

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN EN
TERMINAL EN ENDODONCIA

**Volumen de hipoclorito de sodio ideal para evitar
pérdida de fuerza en la dentina durante tratamiento de conductos**

Presenta:

Gabriela Anahí García Ramírez.
Matrícula: 223450001

Responsable del proyecto:

DC. Ismael Juárez Díaz.
ID: 100517019

Asesor Disciplinario:

M.P.M.B. Samantha Rivera Macías.
ID: 100518803

Asesor Metodológico:

D. en C.S. María De Los Angeles Moyaho Bernal. ID: 100289266

Asesor Externo:

Dr. Marco Antonio Ramírez Salomón

Lector:

M.C.O. Briseida Guadalupe Rojas Huerta

Marzo 2025



Oficio No. FESIEP/CIFE/041/2025

C. Gabriela Anahí García Ramírez
Estudiante de la Maestría en Estomatología con opción en Terminal en Endodoncia
Matrícula No.: 223450001
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo, en mi doble calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado y Presidenta del Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; aprovecho para felicitarla por el avance significativo en su proceso académico. En atención a su solicitud, me permito notificarle que su tesis titulada:

"Volumen de hipoclorito de sodio ideal para evitar pérdida de fuerza en la dentina durante el tratamiento de conductos"

ha recibido la aprobación oficial para su impresión.

Su trabajo ha sido registrado en el Libro de Registros No. 09, página 01, con el No. de Asignación 2024246, quedando debidamente documentado en esta Secretaría de Investigación. Esta tesis será presentada como parte del procedimiento para su examen profesional, necesario para obtener el grado de Maestría en Estomatología.

Próximos pasos:

1. Impresión de la tesis: Proceda con los trámites de impresión conforme a los lineamientos establecidos por la Facultad.
2. Revisión del documento: Asegúrese de que el texto cumpla con los estándares académicos y formales.
3. Coordinación del examen profesional: Comuníquese con el Responsable de la Etapa Terminal de la Maestría de su elección para programar su examen de grado y gestionar los trámites administrativos correspondientes

Le recordamos que el cumplimiento de los plazos y requisitos establecidos es fundamental para garantizar la fluidez del proceso.

Reconocimiento y mensaje final:

Este logro refleja su esfuerzo, dedicación y el impacto de su investigación en el ámbito de la Estomatología. Le felicitamos por este avance significativo y confiamos en que continuará demostrando su compromiso académico y profesional.

Para cualquier consulta o información adicional, no dude en comunicarse con nosotros. Estamos a su disposición para acompañarla en esta etapa crucial de su formación.

Sin otro particular, le reitero mi más atenta y distinguida consideración y le deseo éxito en la etapa final de esta carrera académica.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a miércoles 26 de marzo del 2025

MEP. Gisele Nataly Rubin de Celis Quintana
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología

* Nota: Se anexa Formato de Impresión de Tesis - C. Gabriela Anahí García Ramírez - Maestría en Estomatología - Terminal en Endodoncia - S.I.E.P. - Facultad de Estomatología - B.U.A.P. (origina) - p.s.c.y.a.

*C.c.p. Archivo

*MCO. FJMA/MEP. GNRCQ/yaneth

Secretaría de Investigación y
Estudios de Posgrado
Facultad de
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes
Puebla, Pue.
C.P. 72410
Tel. Of. 22*22 29 55 00
Ext. 5526

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Maestría en Estomatología con opción en Terminal en Endodoncia**

No. Registro CIFE: 2024246 **Fecha de Registro ante CIFE:** lunes 19 febrero del 2024.

Título de la Tesis: "Volumen de hipoclorito de sodio ideal para evitar pérdida de fuerza en la dentina durante el tratamiento de conductos".

Nombre del estudiante: Gabriela Anahí García Ramírez

Matrícula: 223450001.

Domicilio: Provincia de Heredia 2401, Fraccionamiento San Lorenzo IV. C.P 31124 Chihuahua, Chihuahua.

Tel: 61*41 57 73 98.

Fecha de ingreso a la Facultad: lunes 09 de enero del 2023.

Firma: _____

Director de Tesis: DC. Ismael Juárez Díaz.

Grado académico: Doctor en Ciencias Químico-Biológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: 100517019.

Tel: 24* 61 01 69 44.

Firma: _____

Director Disciplinario: M.P.T. Mtra. Samantha Rivera Macías.

Grado académico: Maestría en Patología y Medicina Bucal.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: 100518803.

Tel: 22*25 11 20 25.

Firma: _____

Director Metodológico: DC. María de los Angeles Moyaho Bernal. **Grado académico:** Doctor en Ciencias de la Salud.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: 100289266.

Tel: 22*22 78 88 41.

Firma: _____

Lector: ME. Briseida Guadalupe Rojas Huerta.

Grado académico: Maestría en Ciencias Odontológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: S/N.

Tel: 24*6 1 26 67 03.

Firma: _____

Nombre y firma de aprobación del Responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Endodoncia.

CDEE. Alejandro Gerardo Martínez Guerrero.

Firma: _____

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.

MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana



Fecha actual: miércoles 26 de marzo del 2025

Sello _____



BUAP

Constancia No. FESIEP/CIFE/026/2024

DC. Ismael Juárez Díaz
Responsable del Proyecto de Investigación
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo la que suscribe MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana en mi calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y tras un detenido análisis y evaluación en el Proyecto de Investigación (Colectivo):

Nombre del Título del Proyecto:

“Volumen de hipoclorito de sodio ideal para evitar pérdida en la resistencia a la fractura de la dentina en el tratamiento de conductos”

Presentado por:

No.	Cargos	Nombres	ID y/o Matrícula
1	Responsable del Proyecto de Investigación:	DC. Ismael Juárez Díaz	100517020
2	Director Disciplinario:	DC. María de los Angeles Moyaho Bernal	100289266
3	Director Metodológico:	Mtra. Adriana Córdoba Barranco	100517019
4	Estudiante de Maestría en Estomatología: <u>Terminal en Endodoncia</u>	C. Gabriela Anahí García Ramírez	223450001

HAGO CONSTAR que, ha sido oficialmente ACEPTADO. Este relevante proyecto, ha sido registrado ante el Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología (C.I.F.E.), inscrito en el libro de registros No. 09, página 01, bajo el No. de asignación 2024246, en la Secretaría de Investigación de esta Unidad Académica.

Para los fines legales que los interesados convengan, y sin otro particular, reitero a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a lunes 19 de febrero del 2024

MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología



*C.c.p. Archivo
*MCO. FJMA/MEP. GNRCQ/Yaneth

Secretaría de Investigación y
Estudios de Posgrado
Facultad de
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes
Puebla, Pue.
C.P. 72410
Tel. Of. 22*22 29 55 00
Ext. 5526

7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Student papers	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA	5%
2	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
3	Internet	core.ac.uk	<1%
4	Internet	www.coursehero.com	<1%
5	Internet	mundoambientalista.wordpress.com	<1%
6	Internet	carlosboveda.com	<1%
7	Internet	docplayer.es	<1%
8	Internet	www.eluniversaledomex.mx	<1%
9	Student papers	Infile	<1%
10	Internet	burjcdigital.urjc.es	<1%
11	Internet	repositorio.ucam.edu	<1%

Agradecimientos

Al culminar esta etapa académica y profesional, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en este logro.

En primer lugar, agradezco a Dios y a mi familia, quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza en este camino. A mis padres, Cristina Ramírez y Gabriel García los pilares de mi vida, por inculcarme la disciplina y valores que me han guiado hasta este momento. A mi esposo, Joel Encinas, por su comprensión y aliento en los momentos de mayor exigencia, por ser mi motor desde el primer día en el propedéutico hasta la culminación de mi maestría, y por siempre darme esas palabras que me impulsaron a seguir adelante con determinación. Gracias familia, los amo.

A mis amigas, por ser pilares fundamentales en este trayecto: Mar, gracias por ser como una hermana para mí, por brindarme seguridad en mis decisiones y por tu compañía incondicional. Paty, gracias por enseñarme a mantener una actitud positiva y a no rendirme en los momentos difíciles. Daf gracias por tu comprensión y sinceridad todo el tiempo. Andy, por los bonitos momentos que compartimos y nuestras pláticas infinitas. Gracias por todo amigas, las quiero mucho.

A mis profesores y mentores, cuyo compromiso con la enseñanza y la excelencia han sido una fuente de inspiración: A la Dra. Susy, Dra. Milly, Dra. Briseida, Dra. Almita, Dra. Adriana, Dr. Emilio, Dr. Pablo, Dr. Francisco y Dr. Rodolfo, gracias por su dedicación, por su tiempo y conocimientos compartidos.

De manera especial quiero agradecer al Dr. Alejandro Martínez mi coordinador, por abrirme las puertas de este posgrado, por confiar en mí siempre y por su apoyo incondicional. Al Dr. Eduardo Peñaloza, gracias por su ayuda desde el inicio de esta maestría hasta su culminación, por su paciencia y por la guía que siempre me brindó. Y al Dr. Ismael Juárez, mi director de tesis, por motivarme cada día a culminar esta etapa. Finalmente, agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma

de Puebla por brindarme la oportunidad de formar parte de esta bonita familia, y ser mi segunda casa por mas de 2 años.

Este logro no es solo mío, sino también de quienes creyeron en mí y me impulsaron a seguir adelante.

Con profunda gratitud, Gaby.

II ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	13
2	ANTECEDENTES	15
2.1	ANTECEDENTES GENERALES	15
2.1.1	Irrigación.....	15
2.1.2	Hipoclorito de sodio (NaOCl)	16
2.1.3	Anatomía radicular	18
2.1.4	Pulpa	21
2.1.5	Órganos dentarios de bovino	21
2.2	ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	24
3	PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	26
3.1	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	26
4	JUSTIFICACIÓN	27
5	HIPÓTESIS.....	28
5.1	Hipótesis científica:.....	28
5.2	Hipótesis nula:	28
6	OBJETIVOS	29
6.1	OBJETIVO GENERAL:	29
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	29
7	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
7.1	DISEÑO DEL ESTUDIO:.....	30
7.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	30
7.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN	32
7.3.1	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	32
7.3.2	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	32
7.3.3	CRITERIOS DE ELIMINACIÓN	32
7.4	VARIABLES	33
7.4.1	VARIABLE INDEPENDIENTE:	33
7.4.2	VARIABLE DEPENDIENTE:	33

7.5	CONCORDANCIA Y FIABILIDAD	34
7.6	UBICACIÓN ESPACIO-TEMPORAL.....	35
7.7	PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN.....	36
7.7.1	MEDICIÓN A LA FRACTURA DE ÓRGANOS DENTARIOS BOVINOS EN LA MÁQUINA INSTRON.....	36
7.7.2	DISEÑO Y CREACIÓN DE ADAPTADOR Y PUNTA PARA LA MÁQUINA INSTRON. 36	36
7.7.3	RECOLECCIÓN DE ÓRGANOS DENTARIOS DE BOVINO.....	38
7.7.4	ALMACENAJE DE ÓRGANOS DENTARIOS.....	38
7.7.5	PREPARACIÓN DE ÓRGANOS DENTARIOS.....	39
7.7.6	CONFORMACIÓN DE GRUPOS.....	40
7.7.7	ALICUOTAS DE HIPOCLORITO DE SODIO.....	41
7.7.8	IRRIGACIÓN QUÍMICA CON LOS DISTINTOS VOLÚMENES.....	42
7.7.9	OBTURACIÓN DE LOS DIENTES.....	43
7.7.10	PREPARACIÓN DE CILINDROS DE ACRÍLICO.....	43
7.7.11	EVALUACIÓN EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS INSTRON.....	45
7.7.12	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	46
7.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	47
8	RESULTADOS.....	48
9	DISCUSIÓN.....	52
10	CONCLUSIÓN.....	56
11	BIOÉTICA.....	57
12	BIBLIOGRAFÍA.....	58
13	ANEXOS.....	65

II ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

Gráfico 1. Determinación del volumen ideal de NaOCl para evitar la pérdida de fuerza a la fractura de la dentina.	49
Tabla 1. Datos básicos seleccionados sobre la estructura y las propiedades mecánicas de la dentina.	20
Tabla 2. Comparación en tamaño de los túbulos dentinarios según su localización.	22
Tabla 3. Número de túbulos.	22
Tabla 4. Resistencia a la compresión y módulo de elástico de la dentina de los dientes de bovino.	23
Tabla 5 Grosor de paredes dentinarias.	23
Tabla 6. Variables independientes.	33
Tabla 7. Variable dependiente.	33
Tabla 8. Fuerza a la fractura de la dentina con diferentes volúmenes.	48
Tabla 9. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.	49
Tabla 10 Resultados de ANOVA.	50
Tabla 11 Resultados de la prueba post hoc de Tukey.	51
Tabla 12. Irrigación con solución salina (Grupo control).	65
Tabla 13. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 40 ml.	65
Tabla 14. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 50 ml.	66
Tabla 15. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 60 ml.	66
Tabla 16. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 100 ml.	67
Figura 1. Mecanismo de acción del NaOCl.	17
Figura 2 Diseño y fabricación del adaptador.	37
Figura 3. Diseño en Software del adaptador.	37
Figura 4 Fabricación del adaptador.	37
Figura 5 Segmento de mandíbula de bovino.	38
Figura 6 Órgano dentario de bovino anterior de mandíbula extraído.	38
Figura 7 . Procedimiento de fabricación de Timol al 0.1 %.	39
Figura 8 Corte de órganos dentarios de bovino.	39
Figura 9 Instrumentación de órganos dentarios de bovino.	40
Figura 10 Conformación de grupos.	41
Figura 11. Alícuotas de NaOCl.	42
Figura 12. Etiquetado de frascos color ámbar.	42
Figura 13 Procedimiento de irrigación del hipoclorito de sodio.	43
Figura 14 Obturación de órganos dentarios de bovino.	43
Figura 15. Órganos dentarios de bovino montados en acrílico transparente.	44
Figura 16. Montaje en acrílico de órgano dentario de bovino.	44
Figura 17. Muestra de los 18 órganos dentarios.	44
Figura 18. Punta en contacto directo con el diente.	45
Figura 19. Colocación de muestra en el adaptador.	45
Figura 20. Colocación de muestra en el adaptador.	45
Figura 21. Manejo y colocación de adaptador y punta en la máquina Instron.	46
Figura 22. Registro de la fuerza en Newtons.	46
Figura 23. Registro de la fuerza en Newtons.	46
Figura 24. Máquina Instron 4465.	47

III ABREVIATURAS

NaOCl	Hipoclorito de sodio		
CHX	Clorhexidina		
-NH-	Grupo amino		
Cl	Cloro		
H ₂ O	Agua		
HOCl	Ácido hipocloroso		
OCl-	Ion de hipoclorito		
EDTA	Ácido Etilendiaminotetraacético		
GPa	Gigapascal		
MPa	Megapascal		
N	Newton		
KG/mm ²	Kilogramos por milímetro cuadrado		
µm	Micrómetro		
mL	Mililitro		
Na	Sodio		
NaOH	Hidróxido de sodio		
H	Hidrógeno		
OH	Ion hidróxido		

1 INTRODUCCIÓN

La utilización de irrigantes en el ámbito de la Endodoncia resulta fundamental para el éxito del tratamiento, generando un notable interés entre los investigadores en la búsqueda y determinación de las condiciones, parámetros y el irrigante óptimo. Actualmente, se ha establecido el estándar de oro, que es el hipoclorito de sodio (NaOCl). No obstante, no existe una estandarización en cuanto a la concentración, temperatura ambiental (en grados Celsius), tiempo y volumen del NaOCl para llevar a cabo una irrigación efectiva que favorezca el desbridamiento adecuado, la desinfección de los conductos y permita la lubricación de las estructuras durante la instrumentación.

Dada la composición de la dentina, es esencial reconocer los posibles efectos adversos. Estas soluciones, que son quelantes o proteolíticos, pueden alterar estructuralmente la dentina, provocando cambios en la permeabilidad, resistencia, elasticidad y fuerza en la microdureza. Investigar cómo el hipoclorito de sodio afecta estos parámetros es crucial para comprender mejor los efectos a corto y largo plazo de los irrigantes en la estructura dental y, por ende, en el éxito del tratamiento.

Al estandarizar el volumen de NaOCl y comprender sus efectos en las propiedades de la dentina, nos permitirá establecer directrices claras para los profesionales en endodoncia, creando estándares específicos para el volumen de hipoclorito de sodio utilizado durante la irrigación de los conductos. Esto podría tener un impacto significativo en la calidad de los tratamientos endodónticos y, como primer paso, en la salud bucal de los pacientes.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el volumen ideal de NaOCl, lo cual permite estandarizar dicho volumen y establecerlo como un parámetro real. En este estudio, se emplearon órganos dentarios de bovino debido a sus similitudes estructurales con los dientes humanos, posibilitando la realización de investigaciones significativas y la aplicación relevante de los hallazgos en la práctica clínica.

Palabras clave: Hipoclorito de sodio, Volumen, Resistencia a la fractura, Irrigación intraconducto, Dentina radicular.

2 ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

2.1.1 Irrigación

La irrigación desempeña un papel esencial en el tratamiento de conductos radiculares, ya que permite el desbridamiento completo del tejido pulpar, la disolución de componentes orgánicos e inorgánicos, y la eliminación del barrillo dentinario y microorganismos infecciosos. Para cumplir estos objetivos, se utilizan distintos irrigantes, los cuales tienen 3 funciones principales (1):

Mecánica: Facilitan la eliminación de desechos y reducen la fricción entre el instrumento y la dentina.

Química: Disuelven tejido orgánico e inorgánico, previenen la formación del barrillo dentinario y favorecen su eliminación.

Biológica: Eliminan microorganismos, biopelículas e inactivan endotoxinas(2).

Para ser consideradas soluciones irrigadoras ideales, estas sustancias deben cumplir con las siguientes propiedades:

-Eficacia antimicrobiana: Actuar como germicidas y fungicidas efectivos, incluyendo acción contra hongos y esporas.

-Baja toxicidad: No ser perjudiciales al entrar en contacto con tejidos vitales.

-Efecto antimicrobiano prolongado: Mantener su acción desinfectante durante un tiempo adecuado.

-Capacidad de disolución: Ser solventes de tejidos o residuos orgánicos e inorgánicos.

-Facilidad de uso: Ser de fácil aplicación, tener un costo moderado y proporcionar una acción rápida y sostenida.

-Propiedades lubricantes: Reducir la fricción entre los instrumentos y la dentina (3).

En la actualidad, el irrigante de elección y considerado estándar de oro entre los endodoncistas es el hipoclorito de sodio. La Asociación Americana de Endodoncia lo describe como un líquido claro, pálido, verde amarillento y alcalino, con un característico olor a cloro (4).

2.1.2 Hipoclorito de sodio (NaOCl)

2.1.2.1 Historia del hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio fue introducido en 1789 en Javelle, Francia, al hacer pasar cloro gaseoso a través de una solución de carbonato de sodio. Su uso inicial se centró en la desinfección de heridas, especialmente durante la Primera Guerra Mundial. Con el tiempo, sus propiedades antimicrobianas y su capacidad para disolver tejido orgánico lo posicionaron como el irrigante más utilizado en endodoncia, donde desempeña un papel clave en la limpieza y desinfección de los conductos radiculares (5).

2.1.2.2 Mecanismo de acción de del hipoclorito de sodio

Su función se manifiesta cuando entra en contacto con las proteínas de los tejidos. En un breve lapso, se generan nitrógeno, formaldehído y acetaldehído. Estos componentes desempeñan la función de romper los enlaces peptídicos, provocando la disolución de las proteínas. A lo largo de este proceso, el hidrógeno de los grupos imino -NH- es sustituido por cloro -N.Cl-, dando lugar a la formación de cloraminas,

las cuales ejercen un efecto en la degradación de tejido vital o necrótico (3).



Figura 1. Mecanismo de acción del NaOCl

El hipoclorito de sodio lleva a cabo un mecanismo de acción saponificante y neutralizante sobre los aminoácidos, resultando en la formación de agua (H₂O) y sal. En este proceso, el ácido hipocloroso presente en las soluciones de NaOCl actúa disolviéndose al entrar en contacto con el tejido orgánico, liberando cloro que, combinado con el grupo amino de la proteína, forma cloruro. El ácido hipocloroso (HOCl) tiene un efecto directo en las funciones de las bacterias, culminando en la lisis microbiana (6). Los iones hipoclorito (Ocl⁻) conducen a la degradación de los aminoácidos y la hidrólisis. Como resultado final, se produce la cloraminación, generando cloraminas que interfieren en el metabolismo celular, incluyendo la síntesis de proteínas y estabilidad de la membrana. Como resultado, las células pierden su vitalidad y mueren (7). Esta acción bactericida y la capacidad de disolver tejido pueden ser modificadas por tres factores principales: concentración, temperatura y pH (8). Es importante destacar que, debido a estos factores, se ha demostrado que el NaOCl puede tener efectos tóxicos en los tejidos vitales, pudiendo ocasionar hemólisis, ulceración en la piel y necrosis (9). El NaOCl se utiliza en concentraciones que varían entre el 0,5 % y el 5,25 %. Después de su aplicación en el tratamiento de conductos, se realiza un enjuague con solución salina a presión para eliminar su toxicidad y prevenir el contacto prolongado en las paredes, ya que esto podría estar relacionado con fracturas radiculares debido a los cambios estructurales que induce (10).

Aunque el hipoclorito de sodio exhibe una buena capacidad de penetración en los túbulos dentinarios, es importante señalar que también puede provocar desproteinización de la dentina en situaciones de contacto prolongado. Hasta la fecha, no existe evidencia científica que determine el volumen adecuado a utilizar durante el tratamiento de conductos (11). Debido a estos efectos, el uso de irrigantes complementarios se ha vuelto una práctica común en endodoncia. Entre

ellos, el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) ha demostrado ser eficaz para eliminar la capa de barrillo dentinario. La introducción de este agente quelante en la endodoncia data de 1957, específicamente para abordar conductos calcificados (12). El EDTA posee la capacidad de inducir la muerte bacteriana al interactuar con los iones metálicos en la membrana celular, y también puede formar compuestos estables con el calcio. Su efecto autolimitante se manifiesta cuando todos los iones disponibles se han unido, deteniendo así la disolución (13). Cuando se emplea con hipoclorito provoca una reducción inmediata del cloro disponible en la solución conocida como reacción de óxido-reducción, lo que disminuye su capacidad reactiva y lo hace ineficaz frente a bacterias y tejido necrótico. Por esta razón, no se recomienda mezclar EDTA con hipoclorito de sodio (14).

Con el propósito de alcanzar una desinfección más profunda, Van Der Sluis propone un protocolo de irrigación ultrasónica que consiste en 3 ciclos de 20 segundos. Durante cada ciclo, se realiza un cambio del NaOCl al 5.25 % entre cada activación. Este enfoque tiene como meta generar un efecto acumulativo para aumentar la disolución del tejido orgánico y mejorar la eficacia del tratamiento (15). No obstante, algunos estudios sugieren que la activación del NaOCl con ultrasonido no reduce significativamente el número de bacterias en los conductos. Por lo tanto, se considera necesario desarrollar nuevas terapias complementarias para la desinfección del conducto o prolongar la duración de los ciclos con ultrasonido para lograr un efecto acumulativo más sustancial y, de esta manera, mejorar la eficacia del tratamiento de conductos radiculares (16,17).

2.1.3 Anatomía radicular

La anatomía radicular en el contexto del tratamiento de endodoncia es notablemente compleja, por lo que resulta esencial poseer un conocimiento detallado de la morfología interna de los dientes. La cavidad pulpar, ubicada en el interior del diente, alberga la pulpa dental, la cual desempeña funciones de irrigación e inervación en el órgano dentario. Una de las características distintivas de esta cavidad es que se

encuentra rodeada por tejidos duros altamente mineralizados, incluyendo esmalte, dentina, cemento, tejidos conectivos blandos y periodonto (18).

2.1.3.1 Esmalte

El esmalte, también reconocido como tejido adamantino o sustancia adamantina, cumple la función de recubrir la dentina, proporcionando protección al tejido conectivo dentro del complejo dentino-pulpar. Este tejido es la sustancia más resistente del organismo y se compone de millones de prismas mineralizados. Conformado en un 96 % por matriz inorgánica, los componentes principales son los cristales de hidroxiapatita. Adicionalmente, contiene un 3 % de agua, mientras que el 1 % restante corresponde a matriz orgánica. Las propiedades físicas del esmalte incluyen una dureza equivalente a cinco en la escala de Mohs, comparable a la apatita. Los valores promedio de dureza en dientes permanentes oscilan entre aproximadamente 3.1 y 4.7 Gpa. Su elasticidad es mínima debido a la baja presencia de agua y sustancia orgánica, con valores del módulo de elasticidad de Young de alrededor de 87.5 +- 2.2 y 72.7 +- 1.3 Gpa. En dientes permanentes. El color del esmalte varía entre blanco amarillento y blanco grisáceo, dependiendo de la dentina subyacente. La permeabilidad es baja y presenta una alta radiopacidad debido a su elevado nivel de mineralización (19).

2.1.3.2 Dentina

La dentina, siendo la porción mineralizada pero vital del complejo dentinopulpar, constituye un tejido cuya composición no es homogénea. Este tejido rodea la pulpa dental tanto en la cámara pulpar como a lo largo de la raíz y está compuesto por un 60 % de materia inorgánica, un 30 % de materia orgánica y un 10% de agua (Tabla 1) (20). La matriz orgánica de la dentina está mayormente compuesta por colágeno, representando el 90 %, el cual es sintetizado por los odontoblastos. De este colágeno, el 98 % pertenece al tipo I. El 10 % restante de la matriz orgánica está conformado por proteínas fosforiladas denominadas SIBLINGs (Small, Integrin-Binding Ligand, N-linked Glycoprotein), que son glucoproteínas pequeñas relacionadas con integrinas (21).

Tabla 1. Datos básicos seleccionados sobre la estructura y las propiedades mecánicas de la dentina.

Composición y estructura de la dentina
50% vol nanocristales de hidroxapatita de calcio
30% de fibras de colágeno donde predominan el colágeno tipo I
10% agua
Tubos dentinarios con dentina peritubular: Su tamaño, alineación y densidad son importantes para las propiedades mecánicas de la dentina (distribución de la tensión).
Dentina radicular zona apical: Con la edad incrementa la esclerosis.
Mineralización no homogénea
Dureza: Depende de las diferentes zonas y grados de mineralización, la dureza disminuye del esmalte a la pulpa.
Cerca de la pulpa 30 kg/mm²
Cerca del esmalte 70 kg/mm²
Dentina de manto 60 kg/mm²
Módulo de Young: 18-25 Gpa
Fuerza final 52-105 Mpa
Fuerza de compresión 275-300

2.1.3.3 Propiedades mecánicas de la dentina.

Dureza: La dureza de la dentina está determinada por el grado de mineralización. Los valores promedios de la microdureza de la dentina en dientes permanentes jóvenes son de 0.57 y 1.13 Gpa (19,20).

Elasticidad: La dentina compensa la rigidez del esmalte, actuando como amortiguador durante la masticación. El módulo de Young varía entre 8-19 Gpa, y la fuerza de compresión se sitúa entre 250-350 Mpa (22).

Túbulos dentinarios: Un estudio realizado por Castillhos Rushel et al. Reveló que los diámetros tubulares medios, en el tercio medio coronario y entre el 35-65 % de la distancia desde la pulpa, oscilan entre 0.794 μm y 1.0 μm para primer y segundo molares. En términos de densidad tubular, se encontraron valores de 17,997,594 túbulos/ mm^2 y 25,211,317 túbulos/ mm^2 para el primer y segundo molar, respectivamente (23).

2.1.4 Pulpa

En cuanto a la pulpa, está compuesta por tejido conectivo laxo, fibras colágenas, reticulares y elásticas, fibras nerviosas, vasos sanguíneos abundantes y sustancia intercelular. La pulpa ocupa la cavidad interior del diente, caracterizada por paredes rígidas e inextensibles (24).

2.1.5 Órganos dentarios de bovino

La adquisición de dientes humanos extraídos han experimentado complicaciones crecientes debido a los avances en el tratamiento dental conservador, lo que ha llevado a que los dientes bovinos se consideren un sustituto viable de la dentina humana (25). Los incisivos bovinos, provenientes de animales con linaje genético y entorno dietético similares, podrían exhibir una mayor homogeneidad en su composición mineral en comparación con los dientes humanos, los cuales se obtienen de donantes diversos con diferentes suplementos dietéticos o de fluoruro (26). Los incisivos bovinos tienen paredes dentinarias más gruesas (3 – 4 mm) en comparación a las raíces de dientes humanos (1 – 3 mm) (27). Se ha evaluado la densidad y el diámetro de los túbulos dentinarios mediante magnificación. En la zona radicular, la densidad tubular en bovinos fue de $23,760 \pm 2453$ túbulos por mm^2 , mientras que en dientes humanos fue de $18,243 \pm 3845$ mm^2 . En la dentina coronal de dientes bovinos, fue de $17,310 \pm 2140$ mm^2 , en comparación con los $18,781 \pm 5855$ mm^2 encontrados en dientes humanos. En cuanto al diámetro de los túbulos dentinarios, se observó que era significativamente mayor en la dentina humana, tanto superficialmente ($2.65 \mu\text{m} \pm 0.19$) como más profundamente ($2.90 \mu\text{m} \pm 0.22$) en comparación con la dentina de la corona de los dientes bovinos. Se

evaluó la relación de la capa media/capa profunda, siendo de $2.85 \mu\text{m} \pm 0.18/3.50 \mu\text{m} \pm 0.33$ en la corona y $3.10 \mu\text{m} \pm 0.33/3.23 \mu\text{m} \pm 30$ en la raíz de los dientes bovinos. En la dentina humana, el diámetro fue de $2.65 \mu\text{m} \pm 0.19$ en la superficie y $2.90 \mu\text{m} \pm 0.22$ más profundamente (28). Un estudio sobre la permeabilidad tubular entre la dentina bovina y humana indicó que cerca de la unión de cemento esmalte, la dentina bovina podría ser una alternativa adecuada a la dentina humana coronal para pruebas in vitro en relación con las características de permeabilidad (29). Gracias a toda esta información, los investigadores han optado por utilizar los incisivos de bovino en estudios ya que han observado similitudes tanto en su matriz orgánica de colágeno y composición mineral (Tabla 2,3,4,5) (30).

Tabla 2. Comparación en tamaño de los túbulos dentinarios según su localización

Ubicación	Bovino μm	Humano μm
Cerca a pulpa	2.4 - 2.8	2.5
Porción media de dentina	2 - 2.5	1.2- 1.5
Unión amelodentinaria	1.6 - 1.9	900 nm

Tabla 3. Número de túbulos

Ubicación	Bovino μm	Humano μm
Porción coronal	$17,310 \pm 2140$	$18,781 \pm 5855$
Porción radicular	$23,760 \pm 2453$	$18,243 \pm 3845$

Tabla 4. Resistencia a la compresión y módulo de elástico de la dentina de los dientes de bovino

Ubicación	Bovino μm	Humano μm
Resistencia compresiva promedio	204,13 Mpa	297 Mpa
Módulo elástico	9.48 Gpa	18.3 Gpa

Tabla 5 Grosor de paredes dentinarias

Grosor de paredes dentinarias	Bovino	Humano
Densidad de paredes dentinarias	3-4 mm	1-3 mm

2.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Actualmente, se están llevando a cabo numerosas investigaciones sobre el uso del hipoclorito de sodio como irrigante principal en el campo de la endodoncia. Sin embargo, existe información limitada sobre el volumen adecuado que se debe utilizar durante el tratamiento de conductos para evitar la pérdida de resistencia en la dentina y prevenir posibles microfracturas. Algunos estudios han abordado la relación entre la concentración, ph, la temperatura y el tiempo de aplicación del hipoclorito de sodio durante el tratamiento de conductos y cómo estos factores pueden estar vinculados con la disminución de la resistencia en la dentina (31)(32)(25).

En el estudio de Souza et al. 2019. Realizaron un estudio con el objetivo de analizar los efectos de aumentar el volumen y el tiempo de irrigación con hipoclorito de sodio al 5.25 % en la resistencia a la fractura de los dientes bovinos que habían sido tratados mediante endodoncia.

En esta investigación, se utilizaron 40 incisivos inferiores de bovinos extraídos y de edades similares. Estos dientes se conservaron en solución salina hasta su utilización y fueron distribuidos aleatoriamente en 4 grupos, cada uno compuesto por 10 dientes. Posteriormente, se realizaron cortes utilizando una pieza de baja velocidad, dejando una longitud total de 15 mm. Se emplearon limas Hedström para eliminar el tejido pupar, y los diámetros de las raíces se mantuvieron entre 8-10 mm a lo largo de toda su longitud. Se estabilizaron el pH, la temperatura y la concentración para utilizar el irrigante de hipoclorito de sodio. Se utilizaron 4 limas K- files en secuencia para la instrumentación.

En el grupo estándar: Volumen y tiempo de contacto (grupo control) 3 ml de irrigación por 1.5 min por lima. Lo que suma un total de 15 mL/11.5 min.

Grupo de aumento de volumen: 6 mL irrigación durante 1.5 min por lima, llegando a un total 30 mL/ 11.5 min.

Grupo aumento de tiempo de contacto: 3 mL de irrigación durante 3 min por lima. Totalizando 15 mL/ 19 min.

Grupo aumento de volumen y tiempo de contacto: 6 mL de irrigación durante 3 min por lima. Lo que suma 30 mL/19 min.

La irrigación se controló mediante una bomba peristáltica VATEA.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un ensayo de resistencia a la fractura.

El estudio reveló que el volumen estándar y el tiempo de irrigación resultaron en la mayor resistencia a la fractura. En contraste, un aumento solo en el volumen o en el tiempo redujo la resistencia a la fractura en un 25 % y un 37 %, respectivamente. Cuando se aumentaron simultáneamente el volumen y el tiempo de irrigación, se observó una reducción del 47 % en la resistencia a la fractura.

Además, se encontró que el tiempo de contacto con el hipoclorito de sodio al 5.25 % tenía un efecto más significativo (0,46) que el volumen (0,564) en la resistencia a la fractura. Concluyeron que al aumentar el volumen o el tiempo de irrigación con una solución de hipoclorito de sodio al 5.25% disminuye la resistencia a la fractura de los dientes bovinos tratados endodónticamente (33).

Se llevó a cabo una estrategia de búsqueda de literatura en PubMed, Springer, Scopus y Wiley Online Library utilizando los términos: "Sodium hypochlorite AND fracture resistance AND volume". La búsqueda se realizó sin restricciones de año. Únicamente se encontró este estudio del autor Souza et al.

3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En el ámbito de la endodoncia, la irrigación implica el uso continuo de soluciones para erradicar la carga bacteriana. Diversos estudios resaltan al hipoclorito de sodio como la opción preferida para los tratamientos de conductos, detallando aspectos como concentración, tiempo y temperatura ideales para la eliminación eficaz de microorganismos y tejido pulpar, tanto necrótico como vital. Es imperativo llevar a cabo esta tarea sin afectar la materia orgánica de la dentina, ya que esta proporciona la resistencia y elasticidad fundamentales al diente.

A pesar de la amplia información disponible, aún existe desconocimiento sobre el volumen óptimo necesario para eliminar microorganismos en los conductos sin degradar la dentina ni comprometer su resistencia a la fuerza, con el propósito de prevenir microfracturas. Esta incertidumbre da lugar a la siguiente pregunta:

3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el volumen de hipoclorito de sodio ideal para evitar pérdida en la fuerza en la dentina durante el tratamiento de conductos?

4 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, en el ámbito de la endodoncia, se llevan a cabo múltiples citas para completar un tratamiento, en el cual se realiza de manera recurrente la irrigación con hipoclorito de sodio. No hay un consenso establecido en el control del volumen de hipoclorito utilizado, a pesar de que esta sustancia induce la pérdida de materia orgánica. Este procedimiento conlleva un problema significativo relacionado con la desnaturalización de la materia orgánica, especialmente el colágeno, que constituye aproximadamente el 90% de la matriz extracelular. La falta de consenso y control en la cantidad de hipoclorito de sodio empleado puede resultar en la pérdida inadecuada de colágeno en la dentina.

Al realizar una búsqueda sistemática, se observa la ausencia de artículos científicos que aborden específicamente la relación entre el volumen de hipoclorito de sodio y la pérdida de colágeno en la dentina. En este contexto, surge el siguiente objetivo: determinar el volumen mínimo necesario de irrigación con NaOCl para prevenir microfracturas en la dentina. Este objetivo busca abordar la necesidad de establecer pautas más precisas y fundamentadas en la práctica de irrigación en la endodoncia, considerando la preservación de la integridad de la dentina y minimizando la desnaturalización del colágeno, lo cual puede tener implicaciones importantes en la eficacia y seguridad del tratamiento endodóntico.

5 HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis científica:

(Hi): A mayor volumen de hipoclorito de sodio induce una pérdida de fuerza a la dentina al momento de realizar un tratamiento de conductos.

5.2 Hipótesis nula:

(Ho): A mayor volumen de hipoclorito de sodio no induce una pérdida de fuerza a la dentina al momento de realizar un tratamiento de conductos.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar el volumen de NaOCl al 5.25 % ideal para evitar una pérdida en la fuerza de la dentina en el tratamiento de conductos.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Medir la fuerza de la dentina en cada grupo de dientes unirradiculares de bovino con irrigación de NaOCl al 5.25 % a un volumen de 40 ml con máquina de prueba universal Instron.
- Medir la fuerza de la dentina en cada grupo de dientes unirradiculares de bovino con irrigación de NaOCl al 5.25 % a un volumen de 50 ml con máquina de prueba universal Instron.
- Medir la fuerza de la dentina en cada grupo de dientes unirradiculares de bovino con irrigación de NaOCl al 5.25 % a un volumen de 60 ml con máquina de prueba universal Instron.
- Medir la fuerza de la dentina en cada grupo de dientes unirradiculares de bovino con irrigación de NaOCl al 5.25 % a un volumen de 100 ml con máquina de prueba universal Instron.
- Medir la fuerza de la dentina en cada grupo de dientes unirradiculares de bovino con irrigación de solución salina a un volumen de 50 ml con máquina de prueba universal Instron.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 DISEÑO DEL ESTUDIO:

El estudio es experimental, prospectivo, transversal y analítico por el tipo de intervención, tiempo, tipo de medición y a la población respectivamente.

7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se llevó a cabo un estudio experimental *ex vivo*, para lo cual se realizó el cálculo del tamaño de la muestra. Se utilizaron 90 incisivos inferiores de bovino, unirradiculares y con ápice cerrado.

Los dientes se dividieron en cuatro grupos experimentales de 18 incisivos cada uno, además de un grupo control negativo. Se evaluaron diferentes volúmenes de hipoclorito de sodio con una concentración máxima a temperatura ambiente, manteniendo una misma fuerza de irrigación en todos los casos.

El grupo control negativo fue irrigado con 50 ml de cloruro de sodio al 0.9 % (PiSA®). En cuanto a los grupos experimentales, el Grupo 2 recibió 40 ml de hipoclorito de sodio al 5.25 % (Cloralex®), el Grupo 3, 50 ml de la misma solución, el Grupo 4, 60 ml, y el Grupo 5, 100 ml del mismo irrigante.

Para determinar el tamaño de la muestra del grupo de estudio, se utilizó la fórmula del muestreo aleatorio probabilístico, empleada cuando el interés es comparar las medias del grupo de estudio para variables cuantitativas.

$$n = \frac{2 * (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 S^2}{d^2}$$

-
-
- α : probabilidad de cometer error tipo 1.
- β : probabilidad de cometer error tipo 2.

- Z: coeficiente de la distribución normal estándar.
- S^2 : Varianza de la variable cuantitativa que tiene el grupo control o de referencia.
- d^2 : Valor mínimo de la diferencia que se desea detectar (datos cuantitativos).
- Asumiendo las exigencias del 95 % de confianza ($\alpha=0.05$; $Z=1.96$) una potencia de la prueba del 90 % ($\beta=0.10$; $Z= 1.282$). Varianza de la variable cuantitativa que tiene el grupo control de referencia $S^2 = 0.068$, valor mínimo de la diferencia que se desea detectar $d^2= 0.70$, se obtiene el tamaño de cada grupo de estudio.
- $n = 2*(1.96 + 1.282)^2 *(0.68)^2/(0.70)^2$
- $n = 21$ por grupo

7.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

7.3.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Incisivos inferiores de bovino entre 2-4 años de edad.
- Incisivos unirradiculares.
- Desarrollo radicular completo.
- Longitud mayor de 15 mm.

7.3.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Desarrollo radicular incompleto.
- Raíces cortas.
- Longitud menor a 15 mm.

7.3.3 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Incisivos que sufran fracturas durante el proceso de la investigación.

7.4 VARIABLES

7.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Tabla 6. Variables independientes.

VARIABLES independiente	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	CATEGORÍA
Fluidez del irrigante.	Una fuerza Newton (1 m/s ²) es una acción que se ejerce sobre un objeto y que, como consecuencia, modifica su estado.	Se empleó una máquina HEPHO SM-610. Se estandarizó a 10 mL en 1 min. Se utilizó una aguja endo eze 27G, colocándola 3 mm por debajo de la LT.	Cuantitativa.
pH de NaOCl.	Indica el grado de alcalinidad de una solución de hipoclorito de sodio.	El pH del hipoclorito de sodio se definió como el valor obtenido al utilizar un pH-metro calibrado para medir la alcalinidad de una solución de NaOCl en condiciones específicas.	Cuantitativa.
Volumen en ml.	Medida del volumen de un líquido en el sistema métrico. Un µl es igual a una millonésima parte de un litro.	Se utilizó una cantidad de hipoclorito de sodio para la irrigación durante el tratamiento de conductos, y se estandarizó a 1 ml en 15 seg en los diferentes grupos del estudio.	Cuantitativa (ml). Continua.

7.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Tabla 7. Variable dependiente.

VARIABLES Dependiente	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	CATEGORÍA
Fuerza para provocar fractura	Es la tensión a la que falla una muestra por separación física.	Se realizó mediante una máquina de ensayo Instron a 0,5 mm/min. Se aplicó fuerza sobre la superficie de cada diente.	Numérica (Newton). Continua.

7.5 CONCORDANCIA Y FIABILIDAD

El estudio se llevó a cabo utilizando una máquina Instron previamente calibrada. Este equipo fue ajustado y verificado para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos durante las pruebas. La calibración de la máquina Instron fue esencial para asegurar la exactitud en la medición de las propiedades mecánicas de los materiales, en este caso, para evaluar la resistencia y el comportamiento de la dentina bajo condiciones específicas de irrigación con hipoclorito de sodio.

La utilización de una máquina Instron calibrada proporcionó resultados más confiables y consistentes, fundamentales para la validez y relevancia científica de la investigación. Las pruebas fueron realizadas por un especialista en el equipo, tras recibir una capacitación para su uso e interpretación de los datos obtenidos.

Para garantizar que la temperatura del irrigante se mantuviera constante, se reguló la temperatura del laboratorio, evitando variaciones que pudieran afectar los resultados. La fluidez del irrigante fue controlada mediante una bomba peristáltica, estandarizándola a 1 mL en 15 segundos para simular la fuerza de irrigación empleada en un entorno clínico real (33). El pH del irrigante fue monitoreado mediante tiras indicadoras de pH, asegurando que se mantuviera estable en todas las pruebas realizadas. Todas estas operaciones se llevaron a cabo en el laboratorio de fisiología de la FEBUAP.

7.6 UBICACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

El presente proyecto se realizó en el laboratorio de fisiología de la FEBUAP, en el laboratorio de Materiales y Biomateriales dentales de la FEBUAP. Durante un periodo de enero 2024 – diciembre 2024.

7.7 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN.

7.7.1 MEDICIÓN A LA FRACTURA DE ÓRGANOS DENTARIOS BOVINOS EN LA MÁQUINA INSTRON.

Se realizó una prueba piloto utilizando un adaptador y una punta previamente disponibles. Sin embargo, durante la prueba se observó que no cumplían con las características necesarias para obtener datos lo más realistas posible. Ante esta situación, se llevó a cabo una revisión de la literatura científica, lo que llevó a la conclusión de que era necesario diseñar y fabricar un adaptador personalizado para la máquina Instron, capaz de cumplir con los requisitos específicos del estudio.

7.7.2 DISEÑO Y CREACIÓN DE ADAPTADOR Y PUNTA PARA LA MÁQUINA INSTRON.

La necesidad de diseñar y fabricar un adaptador y una punta personalizados para la máquina Instron surgió de la importancia de obtener mediciones precisas y reproducibles en los experimentos realizados durante la investigación. No se disponía de un adaptador que cumpliera con las características específicas requeridas para el estudio, particularmente la angulación de los órganos dentarios a 30°, necesaria para simular de manera más realista la posición natural de los dientes humanos durante las pruebas. Estas características fueron fundamentales para garantizar que las fuerzas aplicadas durante las pruebas mecánicas fueran representativas de situaciones clínicas reales, asegurando una distribución uniforme y minimizando posibles variaciones que pudieran afectar los resultados. Además, la personalización del diseño no solo permitió mejorar la precisión y la reproducibilidad del proceso experimental, sino que también optimizó la eficiencia y la seguridad al trabajar con estructuras complejas como los dientes (Figuras 2 A-E, 3 y 4).

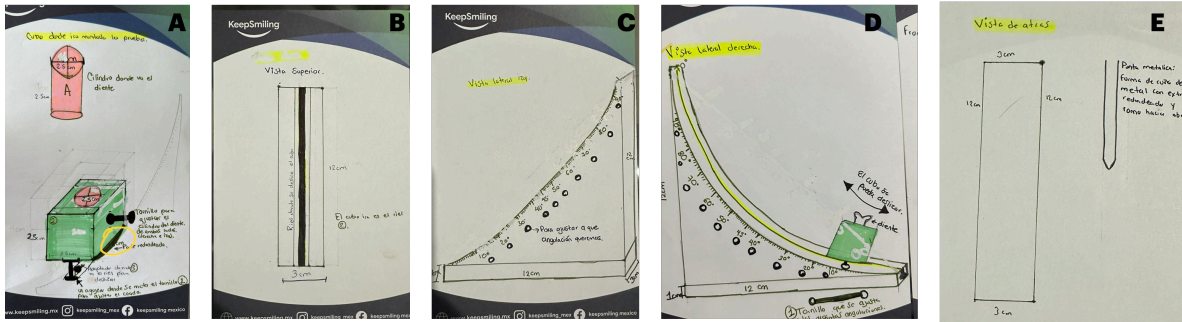


Figura 2 Diseño y fabricación del adaptador.

A) Parte móvil del adaptador. B) Parte superior. C) Lado lateral izquierdo. D) Lado lateral derecho. E) Vista de atrás del adaptador.

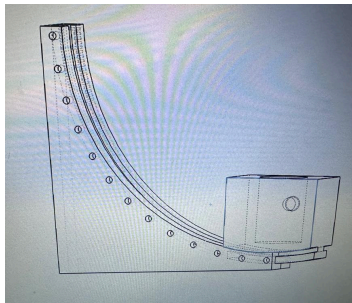


Figura 3. Diseño en Software del adaptador.



Figura 4 Fabricación del adaptador.

Se puede observar la parte móvil del adaptador y las distintas angulaciones con las que se puede trabajar.

7.7.3 RECOLECCIÓN DE ÓRGANOS DENTARIOS DE BOVINO.

Se llevó a cabo la recolección de mandíbulas de bovinos de edad similar (2-3 años), obteniendo un total de 90 incisivos. Las extracciones se realizaron utilizando un elevador grueso (Arain No. 304) y fórceps 150 (Arain No. 150).

Una vez extraídos los dientes, se retiró el tejido blando con un mango de bisturí número 3 (Arain No. 3) y una hoja de bisturí número 10 (Hergom) (Figuras 5,6).



*Figura 5 Segmento de mandíbula de bovino.
2 años, donde se observan órganos dentarios anteriores inferiores.*



*Figura 6 Órgano dentario de bovino anterior de mandíbula extraído.
Se puede observar tejido blando adherido a la raíz.*

7.7.4 ALMACENAJE DE ÓRGANOS DENTARIOS.

Los dientes se almacenaron en una solución de timol al 0.1 % (Hycel, CAS: 89-83-8) a una temperatura de 4 °C, en un frasco color ámbar y alejado de la luz hasta su uso. Para la preparación de la solución, se utilizó un matraz aforado de 1000 ml. Primero, se colocaron 100 ml de etanol (Fermont, CAS: 64-17-5). Luego, se pesaron 0.1 g de timol en una balanza analítica (OHAUS, Modelo: Adventure Pro AV264C) y, finalmente, se agregaron 900 ml de agua destilada a temperatura ambiente (Figura 7).

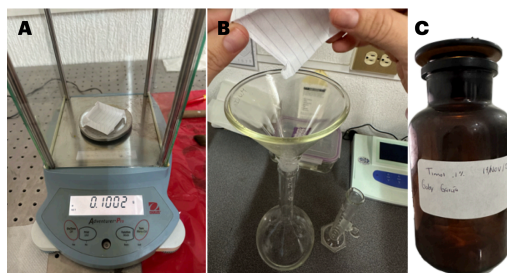


Figura 7. Procedimiento de fabricación de Timol al 0.1 %.
 A) Pesaje de timol en la balanza analítica. B) incorporación del timol al etanol y agua destilada. C) Solución de timol al 0.1 %.

7.7.5 PREPARACIÓN DE ÓRGANOS DENTARIOS.

Los dientes se midieron y se estandarizaron a una longitud de 19 mm, desde la porción apical hasta la cervical. Este corte se realizó con disco de diamante (MDT), mandril (Anelsam) y micromotor MDC III (MDC). Una vez obtenida la muestra con las medidas específicas, se conformó el acceso de los dientes de bovino utilizando una fresa de bola #4 de carburo (MDT) para pieza de alta velocidad y la fresa endoZ (Dentsply Maillefer) (Figura 8). Se irrigó con abundante agua durante este proceso.



Figura 8 Corte de órganos dentarios de bovino.
 19 mm con disco de diamante y micromotor.

Se realizó la instrumentación con limas BlueShaper® (ZARC), iniciándose con la lima Z1 14/02 y culminando con la Z5 30/05, durante un total de 1 minuto (30 segundos para cada lima). Entre cada instrumento, se irrigaron 3 mL de agua bidestilada utilizando una aguja endodóntica 30G (Endo Eze) con salida biselada externa, que llegaba a 2 mm del ápice. Esta instrumentación se llevó a cabo a una longitud de 18,5 mm para evitar una variabilidad exagerada en el procedimiento y

lograr un espacio con dimensiones que permitieran obtener una capacidad volumétrica uniforme (Figura 9).

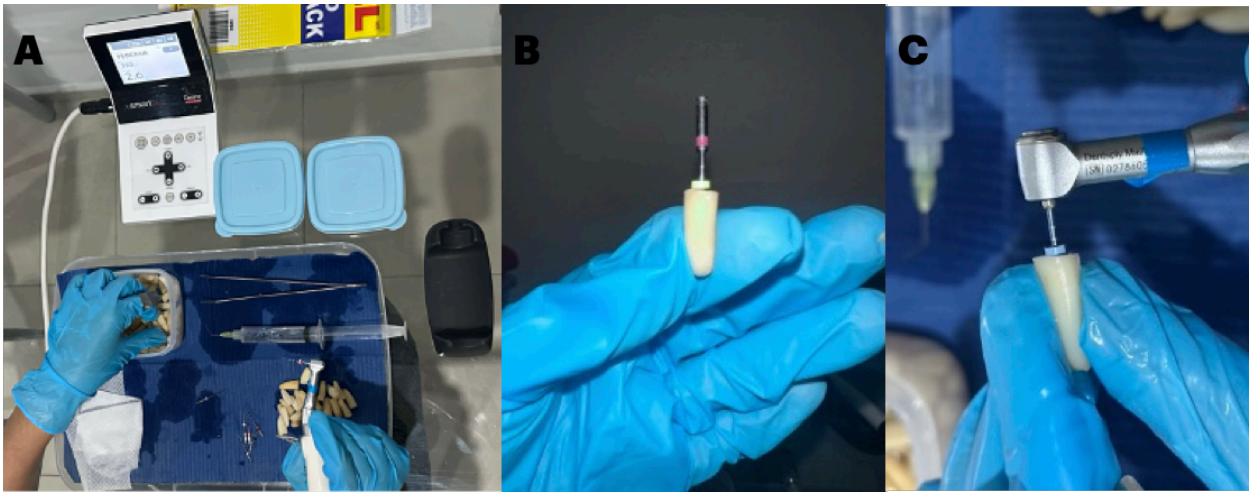


Figura 9 Instrumentación de órganos dentarios de bovino.

A) Se utilizó motor de endodoncia X-Smart Plus (Densply). B) y C) Sistema BlueShaper (ZARC) donde se instrumentó desde una lima Z1 que es de 14/02 a una lima Z5 30/05.

7.7.6 CONFORMACIÓN DE GRUPOS.

De manera aleatoria, se seleccionaron los órganos dentarios bovinos para cada grupo, conformando un total de 16 órganos dentarios por cada grupo. Los diferentes volúmenes se asignaron a los grupos de la siguiente manera:

El Grupo 1 (control negativo) fue irrigado con 50 ml de cloruro de sodio al 0.9 % (PiSA®), mientras que los grupos experimentales recibieron diferentes volúmenes de hipoclorito de sodio al 5.25 % (Cloralex®). El Grupo 2 fue irrigado con 40 ml, el Grupo 3 con 50 ml, el Grupo 4 con 60 ml y el Grupo 5 con 100 ml de la misma solución (Figura 10).

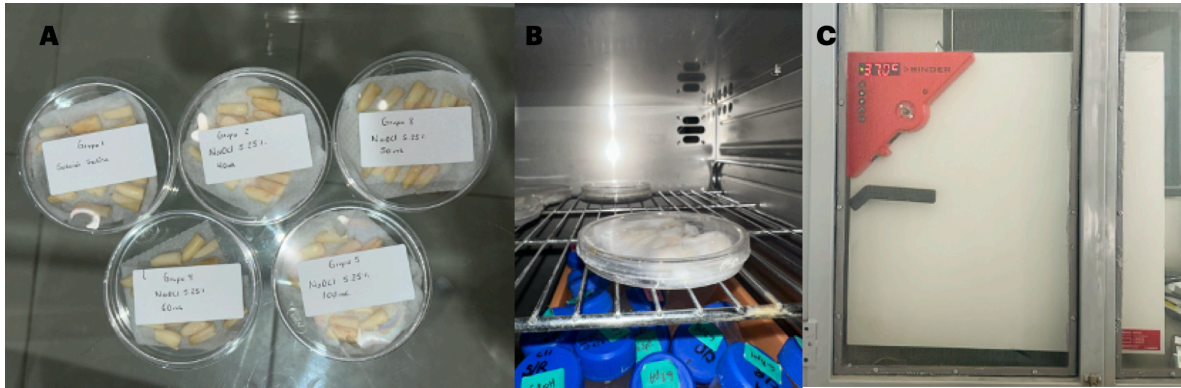


Figura 10 Conformación de grupos.

A) Se realizó la asignación aleatoria de los órganos dentarios, los cuales fueron colocados en cajas Petri de plástico, cada una identificada con una estampa que indicaba el volumen de irrigante correspondiente. B) Las cajas Petri fueron colocadas en una estufa Binder para mantener un ambiente similar al de la cavidad oral, con una temperatura de 37 °C y una humedad del 100 %. C) La estufa Binder permitió monitorear y garantizar que la temperatura se mantuviera estable durante el experimento.

7.7.7 ALICUOTAS DE HIPOCLORITO DE SODIO.

Para evitar la variabilidad en la concentración del hipoclorito de sodio, se dispensaron los mililitros específicos requeridos por diente en frascos ámbar, evitando así la apertura y cierre repetitivo de la botella original. Esta medida redujo la volatilización del compuesto y minimizó la pérdida de concentración. Cada frasco se llenó con 30 ml de irrigante, lo que aseguró una estandarización del procedimiento. Posteriormente, se llenaron según los distintos grupos y volúmenes requeridos, se sellaron correctamente y se almacenaron hasta su uso (Figura 11,12).



*Figura 11. Alícuotas de NaOCl.
Colocación de distintos volúmenes según el grupo al que corresponde, 40 ml, 50 ml, 60 ml y 100 ml. Frascos color ámbar.*



Figura 12. Etiquetado de frascos color ámbar.

7.7.8 IRRIGACIÓN QUÍMICA CON LOS DISTINTOS VOLÚMENES.

El grupo G1 fue el control positivo, en este grupo se utilizó 50 ml de solución salina como irrigante. Los grupos G2 a G5 recibieron diferentes volúmenes de irrigación con NaOCl al 5.25 % (Cloralex®). La irrigación se realizó a una velocidad constante de 1 ml cada 15 segundos, utilizando una bomba peristáltica (HEPHO SM-610) para mantener una fuerza y velocidad de irrigación controladas, además de asegurar un pH, concentración y temperatura constantes del hipoclorito de sodio. Se colocó cera rosa dental en la parte apical de todos los órganos dentarios, con el fin de evitar que se extruyera el hipoclorito de sodio al irrigar los dientes. Una vez terminada la

irrigación, se aplicó una gasa húmeda con solución salina y se llevaron a la estufa Binder para mantenerlos en un ambiente con 100 % de humedad a una temperatura de 37 °C (Figura 13).

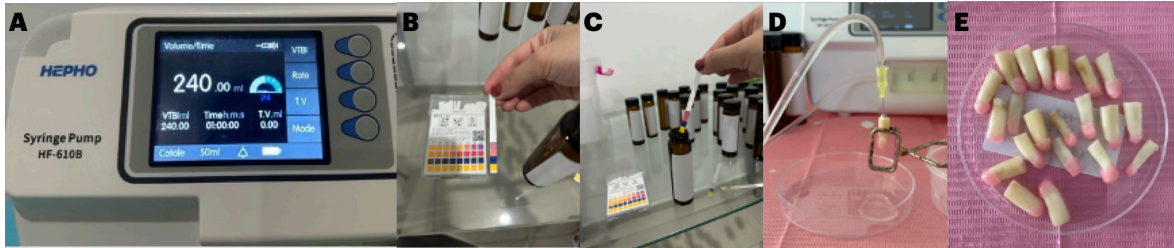


Figura 13 Procedimiento de irrigación del hipoclorito de sodio.

A) Se observa un total de 240 ml en la pantalla lo cual en un tiempo de 1 hora nos dará una irrigación controlada de 1 ml cada 15 segundos. B) y C) Se tomó el pH del hipoclorito de sodio una vez iniciada las pruebas y al finalizar para tener un control. D) Manera en cómo se irrigaron los órganos dentarios de bovino, se colocó un tope endodóntico en la aguja para tener la misma medida al momento de irrigarlos. Se sujetó cada órgano dentario con una pinza de mosquito. E) Se les colocó un pedazo de cera rosa dental en la parte apical de cada diente, para evitar que el hipoclorito de sodio se extruyera.

7.7.9 OBTURACIÓN DE LOS DIENTES.

Una vez terminada la irrigación de cada grupo, se realizó la obturación. Esta se llevó a cabo utilizando puntas de gutapercha BlueShaper® (30/05), utilizando cemento AH Plus (Dentsply®) y aplicando la técnica de onda continua, dejando la obturación al límite cervical (Figura 14).

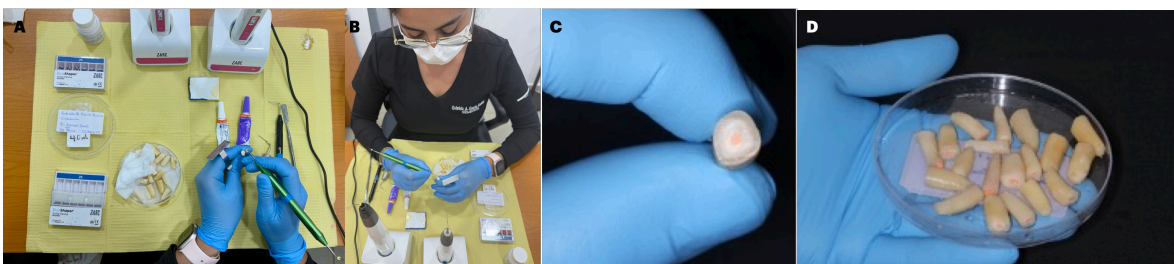


Figura 14 Obturación de órganos dentarios de bovino.

A) Campo de trabajo. B) Obturación y compactación de gutapercha. C) Órgano dentario de bovino obturado. D) Caja Petri con todos los órganos dentarios de bovino.

7.7.10 PREPARACIÓN DE CILINDROS DE ACRÍLICO.

Para la elaboración del montaje de los dientes, se utilizó acrílico autocurable transparente y color A1, mezclado con monómero en proporción 1:3 (polvo y líquido

NicTone). Se montaron en pedazos de Tuboplus hidráulico (PP-R) con vaselina. Se colocaron 17 mm del diente dentro del acrílico, dejando 2 mm expuestos (Figura 15,16,17). Los incisivos se almacenaron en solución salina, dentro de un frasco color ámbar, hasta su evaluación en la máquina universal de pruebas Instron.



Figura 15. Órganos dentarios de bovino montados en acrílico transparente.

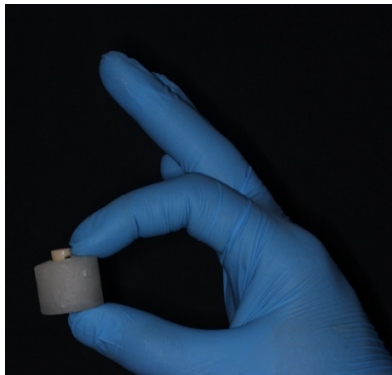


Figura 16. Montaje en acrílico de órgano dentario de bovino. Manteniendo 2 mm fuera.



Figura 17. Muestra de los 18 órganos dentarios. Corresponden al grupo de 40 ml de hipoclorito de sodio ya montados en acrílico.

7.7.11 EVALUACIÓN EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS INSTRON.

Se utilizó la máquina universal de pruebas Instron 4465, a la que se le aplicó una fuerza en dirección corono-apical. La fuerza se generó a una velocidad constante de 1 mm/min hasta provocar la fractura. La fuerza máxima se registró en Newtons y se documentó en el punto de fractura en la computadora (Figuras 18-21).

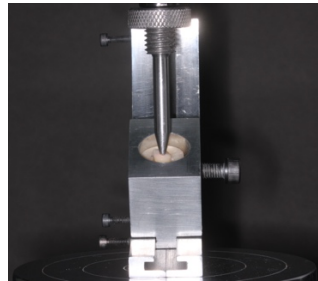


Figura 18. Punta en contacto directo con el diente.

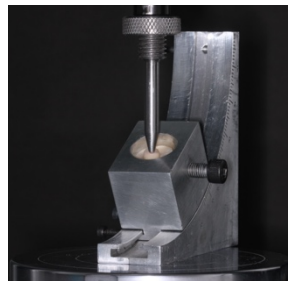
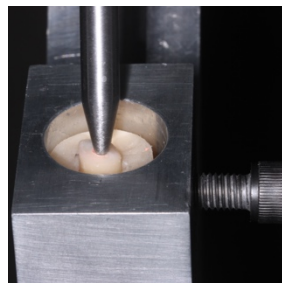


Figura 19. Colocación de muestra en el adaptador.



*Figura 20. Colocación de muestra en el adaptador.
En la máquina Instron y punta en contacto directo con la dentina del diente.*



Figura 21. Manejo y colocación de adaptador y punta en la máquina Instron.

7.7.12 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de datos, se obtuvo directamente del equipo calibrado (Instron 4465) la fuerza aplicada a cada órgano dentario de bovino, la cual se registró en Newtons (Figuras 22-24).

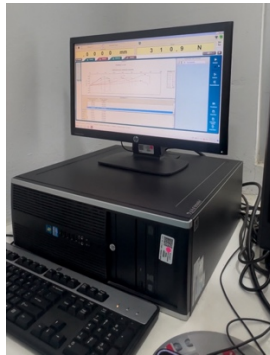


Figura 22. Registro de la fuerza en Newtons.
En cada órgano dentario de bovino.

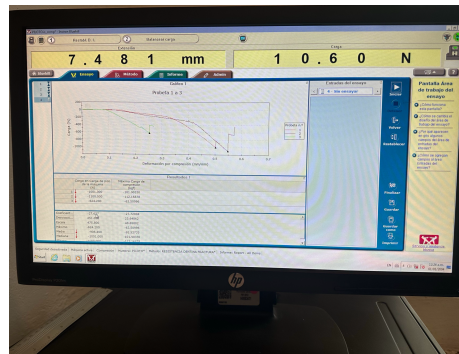


Figura 23. Registro de la fuerza en Newtons.
En cada órgano dentario de bovino.

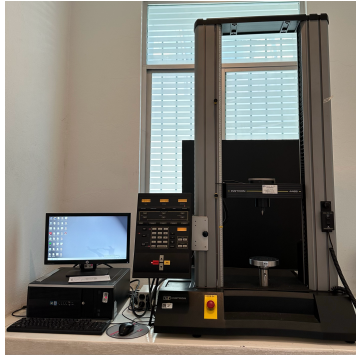


Figura 24. Máquina Instron 4465.

7.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la recolección de datos, se utilizó el programa Microsoft Excel 2025. Posteriormente, los datos fueron ingresados en el software de análisis estadístico Stata. Se llevó a cabo estadística descriptiva (media y desviación estándar), se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, para establecer la distribución de los datos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, y la prueba post hoc de Tukey.

8 RESULTADOS

La conformación de los cinco grupos se realizó de manera aleatoria, incluyendo un grupo control (solución salina) (n=16) y 4 grupos de estudio (40, 50, 60 y 100 NaOCl) (n=16 p/g).

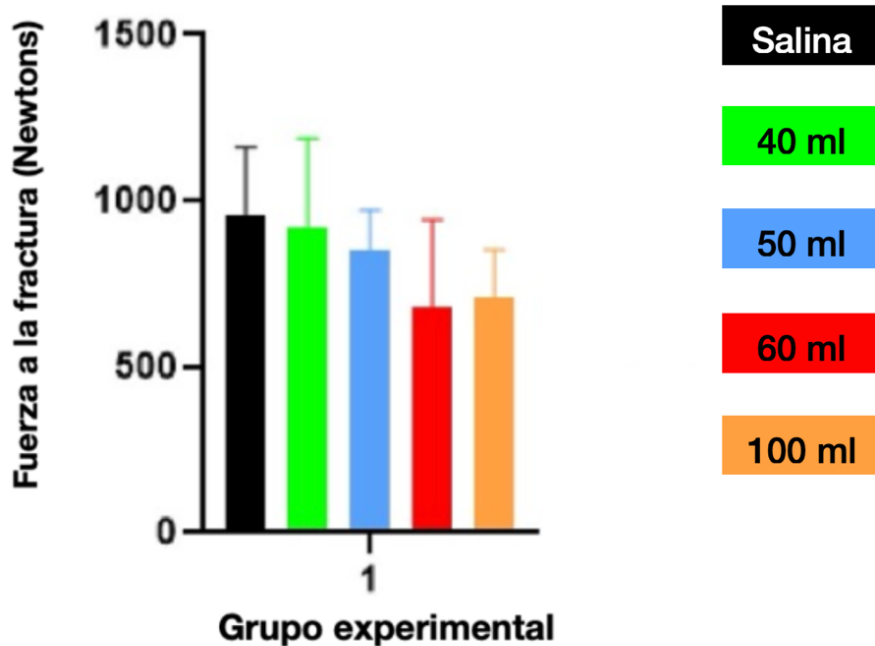
Posteriormente, la fuerza de la fractura de la dentina fue medida en Newtons (N). La estadística descriptiva de cada grupo reveló que el grupo que recibió 60 ml de NaOCl presentó la mayor pérdida de fuerza a la fractura de la dentina con un promedio de (677 ± 265 N), significativamente inferior al registrado en el grupo control (solución salina) con un promedio de (1006 ± 309 N) y en el grupo tratado con 40 ml de NaOCl con un promedio de (922 ± 265 N) (Tabla 8, Gráfico 1).

Tabla 8. Fuerza a la fractura de la dentina con diferentes volúmenes.

Newtons			
Grupo	n	Media	DE
40 NaOCl	16	922	265
50 solución Salina	16	1006	309
50 NaOCl	16	849	124
60 NaOCl	16	677	265
100 NaOCl	16	711	144

La fuerza de la dentina fue medida en Newtons.

Gráfico 1. Determinación del volumen ideal de NaOCl para evitar la pérdida de fuerza a la fractura de la dentina.



Las barras muestran la media y desviación estándar de la fuerza a la fractura en unidades Newtons de cada grupo con los distintos volúmenes de NaOCl. Existe una diferencia significativa entre el grupo tratado con solución salina y el grupo irrigado con 60 ml de NaOCl.

Para determinar la normalidad en la distribución de los datos, se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk, la cual mostró que los valores son mayores a ($p=0.05$). Este resultado indica que los datos siguen una distribución normal (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Volumen	N	Prob > z
NaOCl 40 ml	16	0.08916
Solución salina 50 ml	16	0.33501
NaOCl 50 ml	16	0.24499
NaOCl 60 ml	16	0.50166
NaOCl 100 ml	16	0.47568

Dado que se cumplió el supuesto de normalidad, se realizó un análisis de varianza ANOVA de una vía para evaluar si existen diferencias significativas entre los grupos, utilizando un nivel de confianza del 95%.

El resultado de ANOVA mostró un valor de ($p=0.0005$), lo que indica que la variabilidad explicada por los grupos es estadísticamente significativa (Tabla 10).

Tabla 10 Resultados de ANOVA

Fuente	F	p-valor
Modelo	5.69	0.0005
Grupo_num	5.69	0.0005

Para determinar específicamente entre qué grupos se presentaban estas diferencias, se realizó un análisis post hoc, mediante la prueba de Tukey.

De acuerdo a los resultados, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control (50 ml de solución salina) y el grupo tratado con 40 ml de NaOCl ($p=0.05$), por otra parte, el grupo tratado con 60 ml de NaOCl presentó diferencias significativas en comparación con el grupo control y el grupo de 40 ml ($p=0.001$), evidenciando una reducción en la fuerza de fractura de la dentina. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos tratados con 60 ml y 100 ml de NaOCl ($p=0.656$), lo que sugiere que el daño estructural en la dentina se produce a partir de 60 ml (Tabla 11).

Tabla 11 Resultados de la prueba post hoc de Tukey.

Comparación	p_value
40 vs 100	0.005*
50 vs 100	0.064
60 vs 100	0.656
Salina vs 100	0.001*
50 vs 40	0.326
60 vs 40	0.001*
Salina vs 40	0.639
60 vs 50	0.023
Salina vs 50	0.149
Salina vs 60	0.0003*

*ANOVA $p < 0.05$, post hoc tukey $p < 0.05$.

9 DISCUSIÓN

El principal objetivo de este estudio fue determinar el volumen óptimo de hipoclorito de sodio (NaOCl) para minimizar la pérdida de fuerza a la fractura de la dentina en dientes de bovino. Para ello, se compararon distintos volúmenes de NaOCl a una misma concentración (5.25 %), no obstante, al realizar el procedimiento de forma manual, se presentó variabilidad en la aplicación de la fuerza de irrigación. Para evitar esta variabilidad, se utilizó un sistema de irrigación estandarizado mediante el uso de una bomba peristáltica (marca HEPHO SM-610) para irrigar de manera homogénea los órganos dentarios de interés. Con la ayuda de este equipo se garantizó un flujo constante de 1 ml de irrigante cada 15 segundos. Estos parámetros se propusieron a partir de la práctica clínica en endodoncia.

De igual manera manteniendo el pH y temperatura igual entre todos los grupos. Una vez resuelta la variabilidad de perfusión, se llevaron a cabo las primeras pruebas en la máquina Instron (4465). Al realizarse, se observó que el adaptador y la punta que se tenían para el estudio no cumplían con los requerimientos necesarios para reproducir de forma real y clínica la prueba. Por lo tanto, se diseñó un adaptador y una punta que cumplieran con los requisitos para reproducir de mejor manera el estudio. Una vez realizado el diseño, se fabricó. Con ello se logró cumplir con las funciones necesarias para hacer reproducible el estudio, hasta alcanzar condiciones que simularan la posición dental.

En esta investigación, se eligieron dientes de bovino debido a su similitud en la composición estructural y morfológica con los dientes humanos, lo que permitió tener una estandarización en estudios *in vitro* (34)(35). En particular, la permeabilidad tubular de la dentina bovina en la región cercana a la unión cemento-esmalte ha demostrado ser comparable a la de la dentina humana (27). De igual manera se ha demostrado que la dentina bovina presenta una composición química más similar a la dentina humana en comparación con otras especies analizadas, lo que la convierte en un modelo adecuado para estudios *in vitro* en odontología (36).

Esta similitud es relevante en la evaluación de diferentes irrigantes endodónticos como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 17 %, un agente quelante. Fue utilizado por primera vez por Nygaard-Østby en 1957. Este irrigante contribuye a lograr una limpieza adecuada al eliminar el barrillo dentinario. Se ha informado que su uso durante 1 minuto es suficiente para remover esta capa sin provocar una erosión significativa en la dentina (37). Sin embargo, el EDTA no es un agente bactericida por sí solo, ya que únicamente debilita la membrana celular bacteriana sin eliminar completamente las bacterias (38)(39). Por lo tanto, se combinan otros irrigantes como lo es la Clorhexidina (CHX), el cual muestra una alta actividad antibacteriana similar a la del hipoclorito de sodio, lamentablemente no tiene una capacidad de eliminar la materia orgánica, lo que limita su limpieza al momento de utilizarlo como irrigante en el tratamiento de conductos. Una de sus principales ventajas es su sustantividad, lo que significa que puede seguir actuando contra las bacterias incluso después de haber sido eliminada del conducto (40). Debido a estas razones se eligió el hipoclorito de sodio ya que es ampliamente utilizado en la preparación química del conducto radicular debido a su acción bactericida y su capacidad para degradar materia orgánica. Su mecanismo de acción se basa en la liberación de moléculas de cloro libre, que inducen la degradación y la hidrólisis de aminoácidos, lo que lleva a la desintegración del tejido (8). Dependiendo de su concentración, el NaOCl tiene un pH entre 11.5 y 12.5, y el hidróxido de sodio (NaOH) presente en la solución contribuye a la disolución del tejido orgánico mediante la saponificación de grasas (41).

A pesar de sus beneficios, se ha demostrado que el NaOCl puede afectar las propiedades mecánicas de la dentina, disminuyendo la microdureza, aumentando la rugosidad y reduciendo la resistencia flexural y a la fatiga (41). En este sentido, Shruthi et al. (2023) encontraron que el uso de NaOCl, especialmente a concentraciones del 5 % y cuando es calentado intraconducto, reduce significativamente la microdureza dentinaria en comparación con el grupo control ($p < 0.001$) (42).

Del mismo modo, se reportó que el aumento en la concentración de NaOCl mejora la desinfección y la eliminación de tejidos blandos (43), pero también puede causar irritación en los tejidos periapicales y debilitar la matriz orgánica de la dentina, haciéndola más susceptible a fracturas (44). Además, Haiping Xu et al. observaron que concentraciones elevadas de NaOCl provocan deformaciones en la dentina intertubular, agrandamiento y fusión de túbulos dentinarios, aumentando la susceptibilidad a la formación de grietas (45).

Otro factor determinante es el tiempo de contacto del NaOCl con la dentina. Souza et al. (2019) reportaron que tiempos de exposición prolongados pueden reducir la resistencia a la fractura hasta en un 37 %, lo que resalta la importancia de establecer protocolos de irrigación adecuados (33).

Los resultados en este estudio indican que existe una relación directa entre el volumen de NaOCl utilizado y la resistencia a la fractura de los dientes bovinos tratados. El grupo control, irrigado con solución salina al 0.9 %, presentó la mayor resistencia a la fractura (1006 ± 309 N), mientras que el grupo expuesto al mayor volumen de NaOCl (100 ml) mostró una reducción significativa en la resistencia (711 ± 144 N). Estos hallazgos sugieren que un mayor volumen de NaOCl incrementa la desnaturalización del colágeno y altera la estructura de la matriz dentinaria, en concordancia con estudios previos (33). De igual manera se reportó en el estudio de Souza et al. que los dientes irrigados con el volumen y tiempo estándar (grupo control) presentaron la mayor resistencia a la fractura (1496.76 ± 234.40 N), sin embargo, cuando se aumentó el volumen y el tiempo de contacto del hipoclorito de sodio, las raíces se debilitaron significativamente (804.81 ± 39.34 N), reduciendo la resistencia en aproximadamente un 47%. En este estudio, el tiempo de contacto del NaOCl con la dentina varió en función del volumen total irrigado, ya que se estandarizó una irrigación de 1 ml cada 15 segundos. Dependiendo del grupo experimental, este tiempo se incrementó progresivamente. El impacto del volumen de irrigación fue estadísticamente significativo. Se observó que volúmenes superiores a 50 ml redujeron progresivamente la fuerza a la fractura, con disminuciones más notables en los grupos de 60 ml y 100 ml. Estos hallazgos

refuerzan la importancia de controlar estrictamente el volumen de NaOCl durante los tratamientos endodónticos para preservar la integridad estructural de la dentina.

Es necesario identificar el volumen óptimo de NaOCl que permita una adecuada desinfección sin comprometer la estructura dentinaria. Los hallazgos de este estudio sugieren que volúmenes inferiores a 50 ml son adecuados para minimizar la pérdida de fuerza a la fractura de la dentina y reducir el riesgo de fractura. Sin embargo, es necesario investigar si estos volúmenes garantizan una desinfección efectiva y la eliminación de microorganismos.

10 CONCLUSIÓN

Este estudio destaca la importancia de establecer protocolos clínicos más precisos para el uso del hipoclorito de sodio (NaOCl) en endodoncia. Los resultados sugieren que la irrigación con volúmenes inferiores a 50 ml de NaOCl al 5.25 % podría ser una alternativa adecuada para minimizar alteraciones en la estructura proteica (colágeno), evitando la pérdida de fuerza a la fractura dentinaria sin comprometer la efectividad del procedimiento.

La regulación del volumen de irrigación se presenta como un factor clave para preservar la integridad estructural de los dientes tratados y optimizar la calidad de los tratamientos endodónticos. La implementación de estos hallazgos en la práctica clínica podría mejorar el pronóstico y la longevidad de los dientes tratados endodónticamente, favoreciendo así la salud bucal de los pacientes.

En consecuencia, la hipótesis nula del estudio fue rechazada, confirmando que el volumen de NaOCl influye significativamente en la fuerza mecánica de la dentina.

11 BIOÉTICA

Para los dientes de bovino que se utilizaron en este estudio fueron manejados con las normas: NOM-113-SSA-2006 (en el apartado de medidas protección ambiental-salud ambiental- residuos peligrosos biológico-infecciosos-clasificación y especificaciones de manejo). Se utilizó para el manejo adecuado de los dientes de bovino, asegurando que la clasificación, almacenamiento y disposición de los residuos biológico-infecciosos generados durante la manipulación se realizó conforme a las especificaciones establecidas, minimizando riesgos ambientales y de salud (46).

Norma oficial mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002 Residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica. Se aplicó en el procedimiento para el manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos producidos durante la atención y tratamiento. Esto implicó seguir un protocolo riguroso de recolección, clasificación, almacenamiento y disposición final de dichos residuos, garantizando que se cumplan las medidas de protección ambiental y de salud (47).

La NOM-062-ZOO-1999 es la norma oficial mexicana establece las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio en México. Su objetivo principal es garantizar el bienestar animal y regular el uso ético y científico de estos en investigación. Aunque este estudio utilizó dientes de bovino y no animales vivos, esta norma se reflejó al asegurar que la obtención y uso de los tejidos se realizara a partir de fuentes autorizadas y con prácticas éticas, en concordancia con las especificaciones técnicas para el cuidado y uso de animales de laboratorio, garantizando el bienestar animal en todo el proceso (48).

12 BIBLIOGRAFÍA

1. Dioguardi M, Di Gioia G, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano G. Endodontic irrigants: different methods to improve efficacy and related problems. *Eur J Dent.* 2018;12(3):459–66.
2. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in Endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
3. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endod Top.* 2013;34(1):3–17.
4. American Association of Endodontics. Contemporary terminology for endodontics. 6th ed. Chicago: American Association of Endodontics; 1998
5. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
6. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014 Mar 21;216(6):299–303.
7. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M. Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2010 Mar;36(3):520–3.
8. Estrela C, Estrela CRA, Luis Barbin E, César J, Spanó E, Marchesan MA, et al. Mechanism of action of sodium hypochlorite 113. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113–7.
9. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation: literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000 May;33(3):186–93.

10. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Habahbeh N, Qualtrough A, Worthington H, et al. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*. 2004;37(7):438–46.
11. Baruwa AO, Martins JNR, Maravic T, Mazzitelli C, Mazzone A, Ginjeira A. Effect of endodontic irrigating solutions on radicular dentine structure and matrix metalloproteinases—A comprehensive review. *Dent J*. 2022;10(12):219.
12. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*. 2003 Dec;36(12):810–30.
13. Saricam E, Küçük M, Akyol M. Evaluation of EDTA, QMix, and Irritrol solutions activated with Er,Cr:YSGG and diode lasers on the push-out bond strength of filling material. *Microsc Res Tech*. 2021 Apr 1;84(4):584–91.
14. Gomes BPFA, Aveiro E, Kishen A. Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Braz Dent J*. 2023;34(4):1–33.
15. Van der Sluis LWM, Vogels MPJM, Verhaagen B, Macedo R, Wesselink PR. Study on the Influence of Refreshment/Activation Cycles and Irrigants on Mechanical Cleaning Efficiency During Ultrasonic Activation of the Irrigant. *J Endod*. 2010 Apr;36(4):737–40.
16. Alves FRF, Almeida BM, Neves MAS, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF. Disinfecting oval-shaped root canals: Effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod*. 2011 Apr;37(4):496–501.

17. Paiva SSM, Siqueira JF, Rôças IN, Carmo FL, Ferreira DC, Curvelo JAR, et al. Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: A clinical study. *J Endod*. 2012 Sep;38(9):1202–6.
18. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984 Nov;58(5):589–99.
19. Gómez de Ferraris ME. *Histología, embriología e ingeniería tisular*. 3ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2009. p. 255–390.
20. Hülsmann M. Effects of mechanical instrumentation and chemical irrigation on the root canal dentin and surrounding tissues. *Endod Top*. 2013;29(1):55–86.
21. Liu MM, Li WT, Xia XM, Wang F, Macdougall M, Chen S. Dentine sialophosphoprotein signal in dentineogenesis and dentine regeneration. *Eur Cell Mater*. 2021 Jul 1;42:43–62.
22. Zaytsev D. Correction of some mechanical characteristics of human dentin under compression considering the shape effect. *Materials Science and Engineering C*. 2015;49(1):101–5.
23. Ruschel HC, Chevitaese O. Density and diameter of dentinal tubules of first and second primary human molars—comparative scanning electron microscopy study. *J Clin Pediatr Dent*. 2002 Spring;26(3):297–304.
24. Abreu Correa J, MGR, MLI, O de la CI. Complejo dentino-pulpar: estructura y diagnóstico. *Rev Med Isla Juventud*. 2013;(82):82-9

25. Slutzky-Goldberg I, Maree M, Liberman R, Heling I. Effect of sodium hypochlorite on dentin microhardness. *J Endod.* 2004 Dec;30(12):880–2.
26. Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A, Attin T. Is bovine dentine an appropriate substitute for human dentine in erosion/abrasion tests? *J Oral Rehabil.* 2008 May;35(5):390–4.
27. Sano H, Ciucchi B, Matthews WG. Tensile Properties of Mineralized and Demineralized Human and Bovine Dentin. *J Dent Res.* 1994;73(6):1205–11.
28. Schilke R, Lisson JA, Bauss O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol.* 2000 May;45(5):355–61.
29. Schmalz G, Hiller KA, Nunez LJ, Stoll J, Weis K. Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod.* 2001 Jan;27(1):23-30.
30. Moreira DM, Affonso Almeida JF, Ferraz CCR, de Almeida Gomes BPF, Line SRP, Zaia AA. Structural Analysis of Bovine Root Dentin after Use of Different Endodontics Auxiliary Chemical Substances. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):1023–7.
31. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod.* 2004 Nov;30(11):792–5.
32. Saha SG, Sharma V, Bharadwaj A, Shrivastava P, Saha MK, Dubey S, et al. Effectiveness of various endodontic irrigants on the micro-hardness of the root canal dentin: An in vitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research.* 2017 Apr 1;11(4):01–4.

33. Souza EM, Quadros J de RP, Silva EJNL, De-Deus G, Belladonna FG, Maia-Filho EM. Volume and/or time of NaOCl influences the fracture strength of endodontically treated bovine teeth. *Braz Dent J*. 2019 Jan 1;30(1):31–5.
34. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res*. 1987 Aug;66(8):1375-9.
35. Posada MC, Sánchez CF, Gallego GJ, Peláez Vargas A, Restrepo LF, López JD. Dientes de bovino como sustituto de dientes humanos para su uso en la odontología: revisión de literatura. *Rev CES Odontol*. 2006;19(1):63–68.
36. De Dios Teruel J, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJO. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol*. 2015;60(5):768–75.
37. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*. 2002 Jan;28(1):17–9.
38. Só MVR, Vier-Pelisser FV, Darcie MS, Smaniotto DGR, Montagner F, Kuga MC. Pulp tissue dissolution when the use of sodium hypochlorite and EDTA alone or associated. *Rev Odonto Ciênc*. 2011;26(2):148–53.
39. Giardino L, Bidossi A, Del Fabbro M, Savadori P, Maddalone M, Ferrari L, et al. Antimicrobial activity, toxicity and accumulated hard-tissue debris (AHTD) removal efficacy of several chelating agents. *Int Endod J*. 2020 Aug 1;53(8):1093–110.
40. Dornelles-Morgental R, Guerreiro-Tanomaru JM, De Faria-Jnior NB, Hungaro-Duarte MA, Kuga MC, Tanomaru-Filho M. Antibacterial efficacy of endodontic irrigating solutions and their combinations in root canals contaminated with

Enterococcus faecalis. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology. 2011 Sep;112(3):396–400.

41. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppini-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. Vol. 37, Journal of Dentistry. 2009. p. 903–8.
42. Shruthi ST, Kalaiselvam R, Balaji L. Effect of Heated Sodium Hypochlorite Irrigant on Structural Changes and Microhardness of Radicular Dentin: An In Vitro Study. Journal of Contemporary Dental Practice. 2023;24(3):176–80.
43. Dutner J, Mines P, Anderson A. Irrigation trends among american association of endodontists members: A web-based survey. J Endod. 2012;38(1):37–40.
44. Souza EM, Calixto AM, Lima CNE, Pappen FG, De-Deus G. Similar influence of stabilized alkaline and neutral sodium hypochlorite solutions on the fracture resistance of root canal-treated bovine teeth. J Endod. 2014 Oct 1;40(10):1600–3.
45. Xu H, Ye Z, Zhang A, Lin F, Fu J, Fok ASL. Effects of concentration of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant on the mechanical and structural properties of root dentine: A laboratory study. Int Endod J. 2022 Oct 1;55(10):1091–102.
46. Secretaría de Salud (México). NOM-113-SSA-2006. Salud ambiental Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación y especificaciones de manejo. Diario Oficial de la Federación [Internet]. 2006. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx>

47. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Salud (México). NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental – Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación y especificaciones de manejo. Diario Oficial de la Federación [Internet]. 2003 feb 17. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=704675&fecha=17/02/2003
48. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (México). NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación [Internet]. 2001 Ago 22. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf

13 ANEXOS

Tabla 12. Irrigación con solución salina (Grupo control).

Diente	Irrigación con solución salina	Carga de pico de la máquina (N)	Máximo carga de compresión (kgf)
1	50 ml	778.000	79.3329
2	50 ml	813.400	82.94678
3	50 ml	1119.000	114.15417
4	50 ml	1183.000	120.58756
5	50 ml	959.700	97.86624
6	50 ml	1302.000	132.76909
7	50 ml	668.200	68.13641
8	50 ml	825.800	84.12353
9	50 ml	1259.000	128.38941
10	50 ml	755.400	77.0334
11	50 ml	750.900	76.56845
12	50 ml	1034.000	105.39379
13	50 ml	1084.000	110.45872
14	50 ml	1056.000	107.51582
15	50 ml	1011.000	103.0668
16	50 ml	700.100	71.39441

Tabla 13. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 40 ml.

Diente	Volumen de irrigación NaOCl 5.25 %	Carga de pico de la máquina (N)	Máximo carga de compresión (kgf)
1	40 ml	944.200	96.25101
2	40 ml	855.000	87.18982
3	40 ml	1515.000	154.39523
4	40 ml	774.500	78.97702
5	40 ml	979.200	99.78229
6	40 ml	1438.000	146.59338
7	40 ml	1099.000	112.03214
8	40 ml	988.600	100.80915
9	40 ml	938.800	95.73096
10	40 ml	564.800	57.54259
11	40 ml	951.200	96.99031
12	40 ml	670.300	68.32812
13	40 ml	959.100	97.72858
14	40 ml	695.000	70.84682
15	40 ml	777.200	79.25133
16	40 ml	594.100	60.58134

Tabla 14. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 50 ml.

Diente	Volumen de irrigación NaOCl 5.25 %	Carga de pico de la máquina (N)	Máximo carga de compresión (kgf)
1	50 ml	668.200	68.13641
2	50 ml	962.400	98.13953
3	50 ml	769.7	78.4019
4	50 ml	622.600	63.48345
5	50 ml	1003.000	102.17761
6	50 ml	955.000	97.38698
7	50 ml	902.300	92.00797
8	50 ml	746.600	76.12997
9	50 ml	963.800	98.13953
10	50 ml	869.300	88.64087
11	50 ml	696.100	70.95593
12	50 ml	1006.000	102.58855
13	50 ml	846.700	86.34141
14	50 ml	872.000	88.91416
15	50 ml	935.800	95.42912
16	50 ml	756.800	77.17008

Tabla 15. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 60 ml.

Diente	Volumen de irrigación NaOCl 5.25 %	Carga de pico de la máquina (N)	Máximo carga de compresión (kgf)
1	60 ml	842.400	85.90293
2	60 ml	788.500	80.37301
3	60 ml	461.900	47.09865
4	60 ml	224.400	22.88549
5	60 ml	424.300	22.88549
6	60 ml	317.200	32.34438
7	60 ml	430.500	42.59559
8	60 ml	564.000	57.51505
9	60 ml	561.100	57.21424
10	60 ml	1030.000	104.91452
11	60 ml	1052.000	107.30984
12	60 ml	638.700	65.12519

13	60 ml	935.000	95.34754
14	60 ml	1048.000	106.89991
15	60 ml	774.800	79.00455
16	60 ml	740.100	75.41821

Tabla 16. Irrigación con NaOCl al 5.25 % 100 ml.

Diente	Volumen de irrigación NaOCl 5.25 %	Carga de pico de la máquina (N)	Máximo carga de compresión (kgf)
1	100 ml	917.300	93.54061
2	100 ml	614.500	62.66156
3	100 ml	447.100	45.55276
4	100 ml	758.400	77.33426
5	100 ml	707.900	72.18775
6	100 ml	858.500	87.5457
7	100 ml	652.600	66.54872
8	100 ml	622.300	63.45592
9	100 ml	659.100	67.1789
10	100 ml	874.600	89.18846
11	100 ml	536.900	54.7506
12	100 ml	680.500	69.38577
13	100 ml	801.400	81.71496
14	100 ml	854.500	87.13475
15	100 ml	511.400	52.14931
16	100 ml	863.900	88.09329