface temperature increase. Nevertheless, none of the groups exceeded the biological safety threshold of 10 °C reported in the scientific literature. It was concluded that the LED curing light produced time-dependent temperature increases that remained within biologically safe limits for periradicular tissues, suggesting that it may be considered a potentially safe activation source for endodontic photodynamic therapy.

Keywords: photodynamic therapy, LED curing light, root temperature increase.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN: 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO 3

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 4

1. Determinación del Problema: 4

2. Pregunta de Investigación: 6

3. Justificación: 6

4. Objetivos: 7

5. Marco Conceptual y Antecedentes Investigativos: 8

1. Endodoncia y persistencia microbiana..... 8

2. Terapia fotodinámica (TFD) en odontología 8

3. Curcumina como fotosensibilizador natural 9

4. Fuentes de luz en terapia fotodinámica..... 9

5. Evaluación térmica en endodoncia..... 10

6. Antecedentes Investigativos: 10

7. Hipótesis:..... 13

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL..... 14

TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN 15

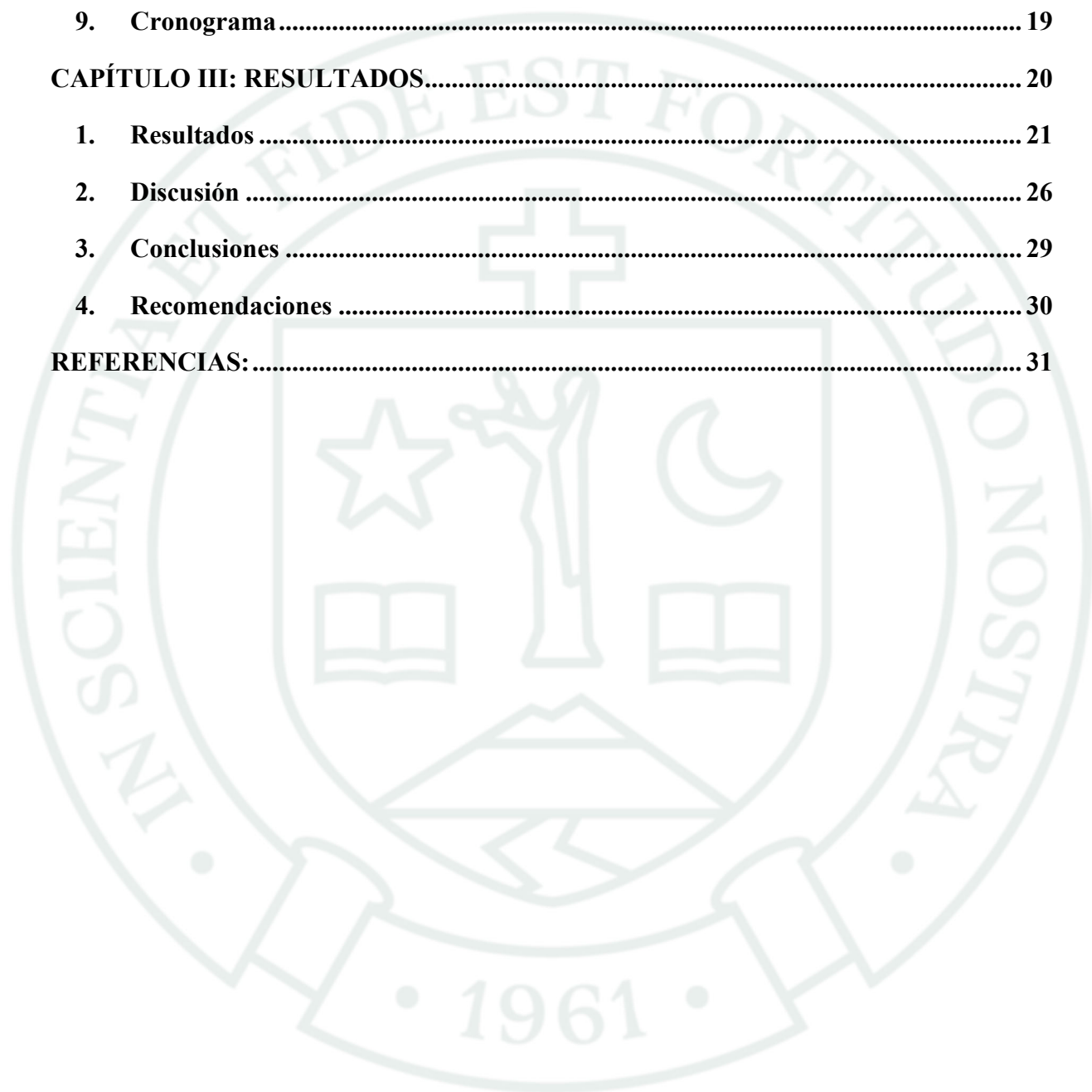
1. Diseño Metodológico:..... 15

2. Muestra: 15

3. Tabla de Variables 16

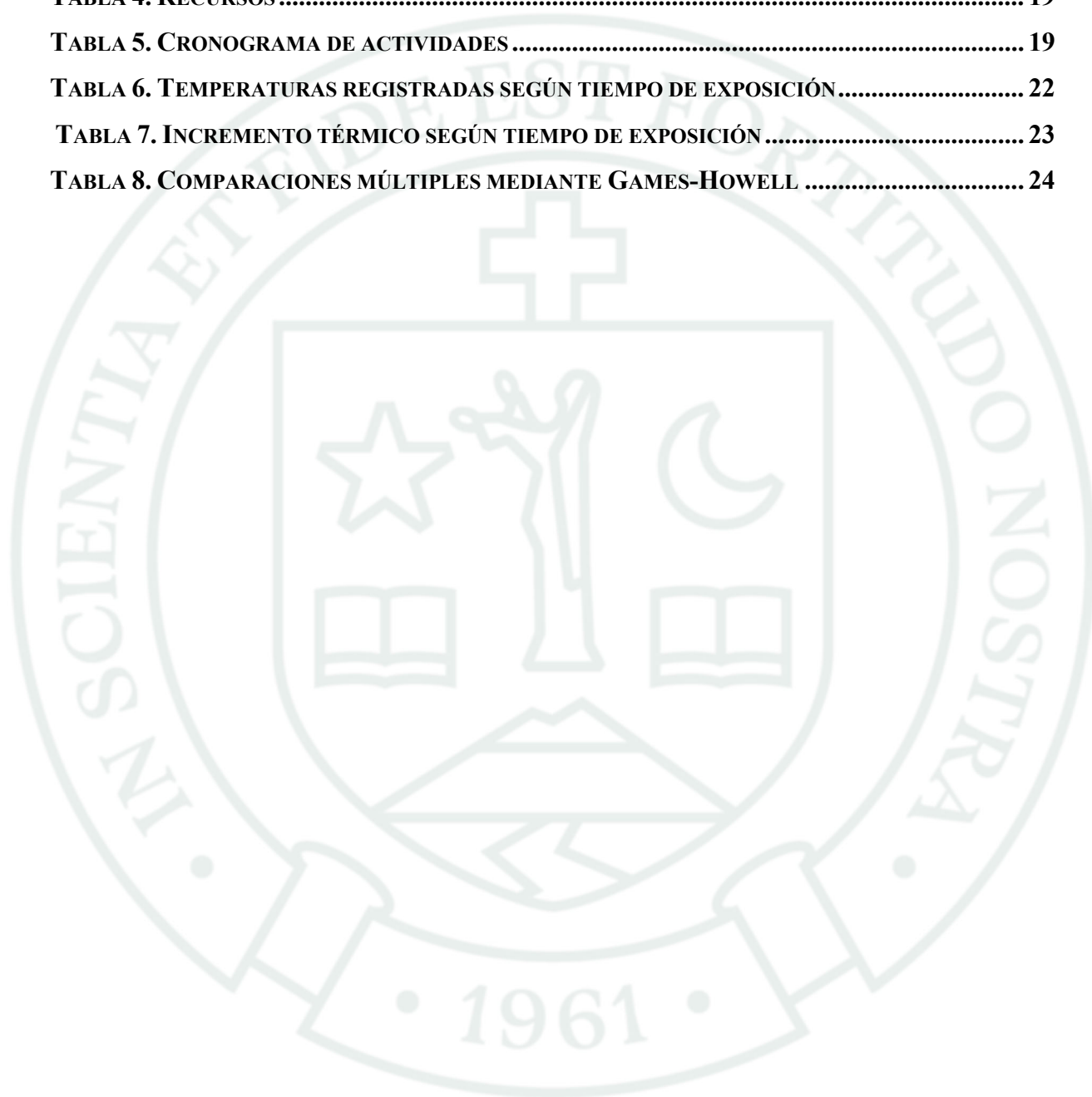
4. Técnicas y Procedimientos..... 16

5.	Plan de Análisis.....	17
6.	Instrumento de recolección de datos	18
7.	Consideraciones Éticas	18
8.	Recursos	18
9.	Cronograma	19
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....		20
1.	Resultados	21
2.	Discusión	26
3.	Conclusiones	29
4.	Recomendaciones	30
REFERENCIAS:		31



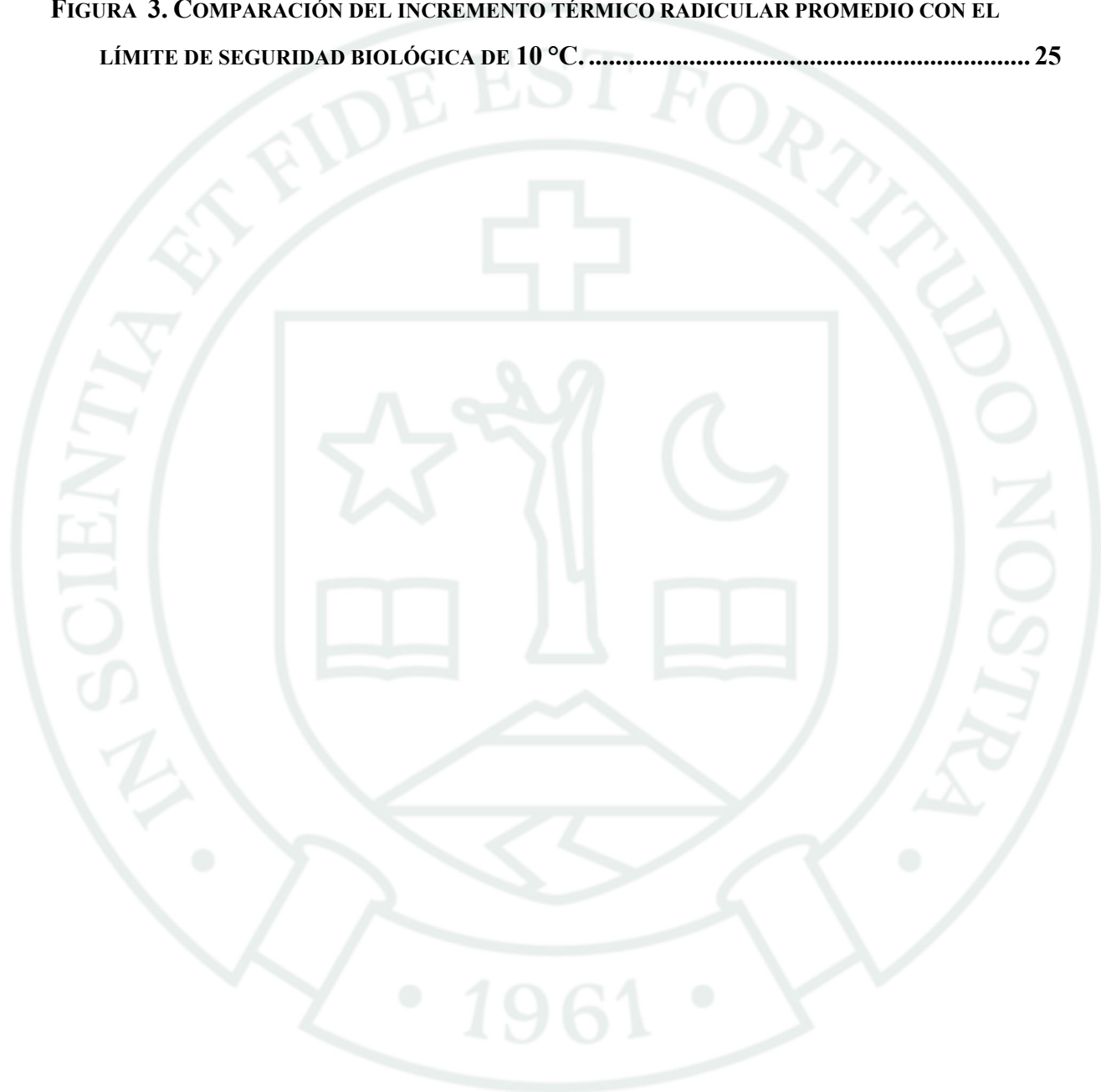
ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRUPOS EXPERIMENTALES	16
TABLA 2. VARIABLES.....	16
TABLA 3. RECOLECCIÓN DE DATOS	18
TABLA 4. RECURSOS	19
TABLA 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	19
TABLA 6. TEMPERATURAS REGISTRADAS SEGÚN TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....	22
TABLA 7. INCREMENTO TÉRMICO SEGÚN TIEMPO DE EXPOSICIÓN	23
TABLA 8. COMPARACIONES MÚLTIPLES MEDIANTE GAMES-HOWELL	24



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TEMPERATURA FINAL PROMEDIO SEGÚN TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....	22
FIGURA 2. INCREMENTO TÉRMICO PROMEDIO SEGÚN TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....	23
FIGURA 3. COMPARACIÓN DEL INCREMENTO TÉRMICO RADICULAR PROMEDIO CON EL LÍMITE DE SEGURIDAD BIOLÓGICA DE 10 °C.....	25



INDICE DE ANEXOS

ANEXOS.....	33
ANEXO N°1 VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS	34
ANEXO N°2 BASE DE DATOS	41
ANEXO N°3 ANOVA DE MEDIDAS REPETIDAS Y PRUEBA POST HOC TUKEY PARA LAS TEMPERATURAS REGISTRADAS SEGÚN TIEMPO DE EXPOSICIÓN	43
ANEXO N°4 ANOVA DE UNA VIA Y PRUEBA POST HOC GAMES HOWELL PARA EL INCREMENTO TÉRMICO RADICULAR	45
.....	46
ANEXO N°5 MATRIZ DE DATOS UTILIZADOS PARA ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	47
.....	48
ANEXO N°6 EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	49
ANEXO N°7 DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA.....	51

INTRODUCCIÓN

La desinfección completa del sistema de conductos radiculares continúa siendo uno de los principales desafíos en la endodoncia moderna. A pesar de los avances en las técnicas de instrumentación y los protocolos de irrigación, la persistencia de microorganismos resistentes como *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* sigue siendo una de las causas más frecuentes de fracaso endodóntico (1). Estos microorganismos poseen la capacidad de sobrevivir en los túbulos dentinarios y formar biofilms que limitan la acción de los agentes antimicrobianos convencionales, favoreciendo infecciones persistentes y retratamientos clínicamente complejos (2). Por ello, resulta necesario desarrollar métodos complementarios que mejoren la descontaminación de los conductos radiculares sin comprometer la estructura dentaria ni los tejidos periapicales.

En este contexto, diversos estudios han señalado el potencial de la terapia fotodinámica (TFD) como una alternativa antimicrobiana eficaz y biocompatible. Esta técnica combina un fotosensibilizador, una fuente de luz visible y oxígeno molecular para generar especies reactivas de oxígeno capaces de destruir microorganismos mediante daño oxidativo (1,3). A diferencia de los antibióticos convencionales, la TFD presenta un amplio espectro de acción y no induce resistencia bacteriana, demostrando efectividad frente a bacterias grampositivas, gramnegativas y hongos (4). Asimismo, investigaciones desarrolladas en odontología han evidenciado su utilidad para la desinfección de conductos radiculares, bolsas periodontales y lesiones cariosas incipientes (3–5).

Entre los diferentes fotosensibilizadores empleados en terapia fotodinámica, la curcumina ha despertado un interés creciente debido a su origen natural, bajo costo, biocompatibilidad y espectro de absorción entre 400 y 480 nm, compatible con la luz emitida por las lámparas LED odontológicas (5–7). La curcumina, derivada de *Curcuma longa*, ha mostrado una elevada capacidad fotodinámica y un efecto antibacteriano significativo cuando es activada mediante luz LED azul. Estudios realizados por Santezi et al. (7) y de Oliveira et al. (8) reportaron reducciones superiores al 90 % de *E. faecalis* sin producir alteraciones térmicas relevantes en la cámara pulpar. Estos hallazgos sugieren que la activación de curcumina mediante dispositivos LED de uso clínico podría constituir una alternativa viable a colorantes sintéticos

como el azul de metileno o la eritrosina, preservando la integridad del ligamento periodontal y manteniendo niveles seguros de temperatura.

La elección de las lámparas LED odontológicas para la activación de la terapia fotodinámica se fundamenta en su amplia disponibilidad clínica, potencia regulable y longitud de onda adecuada para la activación de la curcumina (10,11). Sin embargo, el control térmico continúa siendo una variable crítica, ya que incrementos de temperatura superiores a 10 °C pueden ocasionar daños irreversibles en tejidos óseos y dentinarios (12). En consecuencia, resulta indispensable evaluar la seguridad térmica de estos dispositivos cuando son utilizados como fuente de activación en procedimientos fotodinámicos endodónticos.

Por tanto, la presente investigación propone evaluar in vitro el incremento térmico radicular generado durante la terapia fotodinámica mediante una lámpara LED odontológica de fotocurado. La evaluación térmica se realizará utilizando termopares tipo K, instrumentos ampliamente validados en investigaciones previas sobre seguridad térmica durante procedimientos de irradiación con láser y LED (15,16). La metodología será diseñada para simular condiciones clínicas reales, considerando variables como el tiempo de exposición, la distancia de aplicación y la concentración del fotosensibilizador.

Finalmente, este estudio se enmarca en la necesidad de determinar la seguridad térmica del uso de lámparas LED de fotocurado en terapia fotodinámica. Los resultados permitirán establecer una base científica sólida para el empleo seguro y eficaz de este tipo de dispositivos como activadores de terapia fotodinámica en endodoncia, contribuyendo al desarrollo de terapias menos invasivas, sostenibles y accesibles para la práctica odontológica.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1. Determinación del Problema:

La desinfección completa del sistema de conductos radiculares representa un desafío clínico persistente en la endodoncia contemporánea. A pesar del uso combinado de instrumentación mecanizada, irrigantes químicos y medicamentos intraconducto, se ha comprobado que microorganismos como *Enterococcus faecalis* pueden resistir estos procedimientos, penetrar en los túbulos dentinarios y mantener infecciones persistentes (1,2). Esta resistencia microbiana se asocia con la capacidad de formar biofilms densos y de sobrevivir en condiciones de bajo pH, lo que explica la alta tasa de fracasos en tratamientos endodónticos convencionales (3,4). Por tanto, la búsqueda de estrategias complementarias que mejoren la descontaminación sin comprometer los tejidos periapicales es una prioridad en investigación odontológica.

En este contexto, la terapia fotodinámica (TFD) ha emergido como una herramienta prometedora para la desinfección del sistema de conductos. Este método se basa en la activación de un fotosensibilizador por una fuente de luz visible, que genera especies reactivas de oxígeno con capacidad citotóxica sobre microorganismos patógenos (5,6). En endodoncia, la TFD se ha propuesto como coadyuvante de la irrigación convencional, con resultados positivos en la reducción de bacterias resistentes como *E. faecalis*, incluso en regiones de difícil acceso mecánico (7). Sin embargo, la aplicación de esta técnica requiere evaluar cuidadosamente la energía lumínica utilizada, ya que un exceso de irradiación podría elevar la temperatura dentro del conducto radicular y causar daño térmico en el ligamento periodontal y el hueso alveolar (8,9).

La literatura disponible ha reportado que un incremento de temperatura mayor a 10 °C en la superficie radicular puede inducir necrosis del ligamento periodontal y reabsorción ósea (10). En estudios in vitro, Eriksson y Albrektsson determinaron que elevaciones térmicas mantenidas por encima de ese límite generan daño irreversible en tejidos óseos, siendo este valor considerado el umbral biológico seguro (12). En este sentido, diversos autores han evaluado los efectos térmicos generados por fuentes de luz láser, LED y halógenas utilizadas en odontología (11,13). Si bien los sistemas láser y LED han mostrado variaciones térmicas mínimas, se ha enfatizado la necesidad de verificar empíricamente que los dispositivos LED de fotocurado

empleados en clínicas no superen dichos límites durante procedimientos fotodinámicos (14–16).

Por otra parte, el uso de fotosensibilizadores naturales como la curcumina ha cobrado relevancia por su bajo costo, biocompatibilidad y afinidad espectral con la luz azul emitida por lámparas LED odontológicas (≈ 450 nm) (7,8). Diversas investigaciones han demostrado que la curcumina, al ser activada por luz LED, posee una efectiva acción antimicrobiana frente a microorganismos endodónticos, logrando reducciones superiores al 90 % de la carga bacteriana sin generar aumentos térmicos significativos en la dentina (7,8,14). No obstante, la mayoría de estos estudios se han enfocado en el efecto bactericida, dejando insuficientemente explorada la magnitud del incremento térmico radicular que podría presentarse durante la activación fotodinámica en condiciones simuladas de práctica clínica.

En consecuencia, existe una brecha de conocimiento en torno al comportamiento térmico de la terapia fotodinámica basada en curcumina cuando se utiliza una lámpara LED de fotocurado, equipo de uso rutinario en odontología restauradora. La falta de evidencia experimental sobre el aumento de temperatura radicular generado durante la irradiación representa un vacío importante, considerando que una exposición prolongada o intensa podría poner en riesgo la seguridad del procedimiento. Evaluar este parámetro resulta fundamental para establecer protocolos clínicos seguros y eficaces que permitan implementar la terapia fotodinámica como complemento en el tratamiento endodóntico.

En los últimos años, la terapia fotodinámica ha sido incorporada en endodoncia como una alternativa para mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares. Diversos estudios han evaluado principalmente su eficacia antimicrobiana; sin embargo, existe escasa información sobre el posible incremento de temperatura que podría generarse en la superficie radicular durante la activación del fotosensibilizador mediante lámparas LED de fotocurado. Este aspecto resulta importante, ya que un aumento excesivo de la temperatura podría ocasionar alteraciones o daños en los tejidos periodontales. En este contexto, surge la necesidad de evaluar el incremento térmico en la superficie radicular producido por una lámpara LED de fotocurado durante la terapia fotodinámica en dientes unirradiculares bovinos.

2. Pregunta de Investigación:

- ¿Cuál es el incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado al ser utilizada como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica, en un modelo in vitro?

3. Justificación:

La desinfección eficaz del sistema de conductos radiculares continúa siendo uno de los principales desafíos en la práctica endodóntica. A pesar de los avances en técnicas de instrumentación e irrigación, diversos estudios han demostrado que microorganismos resistentes como *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* pueden persistir en los túbulos dentinarios y en estructuras anatómicas complejas del sistema radicular, contribuyendo al fracaso del tratamiento endodóntico (1,2). Esta persistencia microbiana ha impulsado la búsqueda de métodos complementarios que permitan mejorar la descontaminación del conducto radicular.

En este contexto, la terapia fotodinámica (TFD) ha sido propuesta como una alternativa antimicrobiana eficaz y biocompatible en odontología. Este procedimiento combina un fotosensibilizador, una fuente de luz y oxígeno molecular para producir especies reactivas de oxígeno capaces de destruir microorganismos mediante procesos de oxidación celular (1,3). Diversos estudios han demostrado que la TFD posee actividad antimicrobiana frente a bacterias grampositivas, gramnegativas y hongos, además de presentar la ventaja de no generar resistencia bacteriana, lo que la convierte en una herramienta prometedora como complemento en la desinfección endodóntica (3–5).

Entre los fotosensibilizadores investigados en odontología, la curcumina ha despertado un creciente interés debido a su origen natural, biocompatibilidad, bajo costo y propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias. Además, presenta un espectro de absorción de luz entre 400 y 480 nm, rango que coincide con la emisión de las lámparas LED utilizadas comúnmente en procedimientos odontológicos, lo que permite su activación mediante equipos clínicamente disponibles (5–7).

Sin embargo, uno de los aspectos menos estudiados en la aplicación de la terapia fotodinámica en endodoncia es el posible incremento térmico generado durante la irradiación lumínica. El

aumento de temperatura en la superficie radicular podría representar un riesgo biológico para los tejidos periodontales si se superan los límites de seguridad establecidos experimentalmente, los cuales señalan que incrementos mayores a 10 °C pueden producir daño irreversible en el hueso alveolar (8).

En este sentido, evaluar el comportamiento térmico generado por las lámparas LED de fotocurado utilizadas como fuente de activación en terapia fotodinámica resulta fundamental para determinar la seguridad de su aplicación clínica. Considerando que estos dispositivos están ampliamente disponibles en consultorios odontológicos, la presente investigación busca evaluar in vitro el incremento térmico radicular producido por una lámpara LED durante su posible utilización en terapia fotodinámica endodóntica. Los resultados permitirán aportar evidencia científica sobre la seguridad térmica de este procedimiento y contribuir al establecimiento de parámetros adecuados para su aplicación en la práctica clínica.

4. Objetivos:

Objetivo General:

Evaluar el incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado al ser utilizada como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica, en un modelo in vitro.

1.1 Objetivos Específicos:

- Registrar la variación de temperatura radicular mediante el uso de termopares tipo K conectados a un sistema de adquisición de datos (datalogger) antes, durante y después de la irradiación.
- Comparar los valores de temperatura obtenidos con los límites de seguridad biológica establecidos (≤ 10 °C), según los criterios de Eriksson y Albrektsson [12].
- Analizar los resultados estadísticamente para determinar si el incremento térmico generado por terapia fotodinámica se mantiene dentro de los márgenes biológicamente seguros.

5. Marco Conceptual y Antecedentes Investigativos:

1. Endodoncia y persistencia microbiana

El tratamiento endodóntico tiene como finalidad eliminar los microorganismos del sistema de conductos radiculares y prevenir la reinfección posterior (1). Sin embargo, estudios microbiológicos han demostrado que, incluso tras la instrumentación y la irrigación convencional, especies resistentes como *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* pueden persistir en los túbulos dentinarios y en los biofilms intrarradiculares (2). Estas bacterias poseen una elevada capacidad de adaptación a medios con bajo contenido nutricional y alta alcalinidad, lo que dificulta su eliminación completa y aumenta la probabilidad de fracasos clínicos (3,4).

La dificultad para erradicar por completo estos microorganismos ha motivado la búsqueda de tratamientos complementarios que potencien la desinfección sin afectar la estructura dental ni los tejidos periapicales. Entre las alternativas estudiadas destacan el uso de ultrasonido, ozonoterapia y terapia fotodinámica, siendo esta última una de las opciones más prometedoras por su alta especificidad antimicrobiana y bajo riesgo de resistencia bacteriana (5,6).

2. Terapia fotodinámica (TFD) en odontología

La terapia fotodinámica (TFD) es un procedimiento basado en la interacción entre un fotosensibilizador, una fuente de luz visible y el oxígeno molecular, lo que genera especies reactivas de oxígeno (ROS) con efecto citotóxico sobre células bacterianas (5,6). Este proceso se conoce como “fotoactivación” y ocurre cuando el fotosensibilizador absorbe la energía lumínica y transfiere electrones al oxígeno, produciendo radicales libres que destruyen estructuras celulares por oxidación (7).

En odontología, la TFD se ha aplicado en distintas áreas: periodoncia, caries incipiente, desinfección de conductos radiculares y control de infecciones periimplantarias (6,7). A diferencia de los agentes antimicrobianos tradicionales, la TFD no induce resistencia bacteriana ni altera la microbiota benigna, lo que la convierte en una alternativa biocompatible y sostenible (8). Diversos estudios han mostrado su eficacia frente a *E. faecalis*, *Streptococcus mutans* y *Candida albicans*, incluso en zonas inaccesibles a la instrumentación mecánica (7,8,14).

3. Curcumina como fotosensibilizador natural

La curcumina (diferuloilmetano) es un pigmento polifenólico derivado del rizoma de *Curcuma longa*, ampliamente reconocido por sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antibacterianas (7,8). En el contexto fotodinámico, actúa como un fotosensibilizador natural capaz de absorber luz en el rango de 400–480 nm, coincidente con la longitud de onda emitida por las lámparas LED odontológicas de fotocurado (9). Santezi et al. (7) y de Oliveira et al. (8) demostraron que la curcumina activada por LED azul logra una reducción bacteriana superior al 90 % frente a *E. faecalis*, sin producir elevaciones térmicas significativas. Estos resultados evidencian que su activación puede realizarse con equipos clínicos disponibles, sin necesidad de láseres de alta potencia. Además, al tratarse de un compuesto natural, presenta ventajas económicas y ecológicas sobre colorantes sintéticos como el azul de metileno o la eritrosina (9,14).

La eficacia de la curcumina depende de su concentración, tiempo de exposición y potencia de la fuente luminosa. Por tanto, su evaluación térmica durante la aplicación fotodinámica resulta esencial para garantizar un uso seguro y evitar efectos adversos sobre el tejido dentario o periodontal.

4. Fuentes de luz en terapia fotodinámica

Las fuentes de luz utilizadas en TFD odontológica incluyen láseres, LEDs y lámparas halógenas, cada una con características particulares de longitud de onda, potencia y penetración (11,13). Los láseres, aunque altamente efectivos, presentan limitaciones por su costo y riesgo de sobrecalentamiento. En contraste, los LEDs de fotocurado son económicos, fácilmente disponibles y poseen una longitud de onda adecuada para activar fotosensibilizadores como la curcumina (9,11).

El espectro de luz emitido por las lámparas LED odontológicas abarca principalmente el rango azul (430–490 nm), ideal para la activación de compuestos naturales. No obstante, su uso como fuente de irradiación en TFD debe evaluarse cuidadosamente, ya que incrementos de temperatura prolongados o excesivos pueden generar alteraciones en el esmalte, dentina o tejidos periapicales (10,12).

Eriksson y Albrektsson (12) establecieron que un aumento de temperatura mayor a 10 °C puede inducir necrosis del ligamento periodontal o reabsorción ósea. Por esta razón, diversos estudios in vitro han incorporado el uso de termopares tipo K y sistemas de adquisición de datos para cuantificar el incremento térmico generado por diferentes

fuentes de luz odontológica (15,16). Estos dispositivos permiten registrar variaciones de temperatura en tiempo real con alta precisión, convirtiéndose en herramientas esenciales para evaluar la seguridad de la terapia fotodinámica.

5. Evaluación térmica en endodoncia

El control térmico es un parámetro crítico en la aplicación de cualquier fuente de energía dentro del sistema de conductos radiculares. Durante los procedimientos de fotopolimerización, activación LED o aplicación de láser, el calor puede transmitirse a través de la dentina hacia la superficie radicular y, si excede el umbral de seguridad, comprometer los tejidos de soporte dental (10,12).

Rajesh et al. (13) y Elbashir et al. (15) demostraron mediante estudios experimentales que el incremento de temperatura depende de la intensidad, el tiempo de exposición y la distancia de la fuente lumínica. Además, confirmaron que los LEDs generan menos calor que las fuentes halógenas tradicionales, lo que los hace más seguros para aplicaciones prolongadas. Sin embargo, se recomienda realizar estudios específicos según el tipo de fotosensibilizador empleado, ya que su absorción energética puede modificar el comportamiento térmico durante la irradiación (16).

La evaluación de temperatura mediante termopares tipo K conectados a dataloggers permite obtener registros precisos y repetibles, indispensables para validar la seguridad del procedimiento. En este contexto, el presente estudio se plantea como una contribución científica relevante al analizar el incremento térmico radicular producido por la irradiación con una lámpara LED de fotocurado, evaluada como posible fuente de activación para terapia fotodinámica.

6. Antecedentes Investigativos:

- *“Photodynamic therapy in dentistry: An overview.”*

Autores: Wainwright M, Maisch T, Nonell S, et al.

Resumen: El artículo ofrece una revisión general de la terapia fotodinámica en odontología, explicando sus mecanismos básicos y aplicaciones clínicas. Se describen los principales fotosensibilizadores, las fuentes de luz empleadas y los tipos de infecciones orales tratadas. Los autores destacan su potencial como complemento en el control microbiano de conductos radiculares y enfermedades periodontales.

- *Curcumin and photodynamic therapy: A review.*

Autores: Abrahamse H, Hamblin MR.

Resumen: Esta revisión analiza la curcumina como fotosensibilizador natural y su aplicación biomédica. Se detalla su espectro de absorción entre 420 y 470 nm, compatible con lámparas LED dentales, y su capacidad de generar especies reactivas de oxígeno que destruyen microorganismos sin dañar tejidos sanos. Los autores resaltan su biocompatibilidad y bajo costo, lo que la convierte en una opción viable para la TFD odontológica.

- *Antimicrobial photodynamic therapy in endodontics using curcumin.*

Autores: Santezi C, et al.

Resumen: En este estudio experimental se evaluó la eficacia antimicrobiana de la TFD utilizando curcumina activada por luz LED en conductos radiculares infectados con *Enterococcus faecalis*. Los resultados mostraron una reducción significativa de la carga bacteriana sin aumento térmico considerable, demostrando que el tratamiento es seguro y efectivo para uso odontológico.

- *Evaluation of curcumin as a photosensitizer in dental applications.*

Autores: de Oliveira BP, et al.

Resumen: El estudio investigó las propiedades ópticas y antimicrobianas de la curcumina como fotosensibilizador dental. Se encontró que su máxima absorción ocurre entre 430–460 nm y que presenta una alta capacidad para generar radicales libres bajo irradiación LED. Los autores concluyen que la curcumina es adecuada para aplicaciones clínicas seguras en odontología restauradora y endodoncia.

- *Efficacy of curcumin-mediated photodynamic therapy for root canal therapy procedures: A systematic review.*

Autores: Alkahtany MF, et al.

Resumen: Esta revisión sistemática examinó la eficacia de la TFD mediada por curcumina en tratamientos endodónticos. La mayoría de los estudios

incluidos reportaron reducciones microbianas superiores al 90% sin daños térmicos a la estructura dental. Se reafirma que la curcumina, combinada con luz LED azul, puede mejorar la desinfección intracanal.

- *Curcumin photodynamic therapy: low-cost antimicrobial strategy.*

Autores: Costa A, et al.

Resumen: Los autores propusieron la curcumina como un fotosensibilizador de bajo costo para la TFD. Se realizaron pruebas antimicrobianas comparativas frente a agentes convencionales, confirmando una eficacia similar y sin efectos adversos térmicos. El estudio resalta su potencial para aplicaciones clínicas en regiones con recursos limitados.

- *Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury.*

Autores: Eriksson RA, Albrektsson T.

Resumen: Este clásico estudio definió los límites de tolerancia térmica de los tejidos duros. Se determinó que un aumento de temperatura superior a 10 °C puede causar necrosis ósea irreversible. Estos resultados establecen la base para evaluar la seguridad térmica de dispositivos lumínicos empleados en odontología.

- *Pulp chamber temperature increase from curing light units: an in vitro study.*

Autores: Cantekin K, et al.

Resumen: El trabajo comparó el incremento de temperatura intrapulpar producido por diferentes lámparas de fotocurado. Se observó que las lámparas LED generan menor aumento térmico que las halógenas, lo que confirma su seguridad durante exposiciones prolongadas. Este hallazgo es relevante para la aplicación de TFD activada por LED.

- *Temperature rise during dental curing light exposure.*

Autores: Raab WH.

Resumen: Este estudio evaluó el aumento de temperatura en la dentina y la pulpa durante la exposición a lámparas de curado dental. Los resultados indicaron que la intensidad, el tiempo de exposición y la distancia de la

fuentes influyen directamente en la temperatura alcanzada, recomendando mantenerla por debajo de los 42 °C para evitar daño pulpar.

- *Thermal safety of laser-assisted endodontic treatment: A thermographic evaluation.*

Autores: Gutknecht N, et al.

Resumen: Los investigadores analizaron la seguridad térmica de tratamientos endodónticos asistidos con láser mediante termografía. Se comprobó que el incremento térmico en la superficie radicular fue inferior al umbral de daño tisular, confirmando que las terapias lumínicas controladas, incluyendo las de baja potencia, son seguras para los tejidos perirradiculares.

7. Hipótesis:

Estudios previos han demostrado que las lámparas LED utilizadas en odontología presentan menor generación de calor en comparación con otras fuentes de luz. Investigaciones relacionadas con procesos de fotopolimerización han reportado incrementos térmicos moderados que generalmente se mantienen dentro de límites biológicamente seguros. Considerando estos antecedentes y el tiempo de irradiación propuesto en el presente estudio, se plantea la siguiente hipótesis.

Hipótesis Nula:

- El incremento térmico radicular generado por la lámpara LED de fotocurado no supera los 10° C, por lo que se mantiene dentro de los límites considerados seguros para los tejidos periapicales.

Hipótesis Alternativa:

- El incremento térmico radicular generado por la lámpara LED de fotocurado supera los 10° C, representando un posible riesgo térmico para los tejidos periapicales.



CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1. Diseño Metodológico:

El presente estudio es de tipo experimental, transversal y comparativo in vitro, orientado a determinar el aumento de temperatura radicular producido por la irradiación con una lámpara LED de fotocurado, evaluada como posible fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica (PDT).

El enfoque experimental permite controlar las variables involucradas (intensidad lumínica y tiempo de exposición) y reproducir condiciones similares a un procedimiento clínico endodóntico, pero en un entorno controlado de laboratorio.

Este estudio se centró únicamente en la medición del incremento térmico asociado al uso de una lámpara LED de fotocurado. Aunque se menciona fotosensibilizadores como la curcumina para contextualizar la aplicación de la terapia fotodinámica, no fue empleado experimentalmente en la presente investigación.

1.1 Criterios de inclusión:

- Dientes unirradiculares bovinos con longitud radicular estandarizada a 21 mm.
- Raíces integra sin fracturas visibles
- Longitud radicular similar

1.2 Criterios de exclusión:

- Dientes con fracturas radiculares
- Dientes con reabsorciones radiculares
- Dientes con alteraciones estructurales

2. Muestra:

El tamaño de muestra fue determinado mediante la fórmula para comparación de medias en estudios experimentales. Se consideró un nivel de confianza del 95% ($Z\alpha = 1.96$) y un poder estadístico del 80% ($Z\beta = 0.84$). Se asumió una desviación estándar de 3 °C para ambos grupos, en base a estudios previos sobre incremento térmico en dentina, y una diferencia mínima clínicamente relevante de 4 °C.

Al sustituir los valores en la fórmula, se obtuvo un tamaño de muestra de 8.82, el cual fue redondeado a 9 muestras por grupo.

En consecuencia, el estudio estuvo conformado por tres grupos experimentales con 9 dientes cada uno, totalizando 27 especímenes.

1.1. Grupos experimentales:

Grupo	Tratamiento	Tiempo de exposición (s)	Nº de muestras
G1	Luz LED (30 s)	30	9
G2	Luz LED (60 s)	60	9
G3	Luz LED (120s)	120	9

Tabla 1. Grupos experimentales

Cada muestra fue instrumentada y sellada para insertar un termopar tipo K a nivel del tercio apical radicular, conectado a un multímetro para registrar la temperatura en tiempo real durante la exposición.

3. Tabla de Variables

Variable	Tipo	Indicador	Instrumento de medición
Incremento térmico radicular	Cuantitativa continua	Diferencia en °C entre T. inicial y T. final tras la irradiación	Termopar tipo K con multímetro
Tiempo de exposición	Cuantitativa discreta	Duración de la irradiación	Cronómetro digital

Tabla 2. Variables

4. Técnicas y Procedimientos

1. Preparación de las muestras:

Los dientes bovinos seleccionados presentan una longitud mayor en comparación con los dientes humanos. Por ello, con la finalidad de estandarizar las condiciones experimentales y mejorar la comparabilidad de los resultados, todas las muestras fueron seccionadas y ajustadas a una

longitud de 21 mm, correspondiente a la longitud promedio de un incisivo humano.

La medición se realizó utilizando un calibrador digital, garantizando uniformidad en todas las muestras antes del inicio del procedimiento experimental.

- o Limpieza de restos orgánicos y almacenamiento en solución salina.
- o Acceso endodóntico y conformación de conductos con limas rotatorias.
- o Secado del conducto y dejando espacio para insertar el termopar.

2. Colocación del termopar:

- o Inserción de una sonda termopar tipo K a través de un canal lateral hasta alcanzar el tercio apical externo de la raíz.
- o Fijación con silicona para evitar desplazamientos y fugas térmicas.

3. Exposición a la luz LED:

- o Irradiación con luz LED de fotocurado dental (longitud de onda 450–470 nm, intensidad $\sim 1000 \text{ mW/cm}^2$) durante los tiempos establecidos (30 s, 60 s y 120 s).
- o Registro de la temperatura inicial y final mediante el multímetro.

4. Registro y análisis:

- o Cada muestra se evaluó en tercio apical

5. Plan de Análisis

Los datos fueron registrados en una base de datos de Microsoft Excel y posteriormente analizados mediante el software Jamovi versión 2.3.18.0.

Se realizó un análisis descriptivo mediante medidas de tendencia central y dispersión, calculándose medias aritméticas, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de las temperaturas registradas.

Para evaluar las diferencias entre los grupos experimentales se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente, se realizó comparaciones múltiples mediante las pruebas post hoc

de Tukey y Games-Howell, según corresponda, con la finalidad de identificar diferencias específicas entre los grupos evaluados.

Se consideró un nivel de significancia estadística de $\alpha = 0.05$.

6. Instrumento de recolección de datos

Se utilizó una ficha de registro estructurada del incremento térmico radicular.

Grupo	Tiempo (s)	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	Incremento térmico (°C)
Grupo 1	30			
Grupo 2	60			
Grupo 3	120			

Tabla 3. Recolección de datos

7. Consideraciones Éticas

Las piezas dentarias utilizadas provienen de animales bovinos. El protocolo fue sometido a revisión y aprobación por el Comité de Ética. El estudio no implica procedimientos en seres humanos o animales vivos.

8. Recursos

Tipo de recurso	Descripción
Material biológico	Dientes unirradiculares bovinos extraídos.
Equipos	Lámpara de fotocurado LED dental (450–470 nm), termopar tipo K, datalogger, cronómetro digital, pinzas, soporte acrílico.
Reactivos y materiales	Resina epóxica, silicona de fijación, guantes y gafas protectoras.

Instrumentos de medición	Termopar tipo K calibrado y datalogger para registro continuo de temperatura.
Instrumental odontológico	Fresas de acceso, limas rotatorias, irrigadores, jeringas plásticas.

Tabla 4. Recursos

9. Cronograma

Actividades	Ene 2026	Feb 2026	Mar 2026	Abr 2026	May 2026	Jun 2026
Revisión bibliográfica y fundamentación teórica	✓	✓				
Elaboración del marco teórico y antecedentes	✓	✓				
Elaboración del protocolo metodológico y revisión ética	✓	✓				
Preparación y selección de muestras			✓			
Ejecución experimental (irradiación LED y medición térmica)			✓	✓		
Registro y organización de datos			✓	✓		
Análisis e interpretación de resultados					✓	
Redacción del informe final					✓	✓
Revisión y presentación de tesis						✓

Tabla 5. Cronograma de actividades



CAPÍTULO III: RESULTADOS

1. Resultados

Los datos analizados en la presente investigación fueron obtenidos mediante la ficha de registro descrita en la metodología, en la cual se consignaron las temperaturas iniciales y finales de cada muestra experimental. A partir de dichos registros se calculó el incremento térmico individual (ΔT), variable principal de estudio.

Los resultados fueron sometidos a análisis descriptivo e inferencial. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, incluyendo promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos. Asimismo, se realizaron pruebas estadísticas para determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos experimentales evaluados.

1.1. Presentación de resultados

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el incremento térmico radicular producido por la irradiación con una lámpara LED utilizada como fuente de activación para terapia fotodinámica, empleando tres tiempos de exposición experimental: 30, 60 y 120 segundos.

Para el análisis de los resultados se registraron las temperaturas iniciales y finales de cada muestra, calculándose posteriormente el incremento térmico individual (ΔT) mediante la diferencia entre ambas mediciones. Con el propósito de minimizar la influencia de pequeñas variaciones ambientales observadas en las temperaturas iniciales, se realizó una estandarización de los valores basales, permitiendo una comparación más precisa entre los grupos experimentales.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo e inferencial. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, incluyendo promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post hoc para determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos experimentales.

1.2. Análisis de las temperaturas finales alcanzadas

La Tabla 6 presenta los valores promedio de temperatura inicial, temperatura final, desviación estándar, valores mínimos y máximos obtenidos en cada grupo experimental.

Variable	T1	T30	T60	T120
Promedio (°C)	21.47	22.70	24.73	26.58
Desviación Estándar	0.84	0.94	0.57	0.65
Mínimo (°C)	20	21.30	24	25.80
Máximo (°C)	22.50	24.40	25.70	27.40

Tabla 6. Temperaturas registradas según tiempo de exposición

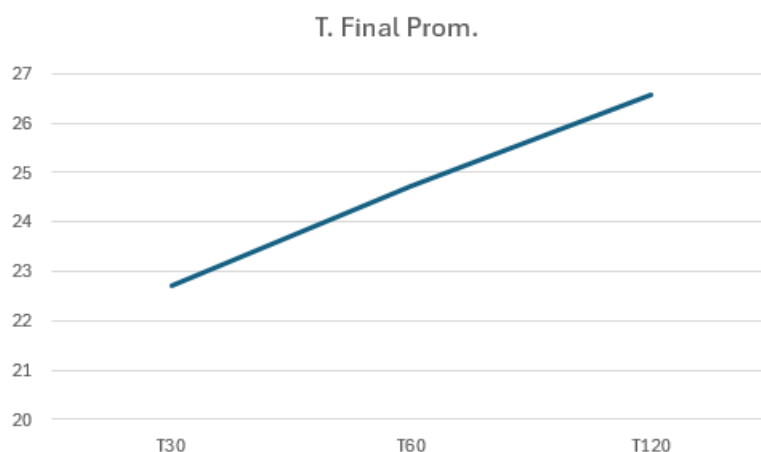


Figura 1. Temperatura final promedio según tiempo de exposición

Los resultados evidenciaron un incremento progresivo de la temperatura conforme aumentó el tiempo de irradiación. El grupo sometido a 30 segundos presentó una temperatura promedio final de 22.70 °C, mientras que los grupos de 60 y 120 segundos alcanzaron temperaturas promedio de 24.73 °C y 26.58 °C respectivamente.

Asimismo, se observó que la variabilidad de las mediciones fue relativamente baja, reflejada en desviaciones estándar inferiores a 1 °C en todos los grupos experimentales. Esto indica una adecuada homogeneidad de las muestras y una buena reproducibilidad de las mediciones realizadas.

El análisis estadístico mediante ANOVA de medidas repetidas mostró diferencias significativas entre las temperaturas registradas en los distintos tiempos evaluados. La prueba post hoc de Tukey permitió identificar que las temperaturas alcanzadas tras 120 segundos de irradiación fueron significativamente superiores a las observadas en los demás tiempos experimentales.

1.3. Análisis del incremento térmico radicular

Considerando que la variable principal de estudio fue el incremento térmico generado por la irradiación LED, se procedió a calcular la diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial de cada muestra.

La Tabla 7 presenta los valores descriptivos obtenidos para cada grupo experimental.

GRUPO EXPERIMENTAL	Promedio (°C)	DE	Mín.	Máx.
30 seg.	1.23	0.64	0.50	2.60
60 seg.	3.24	1.04	2.30	4.90
120 seg.	5.11	1.05	4.10	7.40

Tabla 7. Incremento térmico según tiempo de exposición

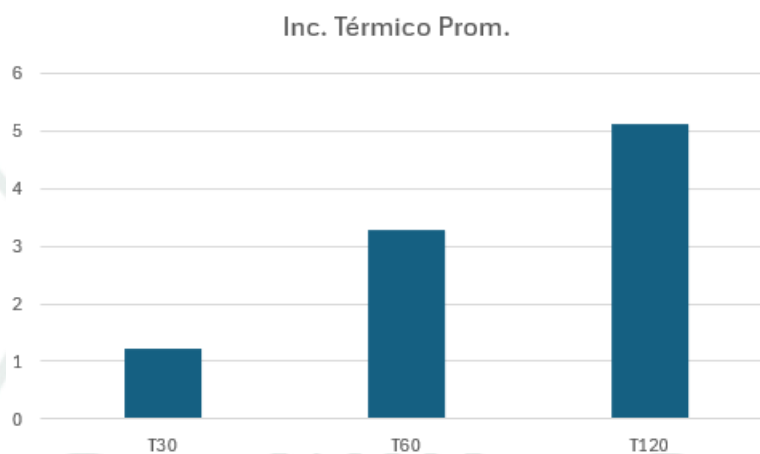


Figura 2. Incremento térmico promedio según tiempo de exposición

Los resultados demostraron que el incremento térmico aumentó progresivamente conforme se incrementó el tiempo de exposición a la lámpara LED.

El grupo irradiado durante 30 segundos presentó el menor incremento térmico promedio (1.23 ± 0.64 °C), mientras que el grupo irradiado durante 60 segundos alcanzó un incremento promedio de 3.24 ± 1.04 °C.

Por otro lado, el grupo sometido a 120 segundos presentó el mayor incremento térmico promedio (5.11 ± 1.05 °C), registrándose además el valor máximo individual más elevado de todo el estudio (7.40 °C).

Estos resultados evidencian una relación directamente proporcional entre el tiempo de irradiación y el aumento de temperatura radicular.

1.4. Comparación estadística entre grupos experimentales

Con la finalidad de determinar si las diferencias observadas entre los grupos eran estadísticamente significativas, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA).

Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre los grupos experimentales ($p < 0.005$), indicando que el tiempo de exposición influyó significativamente sobre el incremento térmico radicular.

Posteriormente, se aplicó la prueba post hoc de Games-Howell para identificar las diferencias específicas entre los grupos evaluados.

Comparación	Valor p
30s. vs 60s.	< 0.001
30s. vs 120s.	< 0.001
60s. vs 120s.	< 0.005

Tabla 8. Comparaciones múltiples mediante Games-Howell

Las comparaciones múltiples mostraron diferencias estadísticamente significativas en todos los pares analizados.

El grupo de 30 segundos presentó diferencias significativas respecto al grupo de 60 segundos y al grupo de 120 segundos. Del mismo modo, el grupo de 60 segundos mostró diferencias significativas respecto al grupo de 120 segundos.

Estos hallazgos confirman que cada incremento en el tiempo de irradiación produjo un aumento significativo de la temperatura radicular.

1.5. Interpretación general de los resultados

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el incremento térmico generado por la irradiación LED fue dependiente del tiempo de exposición empleado.

A medida que se incrementó la duración de la irradiación de 30 a 60 segundos y posteriormente a 120 segundos, se observó un aumento progresivo y estadísticamente significativo del incremento térmico radicular.

No obstante, aun cuando el grupo de 120 segundos presentó los valores más elevados de temperatura, el incremento térmico promedio registrado (5.11 °C) permaneció por debajo de los límites de riesgo térmico descritos en la literatura científica para los tejidos perirradicales.

Por consiguiente, bajo las condiciones experimentales del presente estudio, la irradiación mediante lámpara LED produjo incrementos térmicos controlados y dependientes del tiempo de exposición, sin alcanzar niveles considerados potencialmente perjudiciales para los tejidos de soporte radicular.

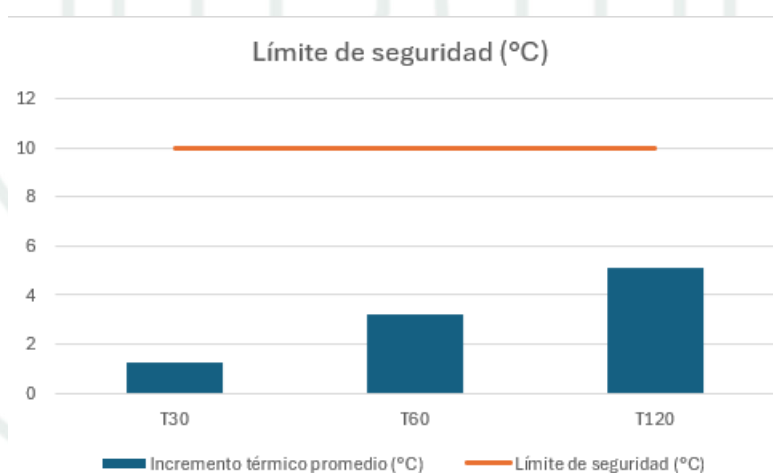


Figura 3. Comparación del incremento térmico radicular promedio con el límite de seguridad biológica de 10 °C.

2. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio demostraron que el incremento térmico radicular generado por la irradiación con lámpara LED fue dependiente del tiempo de exposición, observándose un aumento progresivo de la temperatura conforme se incrementó la duración de la irradiación. Asimismo, las diferencias registradas entre los grupos experimentales fueron estadísticamente significativas, lo que confirma la influencia del tiempo de exposición sobre la respuesta térmica radicular. A pesar de ello, los incrementos térmicos observados se mantuvieron dentro de los límites de seguridad biológica reportados en la literatura, incluso en las condiciones de irradiación más prolongadas. Además, la baja variabilidad de las mediciones evidenció una adecuada reproducibilidad del modelo experimental empleado. En consecuencia, los hallazgos permiten aceptar la hipótesis nula planteada, ya que la lámpara LED utilizada como posible fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica no generó incrementos térmicos superiores al umbral considerado potencialmente perjudicial para los tejidos periapicales.

El principal hallazgo de esta investigación fue la existencia de una relación directamente proporcional entre el tiempo de irradiación y el incremento térmico radicular. A medida que aumentó la duración de la exposición a la lámpara LED, se observó un incremento progresivo de la temperatura en la superficie radicular. Este comportamiento puede explicarse por la acumulación gradual de energía luminosa absorbida por los tejidos dentarios, la cual se transforma parcialmente en energía térmica. Diversos estudios han descrito que la generación de calor durante procedimientos que emplean fuentes luminosas depende principalmente de la potencia emitida y del tiempo de exposición, siendo este último un factor determinante en la magnitud del aumento térmico observado (13,14). De manera similar, investigaciones realizadas con sistemas láser utilizados en endodoncia han reportado incrementos progresivos de temperatura conforme se prolonga el tiempo de irradiación, corroborando la relación dosis-tiempo observada en el presente estudio (15,17).

Otro hallazgo relevante fue que el grupo sometido al mayor tiempo de irradiación presentó los valores térmicos más elevados. Sin embargo, incluso bajo esta condición experimental, el incremento térmico permaneció dentro de rangos considerados seguros. Este comportamiento podría atribuirse a las características físicas de la dentina, cuya baja conductividad térmica limita la transferencia de calor hacia los tejidos circundantes. Asimismo, las lámparas LED se caracterizan por una emisión térmica relativamente reducida en comparación con otras fuentes de energía utilizadas en odontología, lo que contribuye a minimizar el riesgo de

sobrecalentamiento tisular (10,13). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cantekin et al. (10), quienes observaron que las unidades LED generan incrementos térmicos moderados durante procedimientos de fotopolimerización, así como con los resultados de Raab (13), quien destacó la importancia del control del tiempo de exposición para mantener niveles seguros de temperatura.

El hallazgo de mayor relevancia clínica fue que ninguno de los grupos experimentales superó el límite de seguridad biológica descrito por Eriksson y Albrektsson (12). En el presente estudio, el incremento térmico promedio fue de 1.23 °C para el grupo irradiado durante 30 segundos, 3.24 °C para el grupo de 60 segundos y 5.11 °C para el grupo de 120 segundos. Incluso el valor máximo registrado (7.40 °C) permaneció por debajo del umbral de 10 °C considerado potencialmente perjudicial para los tejidos perirradiculares. Estos hallazgos sugieren que la utilización de una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica presenta un comportamiento térmico seguro bajo las condiciones evaluadas. Resultados similares han sido reportados por Gutknecht et al. (14,16) y Verma et al. (17), quienes concluyeron que los incrementos térmicos generados durante procedimientos endodónticos asistidos por luz pueden mantenerse dentro de márgenes biológicamente seguros cuando se emplean parámetros adecuados de irradiación.

El análisis estadístico confirmó además que el tiempo de exposición influye significativamente sobre el incremento térmico radicular. Las diferencias observadas entre todos los grupos experimentales evidencian que la duración de la irradiación constituye una variable crítica en el comportamiento térmico del sistema evaluado. Desde el punto de vista clínico, este hallazgo resalta la necesidad de establecer protocolos de irradiación estandarizados que permitan maximizar los beneficios potenciales de la terapia fotodinámica sin comprometer la seguridad térmica de los tejidos periapicales. En este sentido, diversos autores han señalado que la optimización de los parámetros de irradiación representa uno de los aspectos fundamentales para la implementación segura de terapias fotodinámicas en odontología (1,3,4,11).

Finalmente, la baja dispersión de los resultados observados constituye una fortaleza importante de la presente investigación. La utilización de termopares tipo K conectados a un sistema de adquisición de datos permitió obtener mediciones objetivas y reproducibles, reduciendo la influencia de errores instrumentales y favoreciendo la consistencia de los registros. Esta homogeneidad refuerza la validez interna del estudio y permite atribuir los cambios térmicos

observados principalmente al efecto de la irradiación LED y no a factores externos no controlados.

A pesar de los hallazgos obtenidos, los resultados deben interpretarse considerando algunas limitaciones. En primer lugar, se trata de un estudio *in vitro*, por lo que las condiciones experimentales no reproducen completamente el entorno clínico, donde factores como la irrigación sanguínea periodontal, la presencia de tejidos blandos y la circulación de fluidos pueden influir en la disipación térmica. Asimismo, el estudio se centró exclusivamente en la evaluación del incremento térmico generado por la lámpara LED, sin considerar la presencia de un fotosensibilizador ni la eficacia antimicrobiana asociada a la terapia fotodinámica. No obstante, una de las principales fortalezas de esta investigación radica en la utilización de un protocolo experimental estandarizado y reproducible, con mediciones objetivas realizadas mediante termopares tipo K y un sistema de adquisición de datos, lo que permitió obtener registros térmicos confiables y comparables entre los distintos tiempos de irradiación. Además, el estudio aporta evidencia preliminar sobre la seguridad térmica de una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica. En este sentido, futuras investigaciones deberían evaluar el comportamiento térmico y la eficacia antimicrobiana del sistema en condiciones más cercanas a la práctica clínica, incorporando fotosensibilizadores como la curcumina, modelos *ex vivo* o *in vivo* y diferentes parámetros de irradiación. Estos aspectos permitirán ampliar el conocimiento disponible y contribuirán a una mejor comprensión del potencial clínico de esta alternativa terapéutica en endodoncia.

3. Conclusiones

- a. La irradiación mediante una lámpara LED de fotocurado genera un incremento de la temperatura radicular que aumenta progresivamente conforme se incrementa el tiempo de exposición.
- b. Los incrementos térmicos observados permanecen dentro de los límites de seguridad biológica descritos por Eriksson y Albrektsson para los tejidos perirradiculares.
- c. El tiempo de exposición influye significativamente en el incremento térmico radicular, evidenciando una relación directa entre la duración de la irradiación y la generación de calor.
- d. Bajo las condiciones experimentales evaluadas, la lámpara LED de fotocurado utilizada como posible fuente de activación para terapia fotodinámica endodóntica mantiene incrementos térmicos compatibles con la seguridad biológica de los tejidos de soporte radicular.
- e. La lámpara LED de fotocurado constituye una alternativa potencialmente segura para su aplicación como fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica desde el punto de vista térmico.

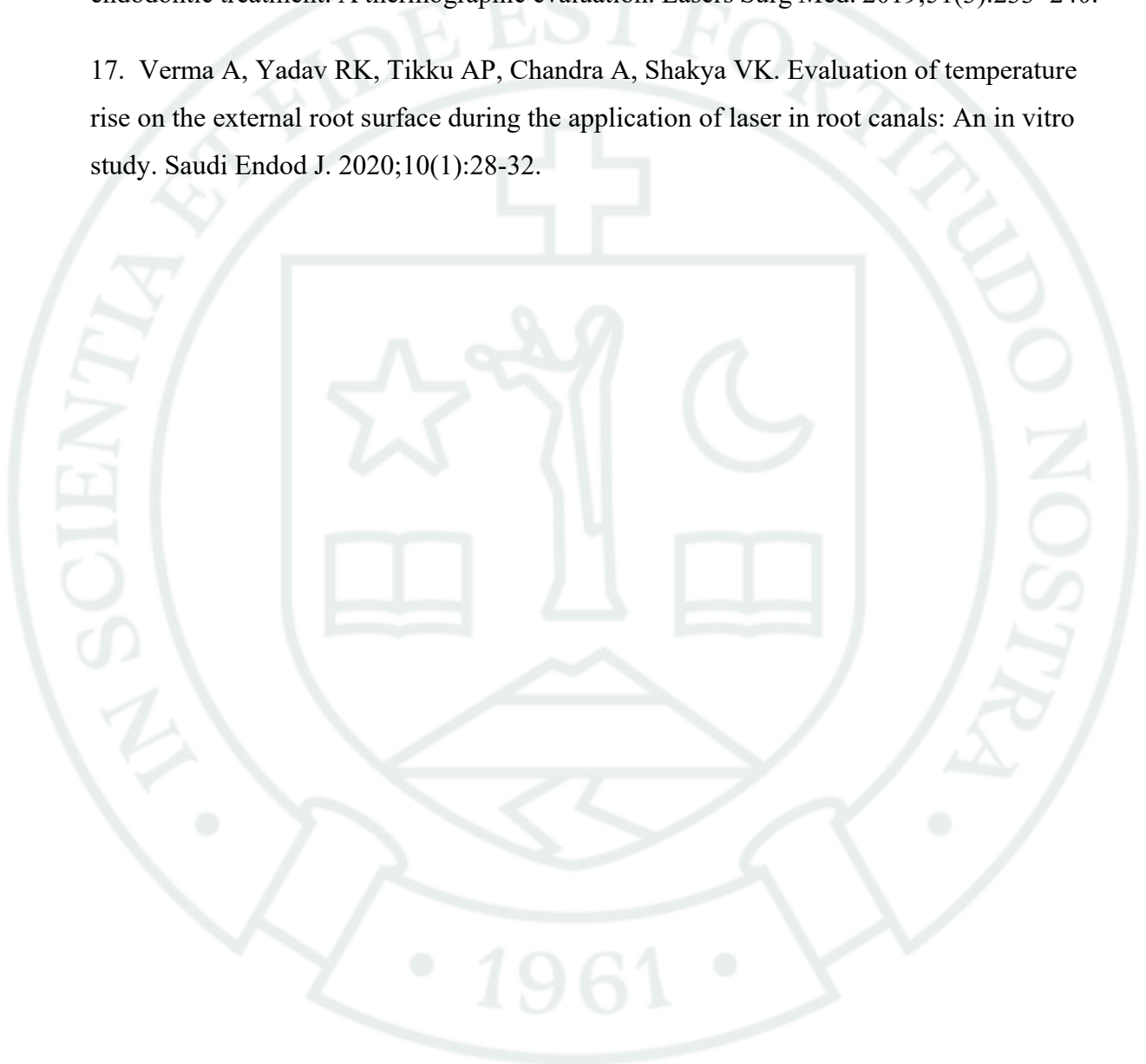
4. Recomendaciones

- a. Se recomienda realizar estudios en condiciones clínicas o en modelos que simulen con mayor precisión el ambiente bucal, con el fin de corroborar los resultados obtenidos en el presente estudio.
- b. Se recomienda evaluar el comportamiento térmico de la lámpara LED en combinación con fotosensibilizadores utilizados en terapia fotodinámica, como la curcumina, para complementar la evidencia disponible sobre esta técnica.
- c. Se recomienda investigar diferentes tiempos de irradiación y parámetros de aplicación de la lámpara LED para identificar protocolos que mantengan la seguridad térmica y optimicen su uso clínico.
- d. Se recomienda realizar estudios con muestras más amplias y diversos modelos dentarios para aumentar la extrapolación de los resultados.
- e. Se recomienda comparar la lámpara LED de fotocurado con otras fuentes de activación empleadas en terapia fotodinámica endodóntica para determinar sus ventajas y limitaciones.

REFERENCIAS:

1. Wainwright M, Maisch T, Nonell S, Plaetzer K, Almeida A, Tegos GP, et al. Photodynamic therapy in dentistry: An overview. *Lasers Med Sci.* 2017;32(4):897–902.
2. Alkahtany MF, Al-Madi EM, Al-Mously JA, Alonazi MA, Al-Aali KA, Al-Anazi BA, et al. Efficacy of curcumin-mediated photodynamic therapy for root canal therapy procedures: A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2023;41:103252.
3. Konopka K, Goslinski T. Photodynamic therapy in dentistry. *J Dent Res.* 2007;86(8):694–707.
4. Kishen A. Advanced therapeutic options for endodontic biofilms. *Endod Topics.* 2016;34(1):99–117.
5. Abrahamse H, Hamblin MR. Curcumin and photodynamic therapy: A review. *Photochem Photobiol Sci.* 2016;15(5):731–748.
6. Shin Y, Choi Y, Kim S, Kim E, Park S. Erythrosine-mediated photodynamic therapy against endodontic biofilms. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2022;38:102820. doi: 10.1016/j.pdpdt.2022.102820
7. Santezi C, Reina BD, Santiago AC, de Anchieta MB, Dovigo LN. Antimicrobial photodynamic therapy in endodontics using curcumin. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2018;21:124–132. doi: 10.1016/j.pdpdt.2018.01.016
8. de Oliveira BP, Aguiar CM, Câmara AC, de Albuquerque MS, de Mariano SC, de Oliveira AC. Evaluation of curcumin as a photosensitizer in dental applications. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2019;25:140–146. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.01.025
9. Costa A, Santana M, Santos M, Pereira J, Silva S. Curcumin photodynamic therapy: low-cost antimicrobial strategy. *Braz Dent J.* 2022;33(3):58–65.
10. Cantekin K, Buyuk SK, Demirbuga S, Sener Y. Pulp chamber temperature increase from curing light units: an in vitro study. *J Conserv Dent.* 2014;17(5):460–464.
11. Zanin ICJ, Gonçalves AR, Borges ÁH, Volpato LER, Cruz-Filho AM, Rastelli AN. LED photodynamic therapy in dentistry: A clinical update. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020;32:101985.
12. Eriksson RA, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury. *J Prosthet Dent.* 1983;50(1):101–107.
13. Raab WH. Temperature rise during dental curing light exposure. *Dent Mater.* 2016;32(7):986–994.

14. Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Temperature evolution on human teeth root surface after diode laser assisted endodontic treatment. *Lasers Med Sci.* 2005;20(2):99–103.
15. Lee Y, Kim S, Kim E, Shin Y. Evaluation of root surface temperature during laser irradiation using thermocouples. *Photomed Laser Surg.* 2018;36(6):295–302.
16. Gutknecht N, van de Vondel S, Eduardo CP, Franzen R. Thermal safety of laser-assisted endodontic treatment: A thermographic evaluation. *Lasers Surg Med.* 2019;51(3):233–240.
17. Verma A, Yadav RK, Tikku AP, Chandra A, Shakya VK. Evaluation of temperature rise on the external root surface during the application of laser in root canals: An in vitro study. *Saudi Endod J.* 2020;10(1):28-32.





ANEXOS



ANEXO N°1 VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

FORMATO PARA VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUECES EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS que hace parte de la investigación **Evaluación in vitro del incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica – Arequipa 2026**. La evaluación de los instrumentos es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente. Agradecemos su valiosa colaboración.

De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los ítems según corresponda:

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtenerla medición de ésta.	1. No cumple con el criterio	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión
	2. Bajo Nivel	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponden con la dimensión total
	3. Moderado nivel	Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente.
	4. Alto nivel	Los ítems son suficientes
CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro
	2. Bajo Nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de las mismas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo.
RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

ASPECTOS ESPECÍFICOS						
Dimensión	Sub-indicador	Ítem	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observaciones
Identificación de la muestra	Codificación	Número de muestra	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Clasificación	Grupo experimental	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Condiciones experimentales	Tiempo de exposición	Tiempo (s)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Medición térmica	Temperatura basal	Temperatura inicial (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Temperatura final	Temperatura final (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Variación térmica	Incremento térmico (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
ASPECTOS GENERALES						
Aspecto			Si	No	Observaciones	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario			☒			
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación			☒			
Los ítems están distribuidos en forma lógica y secuencial			☒			
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir			☒			
CONSIDERACIONES FINALES						
(favor agregar observaciones que no han sido consideradas en este formato)						
VALIDEZ						
Aplicable	☒	No Aplicable		Aplicable atendiendo a las observaciones		
Instrumento validado por:	Fernando Pendulich Gallegos					
Teléfono:	954396446					

FORMATO PARA VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUECES EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS que hace parte de la investigación **Evaluación in vitro del incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica – Arequipa 2026**. La evaluación de los instrumentos es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente. Agradecemos su valiosa colaboración.

De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los ítems según corresponda:

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtenerla medición de ésta.	1. No cumple con el criterio	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión
	2. Bajo Nivel	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponden con la dimensión total
	3. Moderado nivel	Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente.
	4. Alto nivel	Los ítems son suficientes
CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro
	2. Bajo Nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de las mismas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo.
RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

ASPECTOS ESPECÍFICOS						
Dimensión	Sub-indicador	Ítem	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observaciones
Identificación de la muestra	Codificación	Número de muestra	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	
	Clasificación	Grupo experimental	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Condiciones experimentales	Tiempo de exposición	Tiempo (s)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Medición térmica	Temperatura basal	Temperatura inicial (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	
	Temperatura final	Temperatura final (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	
	Variación térmica	Incremento térmico (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4	
ASPECTOS GENERALES						
Aspecto			Si	No	Observaciones	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario			☒			
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación			☒			
Los ítems están distribuidos en forma lógica y secuencial			☒			
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir			☒			
CONSIDERACIONES FINALES						
(favor agregar observaciones que no han sido consideradas en este formato)						
VALIDEZ						
Aplicable	☒	No Aplicable		Aplicable atendiendo a las observaciones		
Instrumento validado por:	Javier Luis Velez Quispe					
Teléfono:	966736370					

FORMATO PARA VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUECES EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS que hace parte de la investigación **Evaluación in vitro del incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica – Arequipa 2026**. La evaluación de los instrumentos es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente. Agradecemos su valiosa colaboración.

De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los ítems según corresponda:

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtenerla medición de ésta.	1. No cumple con el criterio	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión
	2. Bajo Nivel	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponden con la dimensión total
	3. Moderado nivel	Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente.
	4. Alto nivel	Los ítems son suficientes
CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro
	2. Bajo Nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de las mismas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo.
RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido.	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.
	3. Moderado nivel	El ítem es relativamente importante
	4. Alto nivel	El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

ASPECTOS ESPECÍFICOS						
Dimensión	Sub-indicador	Ítem	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observaciones
Identificación de la muestra	Codificación	Número de muestra	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Clasificación	Grupo experimental	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Condiciones experimentales	Tiempo de exposición	Tiempo (s)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
Medición térmica	Temperatura basal	Temperatura inicial (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Temperatura final	Temperatura final (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
	Variación térmica	Incremento térmico (°C)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4	
ASPECTOS GENERALES						
Aspecto			Si	No	Observaciones	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario			☒	☐		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación			☒	☐		
Los ítems están distribuidos en forma lógica y secuencial			☒	☐		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir			☒	☐		
CONSIDERACIONES FINALES						
(favor agregar observaciones que no han sido consideradas en este formato)						
VALIDEZ						
Aplicable	☒	No Aplicable	☐	Aplicable atendiendo a las observaciones	☐	
Instrumento validado por:	Yalini y Juan Velasco					
Teléfono:	958629202					



ANEXO N°2 BASE DE DATOS

GRUPO	TI	TF	INC
30s	22,20	23,00	0,8
30s	21,70	22,20	0,5
30s	20,80	22,40	1,6
30s	22,40	23,00	0,6
30s	20,00	21,60	1,6
30s	20,60	21,30	0,7
30s	21,10	23,20	2,1
30s	23,00	24,40	1,4
30s	21,70	23,20	1,5
60s	22,50	25,10	2,6
60s	21,40	24,20	2,8
60s	22,80	25,70	2,9
60s	21,70	24,00	2,3
60s	22,00	24,90	2,9
60s	21,60	24,50	2,9
60s	22,30	25,00	2,7
60s	21,80	24,10	2,3
60s	22,10	25,10	3,00
120s	23,10	27,20	4,1
120s	22,00	25,90	3,9
120s	22,80	26,70	3,9
120s	21,90	25,80	3,9
120s	23,00	27,40	4,4
120s	22,40	26,10	3,7
120s	22,90	27,00	4,1
120s	22,10	25,90	3,8
120s	22,90	27,20	4,3

**ANEXO N°3 ANOVA DE
MEDIDAS REPETIDAS Y
PRUEBA POST HOC
TUKEY PARA LAS
TEMPERATURAS
REGISTRADAS SEGÚN
TIEMPO DE EXPOSICIÓN**

	T1	T30	T60	T120
1	22,50	23,00	25,10	27,20
2	21,40	22,20	24,20	25,90
3	20,80	22,40	25,70	26,70
4	21,70	23,00	24,00	25,80
5	20,00	21,60	24,90	27,40
6	20,60	21,30	24,50	26,10
7	22,30	23,20	25,00	27,00
8	21,80	24,40	24,10	25,90
9	22,10	23,20	25,10	27,20
	a	a	a	b
PROMEDIO	21,47	22,70	24,73	26,58
SD	0,84	0,94	0,57	0,65
min	20,00	21,30	24,00	25,80
max	22,50	24,40	25,70	27,40

**ANEXO N°4 ANOVA DE
UNA VIA Y PRUEBA POST
HOC GAMES HOWELL
PARA EL INCREMENTO
TÉRMICO RADICULAR**

	T30	T60	T120
1	0,50	2,60	4,70
2	0,80	2,80	4,50
3	1,60	4,90	5,90
4	1,30	2,30	4,10
5	1,60	4,90	7,40
6	0,70	3,90	5,50
7	0,90	2,70	4,70
8	2,60	2,30	4,10
9	1,10	3,00	5,10
	a	b	c
PROMEDIO	1,23	3,27	5,11
SD	0,64	1,04	1,05
min	0,50	2,30	4,10
max	2,60	4,90	7,40

	T60	T120
T30	<0.001	<0.001
T60		<0.005

**ANEXO N°5 MATRIZ DE
DATOS UTILIZADOS
PARA ANÁLISIS
ESTADÍSTICOS**

T30	0,5
T30	0,8
T30	1,6
T30	1,3
T30	1,6
T30	0,7
T30	0,9
T30	2,6
T30	1,1
T60	2,6
T60	2,8
T60	4,9
T60	2,3
T60	4,9
T60	3,9
T60	2,7
T60	2,3
T60	3
T120	4,7
T120	4,5
T120	5,9
T120	4,1
T120	7,4
T120	5,5
T120	4,7
T120	4,1
T120	5,1



ANEXO N°6 EVIDENCIA FOTOGRAFICA



**ANEXO N°7 DICTAMEN
DEL COMITÉ DE ÉTICA**



Universidad
Católica de
Santa María

Investigador
Valdivia Amesquita, Bryam

Sentimiento Santamariano

Comité Institucional de Ética de la Investigación

Campus Central
Urb. San José s/n Umacollo
Arequipa – Perú
(+54) — 382038

UCSM.EDU.PE

Arequipa, 11 mayo 2026

De mi especial consideración.

Me dirijo a usted para hacerle llegar el resultado de la evaluación de su proyecto de investigación y dictamen del Comité Institucional de Ética de Investigación.

TÍTULO: "Evaluación in vitro del incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica – Arequipa 2026".

INVESTIGADOR: Valdivia Amesquita, Bryam.

TIPO Y DISEÑO: Experimental, transversal, comparativo.

OBJETIVO: La investigación tiene como objetivo: Evaluar el incremento térmico radicular generado por una lámpara LED de fotocurado al ser utilizada como posible fuente de activación en terapia fotodinámica endodóntica, en un modelo in vitro.

PROCEDIMIENTOS: Análisis laboratorial.

SUJETOS DE ESTUDIO: Dientes unirradiculares bovinos.

RIESGO DEL ESTUDIO: Mínimo.

OBSERVACIONES, SUGERENCIAS: Debe proteger confidencialidad de la data sensible.

DICTAMEN:



DICTAMEN FAVORABLE 244- 2026 CIEI-UCSM

VIGENCIA: La aprobación tiene vigencia desde la emisión del presente dictamen hasta el 11 de mayo de 2027.

Agueda Muñoz Del Carpio Toia
Comité Institucional de Ética de la Investigación UCSM

Arequipa, 11 mayo 2026