



**INTERACCIONES MOLECULARES DEL HIPOCLORITO DE SODIO Y EL
ÓRGANO DENTINO-PULPAR. UNA REVISIÓN CRÍTICA DE LA LITERATURA.**

Trabajo de investigación
Requisito para optar al
Título de Cirujano Dentista

Alumnas: Alejandra Alfaro Correa
Macarena Araya Costa
Camila Paredes Toledo

Docente guía: Prof. Dr. Carlos Marchant
Área Ciencias Básicas

Valparaíso – Chile
2020

Dedicatoria

Dedicado a quienes me han acompañado en este proceso, en especial a mi mamá, Icha, Tía Maggi, Alfredo, familia y amigos, por contenerme y apoyarme en cada paso que doy, y por sobre todo, a mis amigas y compañeras de tesis, Cami y Maca, que supimos adaptarnos, complementarnos y ser un excelente equipo.

Alejandra

Dedicado a mis padres, hermana, abuelas, al amor de mi vida y a mi Lack. Agradecida de las amistades que me apoyaron, especialmente de mis compañeras de tesis, por su esfuerzo y dedicación, conformamos un muy buen equipo, se vienen grandes cosas.

Macarena

Dedicado a mi familia: Blanca, Juan y Marisol, por su apoyo, contención, paciencia y amor incondicional. Agradecer en especial a mis compañeras de tesis por su motivación y disposición durante este proceso, hicimos un gran equipo.

Camila

Agradecimientos

A nuestras familias, por el apoyo incondicional brindado durante estos años. También a todos los que han contribuido en este camino, tanto amistades como funcionarios y docentes, especialmente al Dr. Carlos Marchant, nuestro docente guía, por su dedicación, motivándonos y orientándonos en la realización de esta tesis, estando siempre presente con disposición y paciencia. Finalmente, agradecer a la Dra. Daniela Vergara, quien accedió a ser nuestra docente informante y a la Dra. Issis Luque, por su contribución durante el proceso.

“El mayor estímulo para esforzarnos en el estudio y en la vida es el placer del mismo trabajo, el placer de los resultados y la conciencia del valor de los resultados para esa comunidad”.

(Albert Einstein)

Índice

Introducción	1
Marco teórico	3
1. Química Orgánica	3
2. Ácidos y Bases	4
3. Sistema de tamponamiento	5
4. Desinfectantes	6
5. Complejo dentino-pulpar	8
5.1. Dentina	8
5.1.1. Histología dentinaria	8
5.1.2. Composición química de la dentina	8
5.1.3. Tipos de dentina	9
5.2. Pulpa	10
5.2.1. Composición de la Pulpa	10
5.2.2. Partes de la Pulpa	12
6. Tratamiento de endodoncia	13
6.1. Microbiota endodóntica	13
6.2. Irrigantes endodónticos	14
7. Hipoclorito de sodio	16
7.1. Definición	16
7.2. Uso en odontología	16
7.3. Propiedades	17
7.4. Concentraciones	17
7.5. Mecanismo de acción	17
7.6. Desventajas y efectos adversos	18

Objetivos	20
Materiales y métodos	21
Resultados	24
Discusión	42
Conclusión	55
Sugerencias	56
Bibliografía	57

Resumen

La irrigación en el sistema de conductos radiculares es fundamental para el éxito del tratamiento endodóntico, siendo el hipoclorito de sodio (NaOCl) el irrigante de primera elección por sus propiedades antibacterianas y disolventes de tejido orgánico. Sin embargo, no se tiene información clara acerca de la relación y consecuencias de las interacciones entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar. El objetivo de este estudio fue identificar las relaciones moleculares entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar, según las investigaciones publicadas en la literatura científica especializada.

Para ello se realizó una revisión crítica de la literatura utilizando bases de datos como PubMed, PubChem y SciELO, obteniendo 1.098 artículos sobre las interacciones entre este irrigante y el órgano dentino-pulpar. De estos se seleccionaron 43 publicaciones según los criterios de elegibilidad, siendo mayormente de los motores de búsqueda PubMed y PubChem.

Todos los artículos resultaron ser de tipo experimental *in vitro*, donde se evaluaron los distintos factores que afectan la disolución del material orgánico y su capacidad antibacteriana, entre ellos la concentración, temperatura, tiempo de exposición y pH.

Se concluye que el NaOCl presenta múltiples reacciones con la parte orgánica del complejo dentino-pulpar, las cuales pueden ser modificadas, variando factores tales como la concentración del irrigante, el tiempo de exposición y el pH de la solución, siendo posible incluso proponer este último como un predictor del equilibrio del NaOCl y la disolución orgánica.

Palabras claves: “sodium hypochlorite”, “dissolution”, “organic material”, “endodontic irrigation”.

Introducción

La terapia endodóntica tiene como finalidad tratar la infección del sistema de conductos radiculares¹. Su éxito dependerá de una desinfección quimiomecánica adecuada, logrando la eliminación de los factores etiológicos como el tejido pulpar, restos de dentina y microorganismos^{2,3,4,5}, disminuyendo así la probabilidad de complicaciones posteriores. En primera instancia, se requiere una preparación biomecánica del conducto radicular⁶ acompañada de constante irrigación⁵, brindando así mejores resultados en cuanto a la limpieza de estos⁷, entregando un ambiente propicio para una favorable obturación posterior⁶.

La irrigación cumple un rol importante en el tratamiento de endodoncia, permitiendo la desinfección del conducto, a través de la eliminación del tejido necrótico y la disminución de la carga bacteriana⁵. Aunque hay varios agentes químicos disponibles con diferentes propiedades, en lo que respecta a la limpieza de los conductos radiculares, ningún irrigante endodóntico actualmente disponible cumple todas las propiedades fisicoquímicas ideales para actuar simultáneamente sobre los componentes orgánicos e inorgánicos^{4,5}. Hasta la fecha, se han empleado una gran variedad de irrigantes, encontrándose entre los más conocidos y utilizados el hipoclorito de sodio (NaOCl), la clorhexidina y el ácido etilendiaminotetracético (EDTA)⁵, siendo el primero de estos el patrón de oro². El NaOCl fue difundido en la Odontología en 1917 por Barret, quien lo utilizó para la irrigación de los conductos radiculares y reportó la eficiencia de la solución como antiséptico⁸, donde años más tarde, en la década de 1930, Coolidge le dio un uso similar para mejorar el proceso de limpieza y desinfección de estos⁹⁻¹⁰.

El NaOCl es un compuesto halogenado que presenta un pH excesivamente alcalino, correspondiendo a un potente agente antibacteriano, que a la vez cumple la función de disolvente de tejido necrótico y restos orgánicos¹¹. Dicha efectividad antimicrobiana está basada en su alto pH⁴ y su mecanismo de acción se relaciona con el sistema de tamponamiento biológico, el cual se encarga de resistir a los cambios de pH cuando se añaden pequeñas cantidades de ácido o base¹².

La capacidad de disolución de tejidos tras la irrigación con NaOCl parece estar directamente relacionada con su efecto proteolítico que, a su vez, puede dañar la matriz de dentina¹³⁻¹⁴. Sin embargo, no se tiene información clara acerca de la relación entre estos elementos y las consecuencias que pueden generar las interacciones moleculares entre este irrigante y el órgano dentino-pulpar, lo que podría ser útil para tener en consideración en la posterior rehabilitación.

Ante esto se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las interacciones expuestas en la literatura científica entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar?, lo cual busca ser respondido en el siguiente texto, teniendo como objetivo identificar las relaciones moleculares entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar, según las investigaciones publicadas en la literatura científica especializada.

Marco teórico

1. Química Orgánica

La química orgánica aparece a comienzos del siglo XIX, como una rama de la química vinculada con las sustancias aisladas de los organismos vivos. No obstante, su campo se extiende para incluir todas las moléculas que comprenden compuestos de carbono y sus reacciones¹⁵.

El carbono es capaz de unirse con otro átomo del mismo, mediante enlaces dobles o triples, al compartir dos o tres pares de electrones respectivamente¹⁶, pudiendo formar cadenas y/o anillos de distinta extensión, los cuales a su vez pueden tener uniones cruzadas y/o ramificaciones¹⁷. Además de presentar carbono, pueden contener elementos como fósforo, hidrógeno, azufre, oxígeno, entre otros¹⁸.

Es posible que esta característica de versatilidad que posee el enlace de carbono es lo que le permite estar presente en todas las sustancias vivientes, y poco común de encontrar en las inanimadas, presentando así una fuerte relación con la vida¹⁹, pues no existe otro elemento químico capaz de constituir moléculas con tamaños y formas con tanta diversidad de grupos funcionales¹⁶.

2. Ácidos y Bases

Desde el punto de vista químico, un ácido se define como una sustancia capaz de ceder iones hidrógenos (H^+) en disolución acuosa, donde los ácidos fuertes presentan mayor capacidad de cederlos, mientras que los débiles tienen poca tendencia a ello y no se encuentran completamente ionizados en disolución acuosa²⁰.

Mientras que, una base es una sustancia capaz de producir iones hidroxilo (OH^-) en disolución acuosa, la cual cuando logra su disociación completa, o casi completa, se conoce como base fuerte, situación contraria ocurre en una base débil²⁰.

Aquellas sustancias que se pueden comportar, ya sea como ácido o como base, se denominan anfóteros, anfipróticos o anfóteros²¹.

3. Sistema de tamponamiento

Corresponde a sistemas acuosos que tienden a resistir cambios de pH, manteniendo constante la solución cuando se añaden cantidades de ácido (H^+) o base (OH^-), en otras palabras, mezclas de ácidos débiles con sus bases conjugadas o bases débiles y sus ácidos conjugados²¹.

Cuando este equilibrio en el pH ocurre, gráficamente se observa como una zona aplanada, la cual corresponde a la región de tamponamiento, donde la concentración del ácido es exactamente igual a la de la base y el poder tamponante del sistema es máximo, lo que quiere decir que hay un menor cambio de pH cuando se agrega OH^- o H^+ ¹² (ver Figura 1).

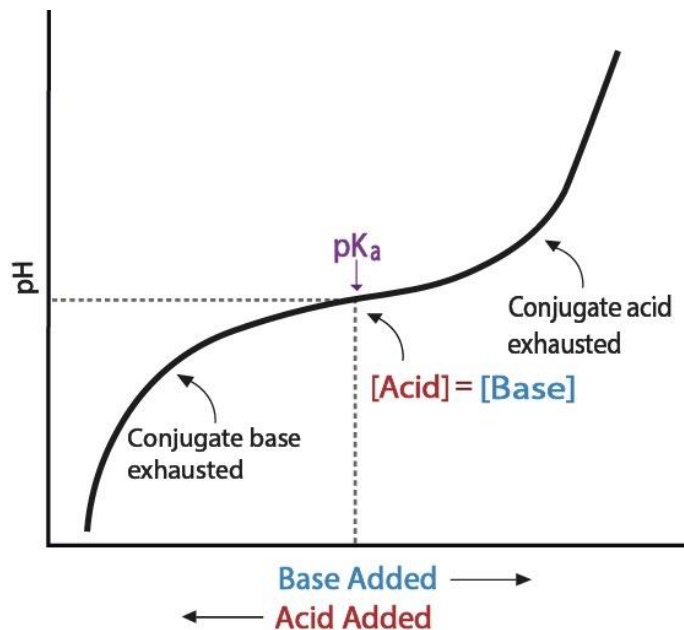


Figura 1. Ecuación de Henderson-Hasselbalch. Ecuación que relaciona pH, pK_a y concentración de tampón¹².

4. Desinfectantes

Los biocidas son aquellas sustancias, generalmente de un amplio espectro, que logran inactivar microorganismos²², ya sea que por medios químicos o biológicos pueden destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un efecto de control sobre cualquier organismo nocivo, produciendo así la actividad antimicrobiana²³.

El mecanismo de acción de los biocidas se centra en las moléculas de la membrana celular²⁴, causando alteración en la estructura del microorganismo, impidiendo la entrada y salida de elementos vitales para él²⁵. La acción biocida se lleva a cabo mediante antisépticos y desinfectantes²⁶.

Un desinfectante es un agente químico utilizado en el proceso de desinfección de objetos y superficies, eliminando la mayoría de los microorganismos, pero no necesariamente las esporas bacterianas²⁷. Debido a que el espectro de gérmenes sobre los cuales es efectivo un desinfectante depende del tiempo de exposición, así como también de su concentración, considerándose esta última como la característica principal, lo que genera variación entre unos y otros, e incluso dentro de un mismo desinfectante²⁶.

Estos agentes actúan como desnaturalizantes o precipitantes de proteínas, inhibiendo enzimas y causando la muerte celular²⁸. Son más potentes, rápidos y termoestables que los antisépticos, sin embargo, no poseen actividad selectiva, por lo que su elección debe tener en cuenta los posibles patógenos a eliminar²⁹; por otra parte, son tóxicos protoplasmáticos susceptibles de destruir la materia viviente y no deben ser utilizados sobre tejidos vivos³⁰.

Factores que afectan la potencia de los desinfectantes:

- Concentración del agente y tiempo de actuación: Una disminución de la concentración se puede compensar con un aumento del tiempo de exposición y viceversa, para lograr el mismo efecto, pues ambos factores se relacionan de manera inversa²⁹. Es importante seguir las indicaciones del fabricante respecto a esto³¹.

- pH: Afecta no solo la carga superficial neta de la bacteria, sino también en el grado de ionización del agente, donde esto último permite una mayor difusión del desinfectante, siendo así más efectivo²⁹. Los agentes aniónicos suelen ser más efectivos a pH ácidos, mientras que los agentes catiónicos muestran más eficacia a pH alcalinos³².
- Temperatura: Existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y la aceleración del proceso de desinfección³¹.
- Naturaleza del microorganismo y otros factores asociados a la población microbiana: Según la especie, fase de cultivo, presencia de cápsula o de esporas y número de microorganismos, se ve afectada la potencia del desinfectante³².
- Presencia de materiales extraños: La presencia de materia orgánica como sangre, suero o pus afecta negativamente la potencia de los desinfectantes de tipo oxidantes, como los hipocloritos, y de tipo desnaturizante de proteínas, hasta el punto de hacerlos inactivos en cuanto a su poder desinfectante³³.

Según el nivel de cobertura alcanzado por un desinfectante, se puede clasificar como³⁴:

- De nivel bajo, que pueden destruir la mayor parte de las formas vegetativas bacterianas, tanto Gram-positivas como Gram-negativas, algunos virus con envoltura lipídica y hongos levaduriformes³⁴.
- De nivel intermedio, que actúa sobre todas las formas vegetativas, incluyendo *Mycobacterium tuberculosis*, la mayoría de los virus con o sin envoltura y hongos filamentosos, exceptuando las esporas bacterianas y priones²⁷.
- De nivel alto, que pueden destruir todos los microorganismos, excepto algunas esporas bacterianas y priones²⁷.

5. Complejo dentino-pulpar

El tejido pulpar y dentinario poseen un origen embrionario común, el ectomesénquima, el cual forma la papila del germen dentario. La especialización de este tejido conjuntivo se debe a los odontoblastos³⁵, células cuyo cuerpo se localiza en la periferia de la pulpa, mientras que sus prolongaciones se alojan en los túbulos dentinarios, y penetran todo el espesor de la dentina³⁶, generando así un vínculo de interdependencia entre ambas estructuras³⁵. En consecuencia, estos dos tejidos se reconocen como elementos de un mismo complejo, el complejo dentino-pulpar, el que se encuentra envuelto por esmalte dentario en la corona y por cemento, ligamento periodontal y hueso en la raíz dentaria³⁷, conformando así una unidad estructural y funcional, donde la dentina protege al tejido pulpar y a su vez, este último mantiene la vitalidad de la dentina³⁵.

5.1. Dentina

La dentina corresponde al tejido duro³⁶ que es la base estructural del diente³⁵, representando el mayor volumen de este. Su fracción coronaria está tapizada por esmalte, en tanto, su porción radicular se encuentra envuelta por cemento³⁶. Internamente, la dentina contiene a la cámara pulpar, cavidad que acoge a la pulpa dental³⁵.

5.1.1. Histología dentinaria

La dentina es formada por odontoblastos, que son células secretoras³⁸, estas poseen prolongaciones citoplasmáticas llamadas procesos odontoblásticos³⁶, que residen en los túbulos dentinarios³⁸, los cuales son rodeados por una región peritubular hipermineralizada, y que a su vez se encuentra cubierta en una matriz intertubular. Los túbulos se extienden desde la cámara pulpar hasta la unión amelodentinaria³⁹.

5.1.2. Composición química de la dentina

Los odontoblastos son los encargados de sintetizar la matriz orgánica de la dentina⁴⁰, la cual se constituye principalmente de fibras colágenas tipo I y sustancia

amorfa³⁸. Esta materia orgánica solo constituye el 18% de la dentina, ya que su mayor composición se debe a materia inorgánica, principalmente cristales de hidroxiapatita, ricos en carbonatos y pobres en calcio y, en menor cantidad, agua, representando esta última solo el 12%^{35,37,41}. Cabe destacar que estos valores pueden variar entre las distintas regiones de la misma³⁵.

5.1.3. Tipos de dentina

Existen distintos tipos de dentina, según el momento en que se forma y la disposición de las fibras, encontrando:

- Predentina: Zona de matriz orgánica no calcificada, encargada de separar la capa de células odontoblásticas de la periferia pulpar y dentina mineralizada³⁸.
- Dentina primaria: Es la primera en constituirse, delimitando la cámara pulpar de los dientes ya formados, terminando su depósito cuando el diente entra en oclusión³⁸. Esta presenta dentina del manto, compuesta de fibras periféricas, y dentina circumpulpar³⁶, conformada por fibras colágenas finas dispuestas de manera irregular³⁸.
- Dentina secundaria: Es la dentina sintetizada fisiológicamente por el odontoblasto⁴² luego de que la formación radicular ha concluido³⁵. Se produce durante toda la vida, depositándose mucho más lentamente que la primaria³⁵ y de forma asimétrica en la superficie interior de los conductos radiculares y de la cámara pulpar⁴².
- Dentina terciaria: Es conocida como dentina reparativa, reaccional, irregular o patológica³⁸. Corresponde a la que se forma más internamente³⁸, ya que es producida por odontoblastos como respuesta a una noxa o estímulo nocivo³⁶.

5.2. Pulpa

La pulpa dental es un tejido conjuntivo laxo especializado³⁶, altamente vascularizado e inervado. Se localiza en la cámara pulpar y conductos radiculares, circundada por paredes dentinarias³⁵. Está constituida por 75% de agua y 25% de materia orgánica³⁸.

La pulpa se relaciona con el exterior por medio de forámenes, foraminas apicales y conductos laterales³⁷. Con la edad va sufriendo modificaciones como, por ejemplo, la disminución de su volumen³⁸, resultado de la reducción del tamaño de la cámara pulpar³⁵ y de los conductos radiculares, descenso de la inervación e irrigación, y la reducción gradual de su población celular³⁸.

5.2.1. Composición de la Pulpa

Poblaciones celulares:

- Odontoblastos: Células específicas de la pulpa que conforman la capa odontoblástica³⁵, presentándose en mayor cantidad en la región coronaria y disminuyen en número hacia la zona radicular⁴⁰.
- Fibroblastos: Células más cuantiosas de la pulpa, fundamentalmente en la corona⁴⁰, donde constituyen la capa rica en células³⁵. Secretan los precursores de las fibras colágenas⁴⁰, elásticas, reticulares y la sustancia fundamental pulpar³⁵.
- Células madre o ectomesenquimáticas: Derivan del ectodermo de las crestas neurales y se encuentran localizadas en la región subodontoblástica o en los capilares sanguíneos³⁵. Conforman la población de reserva pulpar³⁵, por su gran capacidad de diferenciación a nuevos odontoblastos y fibroblastos³⁷. Estas células no se reponen y van disminuyendo en número al diferenciarse, por lo que con el tiempo y estímulos nocivos a repetición pueden minimizar el potencial regenerativo del complejo dentino-pulpar³⁷ y su capacidad autodefensiva³⁵.

- Macrófagos: Se originan a partir de los monocitos³⁵. Presentan capacidad de fagocitosis y contribuyen en el mecanismo de defensa³⁷, asimismo, juegan un rol fundamental en la respuesta inflamatoria³⁵.
- Células dendríticas: Localizadas en la región paraodontoblástica en la zona más externa de la pulpa, y en la región perivascular en la zona más interna de la misma. Cierta cantidad de ellas extienden sus prolongaciones dentro de los túbulos de la dentina³⁵. Contribuyen en el mecanismo de defensa, pues participan en el proceso de inicio de respuesta inmunológica primaria³⁷, ya que cumplen la función de ser presentadoras de antígenos⁴⁰.
- Otras células: Linfocitos, células plasmáticas y, en algunos casos, eosinófilos y mastocitos. Se evidencian durante procesos inflamatorios³⁵.

Fibras:

- Fibras de colágeno: Formadas por colágeno tipo I, el que representa un estimado del 60% del colágeno pulpar total. Son escasas en la zona coronaria y más abundantes en la zona radicular. Su densidad y diámetro aumenta junto con la edad³⁵.
- Fibras reticulares: Compuestas por colágeno tipo III y fibronectina, constituyendo el plexo de Von Korff. Con la edad es posible que aumenten su diámetro, aunque en menor medida que las de colágeno³⁵.
- Fibras elásticas: Su cantidad es limitada. Compuestas por elastina y situadas en las paredes de los vasos sanguíneos aferentes³⁵.
- Fibras de oxitalán: Consideradas fibras elásticas inmaduras, función incierta actualmente³⁵.

Sustancia fundamental o matriz extracelular:

Matriz a través de la cual las células obtienen los nutrientes procedentes de la sangre arterial y se desechan los residuos, representando un real medio interno³⁸.

Está conformada esencialmente por agua y proteoglicanos, estos últimos impiden la difusión de microorganismos y están constituidos por glicosaminoglicanos (GAG)³⁸.

5.2.2. Partes de la Pulpa

Podemos reconocer las partes de la pulpa dentaria, según la disposición de sus componentes, de exterior a interior:

- Zona Odontoblástica: Está compuesta por odontoblastos organizados en empalizada, encargados de mantener la integridad de la capa odontoblástica³⁸ y de sintetizar matriz orgánica de dentina a través de sus prolongaciones, además de reaccionar frente a diversos estímulos³⁷.
- Zona basal u oligocelular de Weil: Es pobre en células³⁶, sin embargo, es posible encontrar células dendríticas de la pulpa. Además, aloja al sistema nervioso, encontrándose así el Plexo nervioso de Raschkow, Plexo capilar subodontoblástico y fibroblastos subodontoblásticos³⁸.
- Zona rica en células: Presenta una alta densidad celular, principalmente de células ectomesenquimáticas o células madre de la pulpa y fibroblastos³⁸.
- Zona central de la pulpa: Constituida por tejido conjuntivo laxo con fibroblastos³⁸, responsables de la secreción de fibras y proteínas³⁷, además de presencia de células ectomesenquimáticas y macrófagos, reducida cantidad de fibras y cuantiosos vasos y nervios. Presenta una menor densidad celular que la zona rica en células³⁸.

6. Tratamiento de endodoncia

La endodoncia es el área de la ciencia que estudia la pulpa dental, que comprende la prevención y tratamiento de sus alteraciones, junto a los efectos que se pueden producir sobre los tejidos periapicales⁴³.

Dentro de esta disciplina se encuentra el tratamiento de endodoncia, que tiene como objetivo conservar el diente cuya pulpa se encuentra alterada de manera irreversible, o bien perdió su vitalidad⁴³. La decisión de realizar o no la terapia endodóntica depende directamente del diagnóstico del diente, el que es determinado mediante la anamnesis, la exploración clínica y los hallazgos radiográficos, los cuales a su vez ayudarán a planificar el tratamiento⁴⁰.

Sus pasos básicos luego de los procedimientos preoperatorios corresponden a: acceso y preparación del conducto radicular, medicación intraconducto y obturación del mismo⁴³.

6.1. Microbiota endodóntica

Para obtener éxito en el tratamiento endodóntico es necesario eliminar las biopelículas bacterianas y sus subproductos del sistema de conductos⁴⁴. Entendiéndose que en la cavidad bucal humana se estima la presencia de alrededor de 500 especies microbianas³⁷.

Mientras el esmalte y la dentina se encuentran intactos, estos protegen a la pulpa y la mantienen estéril, sin embargo, cuando esa protección se pierde, es posible que algunos microorganismos logren llegar hasta ella, originando la infección pulpar^{40,43}. Hay que tener presente que el proceso infeccioso es dinámico, pues contempla la agresión del microorganismo al huésped y la reacción del huésped, cuyo objetivo es defenderse, pero a la vez es capaz de inducir una severa lesión al tejido³⁷.

Las infecciones del sistema de conductos radiculares están mediadas por biopelículas, las cuales tienen estructuras complejas y muy organizadas⁴⁵. Los microorganismos que las componen difieren en gran medida de los que se hallan

libres, pues se encuentran resguardados del medio exterior por su matriz⁴⁵, pudiendo llegar a ser mil veces más resistentes a agentes antimicrobianos y a los mecanismos de defensa del huésped⁴⁶.

Se ha descubierto una gran variedad en el espectro microbiano involucrado en las infecciones endodónticas, el cual se considera de naturaleza mixta³⁷, siendo las bacterias anaeróbicas Gram-negativas las de mayor predominancia⁴⁷. Se logró aislar más de 200 especies bacterianas del sistema de conductos radiculares, cuya variedad dependerá de la disponibilidad de nutrientes, del contenido de oxígeno y de las interacciones microbianas^{37,40,44}.

Según el clásico trabajo de Haapasalo, la existencia de sintomatología aguda se relaciona generalmente con la presencia de microorganismos anaerobios específicos como *Porphyromonas gingivalis*, *Porphyromonas endodontalis* y *Prevotella buccae*⁴⁸.

Se piensa que la persistencia microbiana es la principal determinante del fracaso del tratamiento endodóntico⁴⁶, la cual puede deberse a la presencia de bacterias en el conducto en la fase de obturación o como consecuencia de filtración coronal⁴⁰. La anatomía compleja y poco predecible que caracteriza al sistema de conductos radiculares, y la particularidad de las biopelículas de ser multi-especies, aumentan la dificultad de eliminación de estas, pues son muy resistentes a los agentes de desinfección empleados durante la terapia endodóntica⁴⁶.

6.2. Irrigantes endodónticos

Para mejorar las técnicas de preparación mecánica durante la endodoncia, se recomienda el uso de irrigantes antimicrobianos⁴⁰, los cuales son fluidos no compresibles que se introducen en los conductos radiculares y, en conjunto con la aspiración^{4,43}, constituyen un proceso indispensable en la preparación del sistema de conductos, pues cumplen un papel crucial en la desinfección y disolución de material orgánico existente en los istmos, conductos laterales y sinuosidades, donde con la instrumentación por sí sola no es posible acceder⁴³.

Sus objetivos principales son:

- Limpieza del sistema de conductos, eliminando el detritus presente en el interior de estos, ya sea preexistente o producido en consecuencia a la instrumentación^{4,40,43}.
- Desinfección del sistema de conductos, disminuyendo la cantidad de bacterias existentes^{4,43}.
- Lubricación de los conductos, manteniendo las paredes dentinarias hidratadas, favoreciendo la acción de limpieza y modelado de las limas^{4,40,43}.

La selección del irrigante a utilizar debe guiarse según el caso clínico, para que se obtenga el mejor resultado en cuanto a limpieza, saneamiento e instrumentación³⁷. Es por esto que se han propuesto varios agentes químicos auxiliares para ser utilizados durante el tratamiento de conducto radicular⁴⁷, entre estos se encuentran: el EDTA, la clorhexidina, el agua destilada, solución fisiológica, peróxidos y el NaOCl, este último considerado como el patrón de oro de la Endodoncia³⁷.

7. Hipoclorito de sodio

7.1. Definición

El NaOCl se encuentra dentro del grupo de los compuestos halogenados³⁷ y ha sido definido por la Asociación Americana de Endodoncia como un líquido claro de color verde-amarillento, pálido, muy alcalino, alcanzando un pH de 11.8 y con un característico olor a cloro; presenta una acción disolvente sobre los tejidos orgánicos y residuos necróticos, además de presentar una gran potencia antimicrobiana⁵.

Fue producido por primera vez en 1792, y recibió el nombre de Agua de Javel, la cual consistía en una mezcla de hipoclorito y potasio. En 1820 fue obtenido el NaOCl por Labarraque, un químico francés, quien lo utilizó en una concentración de 2.5% de cloro activo para desinfectar heridas³⁷.

Durante la Primera Guerra Mundial fue utilizado por Dakin, quien nuevamente lo empleó para la desinfección de heridas abiertas e infectadas, en concentraciones de 0.45 a 0.50%^{8,37,49,50}.

El NaOCl en solución acuosa, fue representado por Pécora et al.⁵¹ en la siguiente reacción química:



7.2. Uso en odontología

El NaOCl es el irrigante más utilizado en el tratamiento endodóntico⁵². No se encuentra aprobado por la FDA, sin embargo, se prefiere por sus excelentes propiedades, representando la mayor indicación en la práctica de la endodoncia mundial para la irrigación del sistema de conductos radiculares³⁷.

Su uso en odontología fue introducido por Barret, quien lo utilizó para la irrigación de conductos radiculares, reportando su eficiencia como antiséptico⁸.

Posteriormente, fue utilizado por Coolidge para mejorar el proceso de limpieza y desinfección del sistema de conductos⁹.

El Dr. Blass fue uno de los precursores en la utilización del NaOCl al 5% como solvente de materia orgánica y bactericida en el tratamiento de conducto radicular en dientes con necrosis pulpar⁵³. Seguido de ello, en 1954 Lewis utilizó NaOCl de la marca comercial Clorox, aludiendo a que este contiene una cantidad de 5.25% de cloro disponible⁵⁴.

7.3. Propiedades²⁸

- Adecuada facultad de limpieza⁵⁵.
- Efectiva capacidad antimicrobiana^{4,55}.
- Neutralizador de productos tóxicos⁵⁵.
- Disolvente de material orgánico^{4,55}.
- Acción rápida^{4,55}.
- Agente desodorizante⁵⁵.
- Acción blanqueante⁵⁵.
- Acción lubricante^{4,55}.

7.4. Concentraciones

En Endodoncia, las soluciones de NaOCl se utilizan en concentraciones bajas (0.5-1%), medianas (2.5%) y altas (4-6%)^{4,55}. Según estas concentraciones podrían variar sus características de densidad, tensión superficial, pH, viscosidad, conductividad y capacidad de humectación³⁷.

7.5. Mecanismo de acción

Cuando el NaOCl se encuentra en solución, se disocia en dos moléculas que presentan características y propiedades diferentes: Hidróxido de Sodio (NaOH) y Ácido Hipocloroso (HOCl), manteniéndose siempre en estado de equilibrio dinámico⁴⁷. Al entrar en contacto con el tejido orgánico, se producen distintas reacciones³⁷, tales como:

- 1) Saponificación, es la etapa donde se genera la disolución de tejido orgánico, dependiendo principalmente del NaOH, molécula que se combina con los ácidos grasos de las paredes bacterianas, desnaturalizándolos, obteniendo sales de ácidos grasos (jabón) y glicerol (alcohol), reduciéndose así la tensión superficial de la solución^{37,47}.
- 2) Neutralización, donde se obtiene agua y sales a partir de los aminoácidos, siendo responsable de esta acción el NaOH^{47,56}. Este proceso provoca la salida de iones OH⁻, disminuyendo el pH de la solución⁴⁷, resultando así una interferencia en la integridad de la membrana citoplasmática, provocando alteraciones en el metabolismo celular, inhibición enzimática irreversible y degradación de fosfolípidos, evidenciada en la peroxidación lipídica³⁷.
- 3) Cloraminación, en donde la molécula protagonista es el HOCl, un ácido que proporciona las características antisépticas a la solución⁵⁷, ya que al liberar cloro permite que este se una a las proteínas del grupo amina, generando cloraminas^{47,56}. Estas últimas tienen la facultad de inhibir a las enzimas bacterianas mediante la oxidación irreversible de sus grupos sulfurados^{47,57}.

7.6. Desventajas y efectos adversos

El NaOCl produce distintos efectos adversos al entrar en contacto con algunas soluciones. Al mezclarse con la sangre esta se oxida, específicamente el grupo “m” de la hemoglobina en donde tenemos fierro, provocando óxido ferroso y con ello, desencadenando que el diente se oscurezca. Mientras que, al entrar en contacto con el pus, forma cristales, y es este polvo de diamante el que finalmente puede taponar los conductos durante la endodoncia⁴⁷.

También existe riesgo de toxicidad por accidentes clínicos, pues la mala manipulación del irrigante y el mal aislamiento pueden producir quemaduras químicas al entrar en contacto con la mucosa oral o la piel, y otras complicaciones severas como la inyección accidental del NaOCl hacia los tejidos periapicales, resultando en una experiencia muy desagradable tanto para el paciente como para el clínico^{4,58}. Se

requiere de acciones rápidas y oportunas para disminuir las probabilidades de desarrollar complicaciones más graves⁵⁸. Sin embargo, estos accidentes tienen una baja frecuencia, en comparación con el número de endodoncias que se realizan⁵.

Se recomienda, para evitar un accidente por NaOCl, realizar una historia clínica detallada para determinar algún antecedente de alergia del paciente al estar en contacto con cloro, y aislamiento absoluto con goma dique⁵⁸, ya que, en casos de ingestión de hipoclorito, este podría producir obstrucción de la vía aérea^{58,59}. La utilización de lentes de protección, tanto para el odontólogo como para el paciente, es una buena medida para prevenir lesiones oculares^{4,58}.

Objetivos

Objetivo General:

Identificar las interacciones moleculares entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar, según las investigaciones publicadas en la literatura científica especializada.

Objetivos Específicos:

- Nombrar las moléculas presentes en el órgano dentino-pulpar respecto a la literatura científica.
- Señalar las interacciones moleculares más reportadas en la literatura respecto del NaOCl con las moléculas orgánicas del órgano dentino-pulpar.
- Nombrar la alteración de las características químicas (concentración, temperatura, tiempo de exposición y pH) del NaOCl, luego de su interacción con las moléculas del órgano dentino-pulpar.
- Identificar posible parámetro químico que prediga la obtención del equilibrio del NaOCl, al momento de disolver material orgánico.

Materiales y métodos

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se enfocó en la pregunta de investigación propuesta en este estudio: ¿Cuáles son las interacciones expuestas en la literatura científica entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar?

La metodología utilizada fue un diseño de investigación tipo descriptivo exploratorio cualitativo, que consiste en una revisión crítica de la literatura, para la cual se realizó una estrategia de búsqueda de manera sistemática. Los términos y palabras claves que se utilizaron para la búsqueda de artículos relacionados con el uso de hipoclorito de sodio en endodoncia, fueron: “sodium hypochlorite”, “dissolution”, “endodontics”, “biocide”, “organic material”, “pulp”, “proteins”, “organic matter”, “organochlorine”, “dentin”, “tooth” y “chemical” (ver Tabla I). Se realizó la búsqueda de la evidencia científica existente en la base de datos de las bibliotecas virtuales: PubMed, PubChem y SciELO, en abril de 2020, sobre las interacciones entre el NaOCl y el órgano dentino-pulpar.

Además, se realizó una búsqueda manual en revistas relacionadas a odontología, principalmente de endodoncia y estudios de irrigantes endodónticos (The Journal of Materials Science, ACTIVA UC y ScienceDirect) para hallar artículos que posiblemente no se encontraron en las bases de datos de bibliotecas virtuales. La estrategia de búsqueda siguió las pautas de PRISMA (Elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis).

BUSCADOR	PALABRAS BUSCADAS	RESULTADOS
PUBMED		
#1	hypochlorite OR organochlorine OR "sodium hypochlorite" OR biocida	176.399
#2	dentine OR pulp OR proteins OR organic OR "organic matter" OR collagen OR tooth	7.777.281
#3	reactions OR chemical OR dissolution	3.942.412
	#1 AND #2 AND #3	613
PUBCHEM		
#1	"sodium hypochlorite" OR hypochlorite OR	16.776
#2	"organic material" OR organochlorine OR collagen OR dissolution	294.269
	#1 AND #2	470
SciELO		
#1	"sodium hypochlorite"	546
#2	"organic matter"	4.856
	#1 AND #2	15

Tabla I. Estrategia de búsqueda. Las palabras claves utilizadas en la base de datos PubMed, PubChem y SciELO, y sus resultados respectivos.

Criterios de selección

Para el análisis se incluyeron artículos realizados en base a ensayos clínicos y ensayos clínicos controlados, donde se evidenció la interacción *in vitro* del NaOCl con componentes del órgano dentino-pulpar, tanto en dientes definitivos de mamíferos como estudios realizados en tubos de ensayo. Además, solo se incluyeron publicaciones de máximo 20 años de antigüedad en idioma inglés, portugués y/o español.

Los títulos y resúmenes de los artículos encontrados se evaluaron para eliminar aquellos que no eran atingentes a la investigación, así como también los que no fueron posibles de encontrar como texto completo o, si bien fueron encontrados, no eran legibles debido a su formato. También se descartaron artículos en donde la intervención consistía en combinar NaOCl con otros irrigantes endodónticos.

Todos los artículos seleccionados relacionados con las interacciones moleculares entre el NaOCl y los componentes del órgano dentino-pulpar fueron recuperados, analizados y leídos por todos los autores.

Cabe destacar que, una vez recolectada la información pertinente, se determinó por los autores clasificar los artículos en cuatro temas según el foco central de cada estudio en relación al NaOCl, siendo estos: disolución orgánica, efectos antimicrobianos, alteraciones químicas y alteraciones mecánicas. Sin embargo, esta división no es excluyente entre un texto y otro.

Para esta clasificación de los artículos se establecieron distintos parámetros:

- Disolución orgánica: Estudios que realizaban variaciones en el NaOCl, como modificaciones en el pH, temperatura, concentración y tiempo de exposición, con la finalidad de evaluar su eficiencia en cuanto a disolución de material orgánico.
- Efectos antimicrobianos: Estudios que tenían la finalidad de evaluar las capacidades antimicrobianas del NaOCl, pudiendo realizar variaciones en las características de este, por ejemplo, modificaciones en el pH, temperatura, concentración y tiempo de exposición.
- Alteraciones químicas: Estudios que analizaban cambios en la composición química, interacciones de iones y moléculas, tras la exposición a NaOCl, tanto en el sustrato como en el irrigante.
- Alteraciones mecánicas: Estudios que evaluaban modificaciones en la estructura del tejido dentinario tras el uso del NaOCl, tales como microdureza, resistencia a la flexión, porosidad, entre otros.

Resultados

Se realizaron 16 búsquedas conjugando las palabras claves, las cuales en total arrojaron 1.098 artículos. Después se procedió a eliminar los duplicados, quedando 1.033 publicaciones. Posteriormente se leyó el título y resumen del artículo y se seleccionó una cantidad de 58, donde revelaban coincidencias con el alcance de la investigación y coincidían con los criterios de elegibilidad. De los 58 artículos seleccionados mediante el filtro de título y resumen, finalmente 40 fueron escogidos luego de la lectura completa, descartando así los estudios que cumplían los criterios de exclusión. Por último, se agregaron 3 textos que habían sido seleccionados a través de búsqueda manual, dando un total de 43 artículos. La estrategia de búsqueda se resume en la Figura 2.

Estos artículos, posterior a su elección, fueron clasificados en los cuatro temas expuestos previamente, encontrando 22 estudios que evaluaron los efectos del NaOCl en la disolución orgánica, 13 publicaciones que estudiaron los efectos de este irrigante como agente antimicrobiano, 11 artículos que analizaron las alteraciones químicas que se producían en el órgano dentino-pulpar tras el contacto con NaOCl y otros 11 textos que investigaron las alteraciones mecánicas que se producían luego de la irrigación con esta solución. Los hallazgos de los estudios incluidos en esta investigación se resumen en la Tabla II (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k).

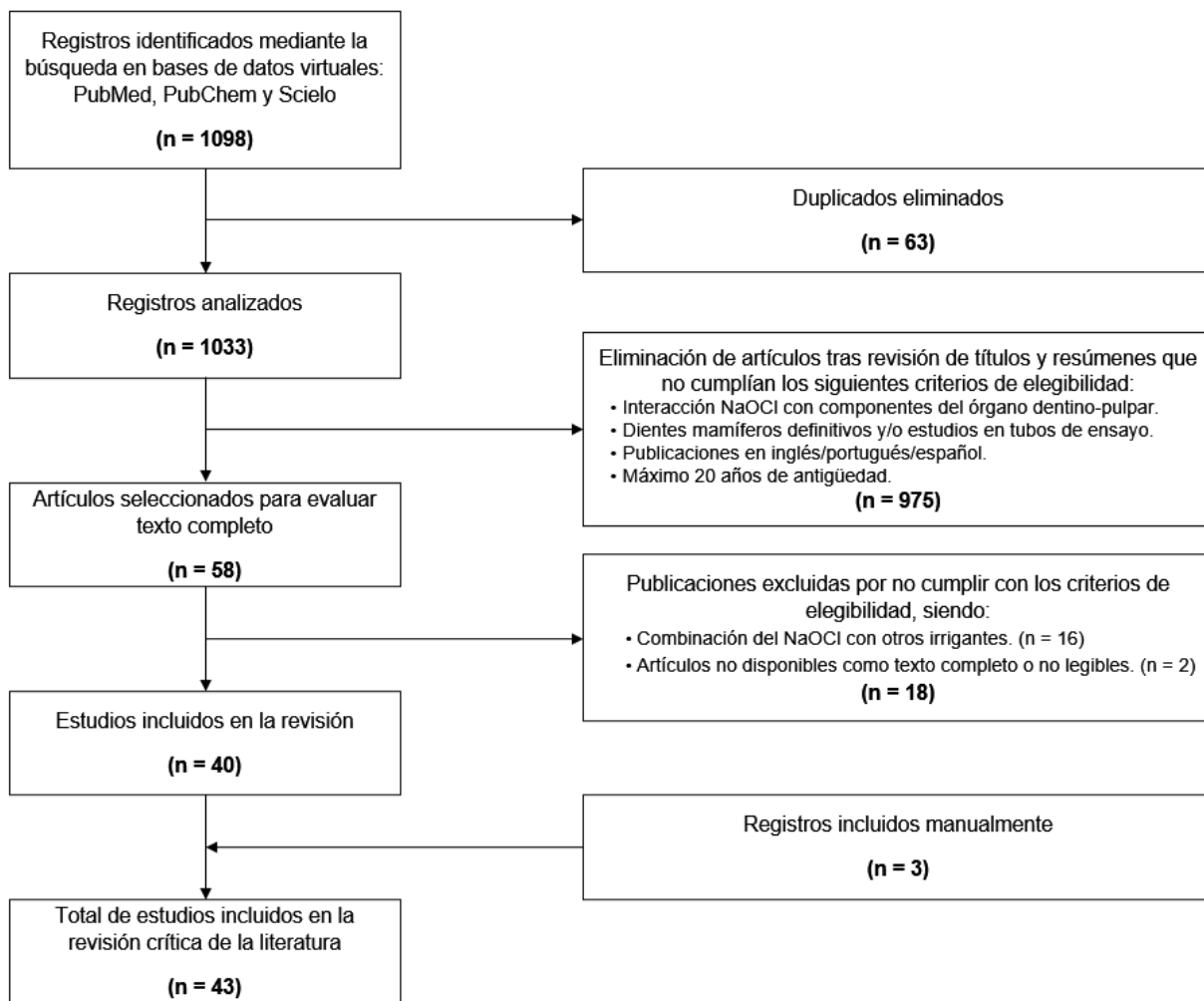


Figura 2. Resultados. Flujograma que describe la aplicación de la metodología para la búsqueda y los artículos colectados que hacen parte de la presente revisión.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Doğan H, Qalt S. ⁶⁰ 2001	257	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - El uso de NaOCl alteró significativamente el contenido mineral de la dentina radicular, causó la acumulación de minerales en la dentina de la raíz humana, aumentó la cantidad de carbonato y redujo la cantidad de fosfato. - El NaOCl solo no alteró los niveles de magnesio.
Oyarzún A, Cordero AM, et al. ⁶¹ 2002	76	Experimental in vitro	Dientes humanos	5%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl afectó de manera diferente la organización de colágeno y GAG en matriz extracelular. - El colágeno tipo I y sulfatos de condroitina fueron afectados por NaOCl, además de otras proteínas de matriz. - NaOCl produjo contracción tisular y deformación de los túbulos dentinarios en la superficie. - NaOCl alteró el colágeno intertubular y GAG intratubular.
Zehnder M, Kosicki D. et al. ⁶² 2002	265	Experimental in vitro	Mucosa palatina de cerdo	0.5% 2.5%	Disolución orgánica Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 2.5% fue el más eficaz en la disolución de tejido. - NaOCl 0.5%, tanto tamponado como no tamponado, disolvió el tejido descompuesto mejor que el tejido fresco. - NaOCl 0.5% no tamponado disolvió tejido descompuesto más efectivamente que la solución de Dakin. - La cantidad de cloro disponible del NaOCl es la responsable de su capacidad de disolución. - No hubo beneficio al bajar el pH del NaOCl de 12 a 9 según el método de Dakin. - El tamponamiento de una solución de NaOCl puede ser beneficioso solo a un pH ligeramente ácido.
Driscoll CO, Dowker SE. et al. ⁶³ 2002	73	Experimental in vitro	Dientes humanos	0.5% 3% 5%	Disolución orgánica Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 0.5, 3 y 5% degradaron la fase orgánica de la dentina, pero no hubo pérdida mineral. - El esmalte no mostró cambios en su peso y exhibió bandas de apatita con carbonato sustituyendo ion fosfato. En dentina no se observó banda de carbonato. - No se evidenció formación de calcita. - NaOCl 3 y 5% produjeron más degradación que NaOCl 0.5%.

Tabla II a. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Beltz RE, Torabinejad M, et al. ⁶⁴ 2003	211	Experimental in vitro	Dientes bovinos	1.3% 2.6% 5.25%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las concentraciones de NaOCl eliminaron los componentes orgánicos de la pulpa y de la dentina de manera efectiva luego de 120 minutos de exposición, a 37°C. NaOCl 5.25% y 2.6% disolvieron la pulpa casi por completo y fueron iguales entre sí. - NaOCl 5.25% fue capaz de solubilizar el 22% de la dentina y disolvió prácticamente todo el componente orgánico de esta. Concentraciones más bajas mostraron menor eficiencia como disolvente de dentina.
Ercan E, Ozekinci T, et al. ⁶⁵ 2004	301	Experimental in vitro	Dientes humanos	5.25%	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - El NaOCl mostró una tendencia de reducción evidente, siendo más profunda para <i>E. Faecalis</i> y <i>A. Israelii</i> que para <i>S. Aureus</i> y <i>S. Salivarius</i>. - Un objetivo del irrigante fue destruir microorganismos y neutralizar sus productos sin dañar el tejido del huésped.
Ari H, Erdemir A, et al. ⁶⁶ 2004	236	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5% 5.25%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl disminuyó la microdureza de la dentina radicular. - NaOCl aumentó la rugosidad de la superficie de la dentina. - NaOCl afectó los componentes estructurales de la dentina. - NaOCl en ambas concentraciones afectó la dureza y la aspereza de la dentina del conducto radicular.
Baratto-Filho F, Carvalho Jr JB, et al. ⁶⁷ 2004	57	Experimental in vitro	Dientes humanos	0.5% 1% 5%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 5% fue más eficiente en la limpieza que NaOCl 0.5%, mientras que NaOCl 1% mostró un valor intermedio en limpieza y eliminación de detritus. - Se eliminó más del 89% de los restos de pulpa con todas las concentraciones de NaOCl estudiadas. - Varios factores interfirieron en la disolución pulpar.
Ari H, y Erdemir A, et al. ⁶⁸ 2005	138	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5% 5.25%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - La irrigación con NaOCl no disminuyó significativamente los niveles de calcio y fósforo de la superficie de la dentina (al 5.25% fue menos significativo que al 2.5%). - Concentraciones más altas de NaOCl pudieron afectar al material inorgánico y eso impidió una mayor disolución de la dentina o pudo disolver los componentes orgánicos y dejar una capa de tejido mineralizado. - Los niveles de azufre y magnesio no se vieron afectados. - Los niveles de potasio disminuyeron, pero no fue significativo.

Tabla II b. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Sirtes G, Waltimo T, et al. ⁶⁹ 2005	348	Experimental in vitro	Dientes humanos	1% 2.62% 5.25%	Disolución orgánica Alteraciones químicas Efectos Antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Al aumentar la temperatura, mejoró la capacidad de disolución de tejidos. - Todas las soluciones de NaOCl mantenían el 100% de su cloro disponible al ser calentadas a 20, 45 y 60°C durante 60 minutos. - Al aumentar la temperatura del NaOCl, mejoró su eficacia antimicrobiana, pues esta fue aproximadamente dos veces mayor a 45°C, en comparación a 20°C.
Marending M, Luder HU, et al. ⁷⁰ 2007	200	Experimental in vitro	Dientes humanos	1% 5% 9%	Alteraciones mecánicas Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 5% y 9% redujo los valores de flexión a la mitad. - El carbono y nitrógeno se redujo significativamente tras la aplicación de NaOCl 5% y 9%. - Existió un efecto dependiente de la concentración de NaOCl en los componentes orgánicos de la dentina, no así en los componentes inorgánicos (intactos). - Existió un efecto dependiente de la concentración del NaOCl sobre las propiedades mecánicas de la dentina, por la desintegración de la matriz orgánica. - El NaOCl generó permeabilidad dentinaria debido a la destrucción de los restos orgánicos. - NaOCl al 1% causó visible desprendimiento de la matriz superficial. NaOCl al 5% presentó cráteres de hasta 10 um de profundidad en la dentina periférica.
Christensen CE, McNeal SF, et al. ⁷¹ 2008	117	Experimental in vitro	Tejido muscular porcino	2.6% 5.25%	Disolución orgánica Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - La concentración del NaOCl fue un factor importante en la disolución del tejido. A mayor concentración, mejores resultados de disolución y limpieza. - Los tiempos de exposición más largos daban como resultado una mejor disolución de tejido. - Cuanto más ácido el pH del NaOCl, se requirió más tiempo de contacto para una disolución de tejido similar al estándar. - Mayor poder antibacteriano del NaOCl cuando tenía un pH más ácido, sin embargo, la disolución del tejido disminuyó.

Tabla II c. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Moreira DM, Affonso Almeida DF, et al. ⁷² 2009	111	Experimental in vitro	Dientes bovinos	5.25%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl causó desorganización morfológica y pérdida de estructura de matriz orgánica de dentina, cerca del conducto radicular. - NaOCl rompió enlaces entre átomos de carbono y desorganizó la estructura proteica primaria. - NaOCl no reveló alteración estructural en la matriz inorgánica.
Stojicic S, Zivkovic S, et al. ⁷³ 2010	266	Experimental in vitro	Tejido muscular bovino y dientes humanos	1% 2% 4% 5.8%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - El calentamiento de las soluciones de NaOCl mejoró su capacidad para disolver material orgánico. - Hubo un aumento continuo en la disolución de tejido a medida que aumentaba el tiempo relativo de agitación. - La restauración de la solución de forma continua dio como resultado un marcado aumento del efecto de NaOCl.
Hu X, Peng Y, et al. ⁷⁴ 2010	49	Experimental in vitro	Dientes humanos	0.5% 0.9% 1% 2.25%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl con diferentes concentraciones y tiempos de exposición no cambiaron las proporciones de carbonato:fosfato en las superficies de la dentina. - El tiempo de exposición diferente de NaOCl con la misma concentración produjo una relación amida:fosfato insignificamente diferente. - El tratamiento con NaOCl condujo al agotamiento del colágeno, dependiente de la concentración. - Menores concentraciones tuvieron mayor dificultad para alcanzar las bacterias de los túbulos dentinarios, así como también la profundidad en los mismos. Esto último se mejoró al aumentar el tiempo de exposición.
Zhang K, Tay FR, et al. ⁷⁵ 2010	89	Experimental in vitro	Dientes humanos	1.3% 5.25%	Disolución orgánica Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 5.25% y 1.3% aumentaron las relaciones apatita-colágeno en todos los períodos de tiempo, siendo mayor con NaOCl 5.25%. - Debido a su bajo peso molecular, el NaOCl pudo penetrar en la matriz de colágeno encapsulada en apatita y eliminar la fase orgánica de la dentina mineralizada. - NaOCl causó erosión, dependiendo de la concentración utilizada.

Tabla II d. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Jungbluth H, Marending M, et al. ⁷⁶ 2011	55	Experimental in vitro	Dientes bovinos	5.25%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - Soluciones de NaOCl más alcalinas aumentaron su efecto proteolítico. - Soluciones de NaOCl estabilizadas con NaOH fueron más cáusticas. - NaOCl estabilizado con NaOH disolvió más tejido blando que su contraparte estándar con el mismo contenido de cloro disponible. - Solución de NaOCl estabilizada mantuvo su pH constante, mientras que en la solución estándar bajó a 7.9. - Soluciones de NaOCl acidificadas fueron inestables.
Ordinola-Zapata R, Bramante C, et al. ⁷⁷ 2012	88	Experimental in vitro	Dientes bovinos	1%	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Las biopelículas tratadas con NaOCl perdieron el 90% del biovolumen total. - Tiempo de 5 minutos de exposición fue insuficiente para la disolución completa de la biopelícula; pero sí a los 15 minutos se logró eliminar el 90% del biovolumen total y bacterias.
Jungbluth H, Peters C, et al. ⁷⁸ 2012	48	Experimental in vitro	Dientes humanos y mucosa palatina porcina	5%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - La tensión superficial reducida no dio como resultado mayor disolución de tejido blando por las soluciones de NaOCl. - La tensión superficial no tuvo efecto directo sobre la disolución del tejido pulpar necrótico.
Clarkson RM, Kidd B, et al. ⁷⁹ 2012	31	Experimental in vitro	Dientes de porcino	1% 4%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo de disolución de la pulpa con NaOCl 1% con surfactante fue de 22 minutos y 32 segundos, mientras que sin surfactante fue de 23 minutos y 8 segundos. Con NaOCl 4% con surfactante fue de 11 minutos y 52 segundos, en tanto que sin surfactante fue de 10 minutos y 33 segundos. - Adicionar un surfactante a las soluciones de NaOCl no influyó en la velocidad de disolución del tejido pulpar. - Hubo diferencias en la disolución de tejido por la variación en el cloro activo.

Tabla II e. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
De-Deus G. ⁸⁰ 2013	25	Experimental in vitro	Dientes humanos	5.25%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - No hubo impacto de la tensión superficial de las soluciones de NaOCl en la disolución del tejido. - El nivel de las secciones transversales influyó significativamente en la cantidad de tejido pulpar remanente. - Cuanto menor fue la distancia al ápice, mayor fue la cantidad de remanente pulpar. - La irrigación convencional con aguja no pudo limpiar las zonas de difícil acceso de los conductos ovalados.
Slutzky-Goldberg I, Hanut A, et al. ⁸¹ 2013	34	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5%	Disolución orgánica Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl disolvió la totalidad de tejido pulpar en tubos de vidrio, luego de 60 minutos. Sin embargo, en modelos de dentina no disolvió todo el tejido pulpar. - Si bien NaOCl neutraliza aminoácidos, hubo reducción de pH.
Varise TG, Estrela C, et al. ⁸² 2014	13	Experimental in vitro	Dientes bovinos	0.5% 2.5% 5.25%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - En las fases volátil y acuosa, el contacto de NaOCl en todas sus concentraciones con pulpa y dentina condujeron a la formación de cuatro subproductos: benzaldehído, cloroformo, hexacloroetano y diclorometilbenceno, a temperatura ambiente. - Las cantidades de los subproductos generados se asociaron directamente con la concentración del NaOCl.
Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, et al. ⁸³ 2014	8	Experimental in vitro	Dientes bovinos	1% 2.5% 2.25%	Disolución orgánica Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las soluciones demostró eliminación total de la biopelícula. - Se observó una relación directamente proporcional entre la concentración de NaOCl, el tiempo de exposición y la disolución de la materia orgánica.
Macedo RG, Herrero NP, et al. ⁸⁴ 2014	14	Experimental in vitro	Dientes bovinos	3% 6% 12%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Una alta concentración de NaOCl compensó el efecto amortiguador de la dentina. - A menor concentración de la solución de NaOCl, mayor fue la reducción del pH después de la exposición. - La concentración de la solución de NaOCl influyó significativamente en el pH de la solución. - Cuando el pH del NaOCl alcanzó valores cercanos o inferiores al neutro, la formación de HOCl aumentó.

Tabla II f. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, et al. ⁸⁵ 2015	30	Experimental in vitro	Dientes bovinos	1% 2.5%	Disolución orgánica Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - La capacidad de disolución fue proporcional a la concentración y el pH del NaOCl. - La capacidad antibacteriana fue directamente proporcional a la acidificación de NaOCl e inversamente proporcional a la disolución de la materia orgánica.
Pitome AW, Cruz ATG, et al. ⁸⁶ 2015	5	Experimental in vitro	Pulpa bovina	1% 2.5% 5%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - Si bien la velocidad de disolución fue mayor a medida que aumentó la concentración de NaOCl, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre NaOCl 2.5% y 5%. NaOCl 1% mostró la velocidad de disolución más baja. - Solución de NaOCl con un pH alto fue más estable y la liberación de cloro fue más lenta.
Dumitriu D. y Dobre T. ⁸⁷ 2015	22	Experimental in vitro	Matriz de colágeno reticulada y matriz de colágeno no reticulada	1% 2% 3% 4% 5%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - El aumento de la temperatura y concentración del NaOCl aumentaron la velocidad de disolución de colágeno. - Fue preferible aumentar la temperatura de la solución en lugar de la concentración de NaOCl, siempre que proporcionara el mismo resultado.
Del Carpio-Perochena A, Bramante M, et al. ⁸⁸ 2015	8	Experimental in vitro	Dientes bovinos	1% 2.5%	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Un aumento en la temperatura del NaOCl no mejoró su capacidad disolvente o antibacteriana al probarse en biopelículas de especies mixtas. - El efecto antimicrobiano del NaOCl dependió más de la concentración y del tiempo de contacto. - La temperatura no influyó en la revitalización bacteriana, pues en todos los grupos estudiados se encontraron porcentajes variables de células viables y una lenta tasa de crecimiento bacteriano dentro de la biopelícula. - Ninguna solución fue capaz de eliminar completamente las bacterias de la dentina.

Tabla II g. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Tanomaru-Filho M, Silveira BR, et al. ⁸⁹ 2015	8	Experimental in vitro	Tejido pulpar bovino	2.5%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl con o sin agitación mostró una efectiva capacidad de disolución de tejido orgánico. - NaOCl asociado con irrigación ultrasónica pasiva demostró mayor disolución del tejido, que se asoció a aumento de temperatura del irrigante causado por la agitación.
Ghisi AC, Kopper PM, et al. ⁹⁰ 2015	23	Experimental in vitro	Dientes bovinos	2% 5%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl 2% produjo desorganización superficial en un área pequeña en el colágeno, pero significativamente menor que el producido con NaOCl 5%. - NaOCl rompió los enlaces entre átomos de carbono. - NaOCl 5% actuó intensamente en el componente orgánico de la dentina, no solo superficialmente, sino también en profundidad.
Kolosowski KP, Sodhi RN, et al. ⁹¹ 2015	17	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Después del tratamiento con NaOCl, hubo una degradación de la proteína de la matriz con la eliminación de CH₄N⁺. - Hubo disminución de potasio y calcio en los túbulos dentinarios tras aplicar NaOCl.
Loiacono R, Rodríguez P, et al. ⁹² 2016	1	Experimental in vitro	Tejido bovino	0.5% 1% 2.5% 5.25%	Disolución orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - Las propiedades físicas y químicas de NaOCl se vieron modificadas ante cambios térmicos y de concentración. - El NaOCl aumentó su capacidad disolutiva al aumentar levemente la temperatura y al duplicar la concentración. - El NaOCl más concentrado produjo efectos altamente deseables en el tejido pulpar fresco o necrótico, permitiendo que mayor cantidad de moléculas de NaOH interaccione con los lípidos de la membrana del tejido.
Tartari T, Bachmann L, et al. ⁹³ 2016	30	Experimental in vitro	Tejido muscular bovino y dientes de bovino	1% 2.5% 5%	Disolución orgánica Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Hubo disolución en todos los períodos de tiempo de inmersión y concentraciones, siendo mayor con el aumento en la concentración de NaOCl. - Hubo desproteinización del colágeno desde el primer período de inmersión, producida por soluciones de NaOCl en todas sus concentraciones, lo que resultó en disminuciones en la relación amida III/fosfato. NaOCl al 5% mostró mayores efectos en esta relación.

Tabla II h. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Han X, Wang Z, et al. ⁹⁴ 2016	61	Experimental in vitro	Lodos activados de membrana de lámina de polivinilideno	1, 5, 10, 20, 50 mg/g-SS	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - La lisis celular se produjo con bastante rapidez bajo concentraciones más altas de NaOCl. - Una mayor concentración condujo a un daño celular más severo, causando inhibición enzimática significativa adicional. - Las altas concentraciones de NaOCl afectaron el metabolismo heterotrófico y autotrófico de los microbios. - La producción intracelular de especies reactivas de oxígeno aumentó con el aumento de la concentración de NaOCl.
Ishihara M, Murakami K, et al. ⁹⁵ 2017	14	Experimental in vitro	Agua de estanque y DMEM.	HOCl 200 ppm	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - HOCl tuvo acción microbicida superior en comparación al ClO⁻. - Actividades microbicidas de las soluciones de HOCl se correlacionaron inversamente con los niveles de cloro residual.
Ramírez-Bommer C, Gulabivala K, et al. ⁹⁶ 2017	17	Experimental in vitro	Dientes humanos	2.5%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - Los picos de carbonato y fosfato permanecieron sin cambios después de 10 minutos de exposición al NaOCl. - La reacción de NaOCl con dentina degradó el colágeno, volviéndolo soluble en agua y removible por lavado.
Saha SG, Sharma V, et al. ⁹⁷ 2017	13	Experimental in vitro	Dientes humanos	3%	Alteraciones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> - NaOCl redujo ligeramente la microdureza de la dentina, pero no fue significativo.

Tabla II i. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Gu LS, Huang XQ, et al. ⁹⁸ 2017	33	Experimental in vitro	Dientes humanos	2% 4% 6% 8%	Disolución orgánica Alteraciones mecánicas Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - La tasa y eliminación de la fase orgánica de la dentina fue dependiente del tiempo y concentración de NaOCl, y estuvo controlada por difusión. - NaOCl aumentó relaciones apatita/colágeno de dentina y disminuyó su resistencia a la flexión. - El pH de NaOCl disminuyó a 6.40-6.73 posterior a 30 minutos de contacto con dentina. - Mayores concentraciones de NaOCl produjeron mayor degradación de colágeno y erosión dentinaria. - Cristales de apatita no protegieron la matriz de colágeno de dentina. - Menor intensidad de los picos de glicina y alanina y mayor intensidad de pico de amoniaco en dentina, posterior a exposición a NaOCl, en comparación a HCl. - Dentina peritubular demostró ser rica en proteínas que contienen ácido glutámico, también susceptible a la desproteínización.
Zhai S, Zhang W, et al. ⁹⁹ 2018	5	Experimental in vitro	Membrana sintética con incrustaciones de lisozima de carga opuesta.	10 ppm 50 ppm 100ppm 500ppm 2000ppm	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Tras la exposición a concentraciones altas de NaOCl, la intensidad de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier de la amida III desapareció, lo que implica que la estructura de las proteínas se destruyó.
Ioannidis K, Niazi S, et al. ¹⁰⁰ 2018	4	Experimental in vitro	Dientes humanos y suero de bovino	2.5%	Alteraciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Formación de compuestos organoclorados, incluido cloroformo, el cual se encontró más concentrado en el espacio coronal, así como también acetonitrilo. - Hubo altas concentraciones de amoniaco tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. - Hubo mayor liberación de acetaldehído en condiciones anaeróbicas. - Hubo mayor concentración de cloroformo que amoniaco en coronal.

Tabla II j. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Autor y Año	Veces citado	Tipo de estudio	Muestra	[NaOCl]	Variable analizada	Resultados
Petridis X, Busanello FH et al. ¹⁰¹ 2019	4	Experimental in vitro	Dentina sin especificación de su procedencia	2%	Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - Al aumentar el tiempo de exposición y el volumen del irrigante, se mejoró la capacidad química del mismo. - Al aumentar el volumen de NaOCl, se podría lograr una disolución significativa de la biopelícula en menos tiempo.
Yared G, Al Asmar Ramli G. ¹⁰² 2020	0	Experimental in vitro	Dientes humanos	5.25%	Disolución orgánica Efectos antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> - La capacidad desinfectante de la agitación sónica y ultrasónica de NaOCl fue similar cuando se calentó el irrigante. - La eliminación del tejido pulpar con activación sónica o ultrasónica de NaOCl antes de la aplicación de calor permitiría una mejor exposición de las bacterias al NaOCl calentado. - El calentamiento del NaOCl dentro del canal mejoró la disolución del tejido pulpar y dio como resultado canales más limpios.

Tabla II k. Artículos seleccionados. Resumen de los 43 artículos seleccionados según los criterios de elegibilidad.

Este trabajo se basó en realizar una búsqueda en la literatura especializada respecto a la interacción del NaOCl y los componentes del órgano dentino-pulpar donde, luego de aplicar los criterios de elegibilidad determinados, se analizaron 43 papers, en su totalidad de estudios experimentales *in vitro*, siendo rescatados el 91% de PubMed, coincidiendo el 84% de estos con PubChem, mientras que un 7% a través de búsqueda manual y el 2% restante de SciELO.

Parámetros del NaOCl estudiados

Los artículos seleccionados fueron clasificados según los criterios ya mencionados anteriormente, de los cuales el 72% estudió solo un parámetro, el 24% estudió dos parámetros y el 4% estudió tres parámetros. La clasificación que se detalla a continuación se resume en la Tabla III.

1. Disolución orgánica

De un total de 43 artículos seleccionados, el 51% estudió la capacidad de disolución de tejido producida por el NaOCl.

2. Efectos antimicrobianos

De los 43 artículos escogidos, el 30% analizó los efectos antimicrobianos del NaOCl.

3. Alteraciones químicas

El 26% de los artículos elegidos trató acerca de las alteraciones químicas en el órgano dentino-pulpar producidas por el NaOCl.

4. Alteraciones mecánicas

Del total de artículos, el 26% de los estudios evaluó las alteraciones mecánicas producidas en el tejido dentario posterior al contacto con NaOCl.

Propiedad del NaOCl estudiada	Número de artículos
Disolución de tejido	22
Efecto antimicrobiano	13
Alteraciones químicas	11
Alteraciones mecánicas	11

Tabla III. Propiedad del NaOCl estudiada. Los artículos seleccionados fueron divididos en cuatro temas principales, siendo no excluyentes entre uno y otro.

Sustrato de estudio

El 42% de los artículos seleccionados realizaron sus estudios sobre dientes humanos, el 28% en dientes bovinos y un 2% en dientes de porcino, mientras que otro 2% fue llevado a cabo en dentina no especificada. Asimismo, un 5% fueron desarrollados sobre tejido porcino y solo un 2% en tejido bovino.

Del resto de los estudios, un 5% fueron realizados sobre dientes humanos y tejido bovino, y un 2% fue ejecutado en dientes humanos y tejido porcino, mientras que un 2% se realizó sobre dientes y tejido bovinos.

Además, un 5% fue realizado en membranas sintéticas, un 2% en matriz de colágeno, y un 2% en agua de estanque. (Ver Tabla IV).

Sustrato de estudio general	Sustrato estudiado específico	Cantidad de artículos utilizados
Dientes	Diente humano	22
	Diente bovino	13
	Diente porcino	1
	No especificado	1
Tejido biológico	Bovino	3
	Porcino	2
Agua de estanque	Agua de estanque	1
Matriz de colágeno	Matriz de colágeno	1
Membrana sintética	Lodos activados	1
	Lisozima con carga opuesta	1

Tabla IV. Sustrato de estudio. Los tipos de muestras utilizadas en los artículos seleccionados fueron clasificadas según procedencia.

Tipo de estudio

La totalidad de los estudios realizados en los artículos seleccionados fueron de tipo experimental *in vitro*.

Nivel de evidencia

Todos los artículos corresponden a estudios experimentales *in vitro*, donde según la pirámide de las 6S de Haynes, al ser “estudios”, pertenecen al eslabón más bajo de la misma¹⁰³.

Años de antigüedad

El 23% de los artículos seleccionados fueron publicados entre los años 2000 y 2005, mientras que el 14% se publicaron entre 2006 y 2010. Asimismo, el 37% de los artículos corresponde a publicaciones entre los años 2011 y 2015, y el 26% entre los años 2016 y 2020 (ver Tabla V).

Año de publicación	Número de artículos seleccionados	Porcentaje que representa
2000-2005	10	23%
2006-2010	6	14%
2011-2015	16	37%
2016 -2020	11	26%

Tabla V. Año de publicación del artículo. Los artículos seleccionados fueron divididos en cuatro rangos de años.

Base de datos utilizada

Del total de 43 artículos, el 91% fue rescatado desde PubMed, tanto de la nueva como de la antigua edición, seguido por un 7% como búsqueda manual, mientras que el 2% restante corresponde a la biblioteca virtual SciELO. Cabe destacar que el 84% de los textos extraídos de PubMed se encontraron a su vez en PubChem, representando estos un 77% del total.

Cantidad de veces que ha sido citado un artículo

Del total de 43 artículos, el publicado en el año 2005 por Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M y Zehnder M, nombrado como “The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy”⁶⁷, es el que presenta mayor cantidad de citas (348). Mientras que “Antibacterial Ability of Sodium Hypochlorite Heated in the Canals of Infected Teeth:

An Ex Vivo Study”¹⁰⁰ realizado por Yared G y Al Asmar Ramli G, no presenta ninguna cita.

Cabe destacar que la mayoría de los artículos fueron citados menos de 50 veces, mientras que un 16% fue citado entre 51-100 veces, solo un 7% fue citado entre 101-150 veces, seguido por un 7% citado entre 251-300, el 5% de los artículos ha sido citado más de 301 veces y, por último, el 2% fue citado entre 151 y 200 veces (ver Tabla VI).

Rango de citaciones	Cantidad de artículos	Porcentaje
0 – 50	25	58%
51 - 100	7	16%
101 - 150	3	7%
151 - 200	1	2%
201 - 250	2	5%
251 - 300	3	7%
> 301	2	5%

Tabla VI. Cantidad de veces citado. Los artículos fueron categorizados según el número de veces citados, siendo divididos en 7 rangos en base a un intervalo de 50 unidades de recorrido y representados por su porcentaje correspondiente.

Discusión

Este estudio se basó en la utilización de las bibliotecas virtuales SciELO, PubChem y PubMed, seleccionando principalmente publicaciones de estas dos últimas, debido a que corresponden a buscadores de libre acceso. PubChem tiene la colección de información química más grande del mundo y PubMed presenta una inmensa cantidad de artículos de literatura biomédica, perteneciendo ambos motores de búsqueda al Centro Nacional para la Información Biotecnológica, pudiendo explicar las coincidencias entre las publicaciones seleccionadas, sumado a los criterios de búsqueda, donde se combinaron ambas disciplinas.

A lo largo de los años se han seguido estudiando las características del NaOCl, buscando modificar algunas variables para mejorar sus propiedades, esto podría explicar la consistencia en cuanto a los artículos publicados en los últimos 20 años. Además, se ha comparado su actividad con otros disolventes de material orgánico, sin embargo, el NaOCl sigue siendo el patrón de oro y, por lo tanto, materia de interés en estudios de la disciplina endodóntica.

Cabe destacar que los 43 artículos seleccionados presentaron estudios de tipo *in vitro*. No obstante, Sirtes et al.⁶⁹, señala que puede que estos resultados no sean directamente extrapolables a la situación clínica, esto se debe a que, por ejemplo, no es posible obtener una biopelícula similar a la encontrada en el conducto radicular, donde prevalecen las bacterias anaeróbicas, ya que varios autores señalan que pese a utilizar biopelícula oral obtenida tras el uso de elementos de ortodoncia, esta no logra igualar la realidad clínica por la diferencia de entidades bacterianas^{77,83,88}.

Sin embargo, realizar estos estudios de tipo *in vivo* podría ser perjudicial para los pacientes, debido a la irritabilidad que el NaOCl produce en los tejidos, así como también la toxicidad que puede presentar tras la liberación de cloro en forma de gas, afectando tanto al odontólogo como al paciente. Asimismo, no se tiene real claridad acerca de la toxicidad de soluciones de NaOCl precalentadas, ni del riesgo de transferencia de calor existente a través de la dentina al irrigar el sistema de conductos con estas soluciones, representando también una amenaza para los tejidos

periodontales adyacentes⁶⁹. Esto conlleva a una disyuntiva sobre cuán necesaria es esta exposición en el paciente para lograr el nuevo conocimiento, en contraste con la ética investigativa, en la cual se debe priorizar la seguridad del individuo. Toda investigación científica que involucre seres humanos debiese cumplir con la responsabilidad social y minimizar los riesgos de daños potenciales, acatando las conductas éticas y legales establecidas.

Debido a estas dificultades fue que la mayor parte de los estudios se llevaron a cabo en dientes humanos, buscando una mayor semejanza a las condiciones clínicas. Aunque, un porcentaje no menor se realizó en dientes de bovino, lo cual puede deberse a la similitud entre ambas estructuras, tanto pulpar como dentinaria^{86,89,93}. Esto fue mencionado por algunos autores, entre ellos Tartari et al. en el año 2016⁹³, fundamentando que ambos presentan un número similar de túbulos dentinarios y que no existe diferencia entre las matrices minerales ni en el colágeno, donde la única desigualdad estaba en las intensidades de las bandas de absorción, lo que permite una mejor estandarización en el análisis requerido.

El estudio sobre dientes de vacuno o porcino podría proporcionar mayor facilidad y comodidad al realizar intervenciones sobre los mismos, suponiendo que presentan un mayor tamaño en comparación a los dientes de humano. Sin embargo, esto no se menciona en ninguno de los artículos evaluados. Por otro lado, varios autores hacen hincapié en la dificultad de igualar la morfología del conducto radicular y las variaciones que estos tienen^{77,83}.

Dentro de los artículos escogidos, la publicación más citada hasta la fecha fue de los autores Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M y Zehnder M, nombrado como “The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy”, convirtiéndolo en un estudio de alto impacto. Esta publicación fue realizada el año 2005, la cual concluye que al aumentar la temperatura del NaOCl mejoraba su capacidad de disolución de material orgánico y su efecto antibacteriano, manteniendo estable la solución en el tiempo con su totalidad de cloro disponible⁶⁹. Esto último en conjunto con la metodología utilizada en dicho estudio podría explicar su importancia y repercusión en el campo de la endodoncia.

En cuanto a las interacciones moleculares que el NaOCl provoca, las cuales redundan en su capacidad de disolución de tejido, los estudios han demostrado que todas las concentraciones de NaOCl generan esta acción⁷⁸, siendo comprobado por Baratto et al.⁶⁷, quienes obtuvieron una disolución de más del 89% de los restos de pulpa dental, así como también Beltz et al.⁶⁴, los que demostraron la eliminación de tejido dentinario, logrando en este una disolución del 22%. Esto último puede explicarse por la menor cantidad de tejido orgánico de la dentina en comparación a la pulpa, pues corresponde a solo un 20%.

Si bien todas las soluciones de NaOCl logran la disolución del material orgánico, se observan mejores resultados cuando su concentración es mayor, siendo a su vez más eficiente la limpieza del conducto, en comparación a menores concentraciones. Este supuesto fue corroborado por Baratto et al.⁶⁷, y posteriormente por distintos investigadores, quienes ratifican que la capacidad de disolución es proporcional a la concentración del NaOCl, siendo así un factor importante dentro de las características de este disolvente de material orgánico^{62,63,68,71,75,79,92,98}. Loiacono et al.⁹² agregaron que esta relación sucede tanto en tejido pulpar vital como necrótico, permitiendo que la mayor cantidad de moléculas del irrigante interaccione con los lípidos de la membrana del tejido⁹², causando además la ruptura de los enlaces entre átomos de carbono, desorganizando así la estructura primaria de las proteínas^{72,90}, donde mediante el proceso de difusión es capaz de eliminar estos componentes orgánicos⁹⁸.

No obstante, en el estudio de Beltz et al.⁶⁴, se observó que el NaOCl al 5.25% y al 2.6% disolvieron el tejido pulpar de igual manera⁶⁴, lo que puede deberse al prolongado tiempo de exposición que tuvieron ambas muestras (120 minutos). Esto demuestra que existen otros factores, además de la concentración, que interfieren con la disolución de material orgánico⁶⁷, como lo es la estructura dentaria propiamente tal, ya que según Slutzky-Goldberg et al.⁸¹, la dentina reduce la capacidad de disolución de tejido pulpar del NaOCl.

Ante esto se podría cuestionar la interacción química de este disolvente y la estructura dental, entendiéndose que a mayor concentración de NaOCl, mayor impacto tendrá en la desproteización del colágeno^{64,74,90,96}, incrementando la velocidad de

disolución^{86,87,93}, la que también se puede ver modificada positivamente al aumentar la temperatura⁸⁷. Sin embargo, Pitome y et al.⁸⁶ analizaron que tras utilizar NaOCl al 1% se presentaban diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de disolución en comparación al NaOCl al 2.5% y 5.25%, no así entre estos últimos. Esto podría indicar que al ir aumentando la concentración llega a un punto en donde la velocidad de degradación se mantiene constante, pudiendo ser explicado por la cantidad de cloro disponible, la cual disminuye al tener contacto con materia orgánica. Por lo que es recomendable realizar un continuo recambio de la solución de NaOCl durante el tratamiento endodóntico, buscando así mejorar su efectividad⁷³.

Como se mencionó anteriormente, la temperatura también podría ser considerada como un factor que altera la degradación del material orgánico^{69,92}, la cual puede ser modificada de distintas maneras, siendo una de ellas la agitación⁷³, que conlleva a un aumento en el movimiento de las moléculas y con esto, mayor probabilidad que estas interactúen. Tanomaru-Filho et al.⁸⁹ señalaron que existe mayor disolución con la irrigación ultrasónica pasiva en comparación a una en ausencia de agitación, sin embargo, ambas condiciones resultaron eficaces. Así también lo determinó Stojicic et al.⁷³, quienes además agregan que hay un aumento continuo en la disolución de tejido a medida que aumenta el tiempo relativo de agitación.

Yared et al.¹⁰² sugieren la aplicación de calor intraconducto al NaOCl tras la agitación, asociándose esto a mejores capacidades antibacterianas y de disolución orgánica, ya que las bacterias se ven más expuestas a la acción del irrigante calentado, dando como resultado conductos más limpios. Esto podría postularse como una alternativa en el protocolo de irrigación, sin embargo, como se mencionó anteriormente, poner en práctica esta modificación del irrigante podría ser riesgoso para la salud humana, lo que a su vez iría contra la ética profesional. Por otro lado, generaría una solución más inestable, por lo que debiese ser manipulada de manera apresurada, requiriendo agilidad y experiencia de parte del clínico.

Los estudios han demostrado que las reacciones del NaOCl siguen las mismas tendencias básicas de la cinética química, aunque no se ha podido encontrar en la literatura información cuantitativa de hasta cuánto se puede optimizar el tiempo de

acción para tener una orientación clínica del uso del NaOCl hasta la capacidad completa de su velocidad máxima, lo que, si bien es cierto, depende de la cantidad de material orgánico que exista en el sistema de conductos. Lo mencionado podría indicar que el manejo de concentración y temperatura no son capaces de predecir exactamente un tiempo mínimo o máximo de uso del NaOCl como desinfectante, dejando, hasta ahora, el proceso más en manos de la experiencia clínica que de un parámetro científico certero, medible y reproducible.

La exposición excesiva al NaOCl podría generar distintos efectos en la estructura mineral de la dentina, ante esto Zhang et al. y Gu et al. concluyeron en sus estudios que incluso es capaz de causar erosión, dependiendo de la concentración utilizada^{75,98}. Pese a esto, es importante comprender que la concentración por sí sola es insuficiente para causar este daño, siendo necesario que vaya acompañada de otros parámetros, como aumento de temperatura y/o tiempo de exposición, confluyendo así estas tres variables en las interacciones con el órgano dentino-pulpar.

Dogan y Qalt⁶⁰ señalaron que ocurrió una acumulación de los minerales, aumentando la cantidad de carbonato y reduciendo la cantidad de fosfato, sin embargo, no existieron cambios en los niveles de magnesio. Situación contraria a la que señala Hu et al.⁷⁴ y Ramirez et al.⁹⁶, quienes indicaron que la exposición del irrigante a distintas concentraciones y tiempos de exposición no cambia las proporciones de estos compuestos en la superficie, por lo que no genera alteraciones en los componentes inorgánicos^{72,74}.

Las diferencias señaladas se podrían atribuir a la técnica utilizada y al manejo de las muestras, considerando que Dogan y Qalt⁶⁰ realizaron un pulido de la superficie, dejándola prácticamente lisa, requisito para poder ser analizadas con la microscopía electrónica de barrido; esto pudo generar la eliminación de la matriz dentinaria más superficial, causando cambios en el material inorgánico y con ello, resultados distintos a los esperados. La opción de eliminar material inorgánico no es considerada del todo factible, entendiéndose que la estructura se basa principalmente en fósforo y calcio, y las reacciones moleculares no sugieren interacciones entre este último y el cloro en

una primera etapa. Sin embargo, ninguno de estos hallazgos puede ser descartado, ya que, al tratarse de HOCl, correspondiente a un ácido débil, se esperaría que generase algún impacto en el material inorgánico, aunque no significativo. Pese a esto, no se encontró mayor información sobre estas relaciones, según los parámetros de búsqueda utilizados en esta revisión de la literatura.

Utilizando la misma metodología que Dogan et al., Ari et al.⁶⁸ evidenciaron la importancia de la concentración en este proceso, manteniendo constante la temperatura y tiempo de exposición, obteniendo que esta disminución de calcio y fósforo era menos significativa tras el uso de NaOCl al 5.25% que al 2.5%, siendo responsable de ello la capa mineralizada formada, la cual es de mayor magnitud a concentraciones más altas y afecta en mayor medida al material orgánico^{60,68,91}, lo que fue evidenciado por el descenso de la relación amida III/fosfato^{74,93,99}. Esto puede deberse al bajo peso molecular que presenta el NaOCl, lo que le permite penetrar la matriz de colágeno, logrando eliminar el material orgánico, dejando libre los cristales de apatita encapsulados en el mismo y provocando la formación de una matriz mineralizada⁷⁵.

Por otro lado, si bien varios autores describen la acción del NaOCl en la formación de esta capa mineraliza, el estudio de Ari et al. se limita a corroborar lo ya establecido por la química básica, con respecto que a mayor concentración presenta una velocidad de reacción más rápida, siendo quizá una información redundante. Ante esto se propone la variación simultánea de otros factores que afectan las características del irrigante, con la finalidad de evaluar cómo se relacionan y cómo podrían mejorar la capacidad de disolución del mismo.

Driscoll et al.⁶³ también evaluaron los efectos de distintas concentraciones del NaOCl sobre la organización de la dentina, evidenciando que este irrigante producía cambios en los cristales de apatita del esmalte, pero no tenía este mismo efecto sobre la estructura de la dentina, observándose en esta última una fracción más pequeña de iones de carbonato y ausencia de formación de calcita⁶³. Tras esto, se concluye que los cristales de apatita no son capaces de proteger la matriz de colágeno en su totalidad de la degradación química oxidativa generada por el irrigante^{61,98}.

Entendiéndose que para formar esta matriz de minerales se requiere de una interacción de mayor magnitud entre el NaOCl y el material orgánico, ya sea dada por su prolongado tiempo de exposición o una alta concentración del irrigante.

Sumado a esto, Oyarzun et al.⁶¹ realizaron la primera investigación inmunohistoquímica sobre los efectos del NaOCl en el colágeno dentinario y GAG, determinando que este irrigante produce alteraciones sobre el colágeno intertubular y el GAG intratubular, resultando más afectados los túbulos dentinarios superficiales⁶¹. Además del colágeno tipo I y los sulfatos de condroitina, también hay otras proteínas presentes en la matriz superficial de la dentina, las cuales son degradadas posterior a la exposición con NaOCl^{61,91,98}. Esto evidencia la primera reacción del mecanismo de acción de este irrigante, la saponificación, la cual es fundamental en el proceso de degradación de material orgánico. Sin embargo, un factor relevante a cuestionar es si ocurre esta misma situación ante la presencia de biopelícula endodóntica, lo que podría modificar los resultados obtenidos mencionados anteriormente.

Esta serie de cambios en la estructura dentinaria provoca alteraciones en sus propiedades mecánicas. Algunos estudios señalan que existe un efecto dependiente entre esta consecuencia y la concentración del NaOCl, así como también el tiempo de exposición, los cuales son capaces de afectar los valores de resistencia a la flexión o módulo elástico, debilitando así la dentina^{70,98}, ignorando el factor temperatura.

Por otro lado, la degradación de restos orgánicos generó una mayor permeabilidad dentinaria, donde a menores concentraciones solo se desprendió la matriz superficial, mientras que a mayores concentraciones existió un deterioro caracterizado por cráteres de hasta 10 um de profundidad en la dentina periférica⁷⁰. Esto genera un aumento en la rugosidad de la dentina radicular, afectando la aspereza de la misma, viéndose alterada significativamente la microdureza del conducto^{66,97}. Esta situación puede deberse a la eliminación de la fase orgánica de la dentina, pues se degrada el colágeno tipo I, el cual tiene importante función estructural y le otorga las propiedades mecánicas al tejido³⁸. No obstante, se cree que considerar perforaciones de 10 um en una superficie de al menos 1000 um, correspondiente a la dentina³⁸, causaría un daño ínfimo en la resistencia mecánica total del diente.

Otro factor a considerar corresponde al pH, partiendo de la premisa que el NaOH corresponde a la base fuerte de este irrigante altamente alcalino, la cual, al tener contacto con material orgánico, se espera que se generen reacciones redox entre los sustratos, obteniendo una brusca disminución del pH de la solución, debido a la acción amortiguadora de la mezcla^{81,98}. A su vez, esto fue fundamentado por Macedo et al., quienes demostraron en su estudio que, cuanto menor es la concentración de la solución, mayor es la reducción del pH después de la exposición con el tejido orgánico, lo que se explicaría por su mayor contenido de agua que actúa como buffer de la misma, así como también se constata un efecto amortiguador significativo de la dentina^{84,98}.

Tras la brusca variación del pH, podría ser este considerado como un predictor del equilibrio, evidenciando la ausencia de restos pulpares, lo que podría ser clínicamente medido, fijando con ello un promedio y estableciendo cuando el conducto radicular se encuentra en un ambiente favorable para proceder a la etapa de obturación. A pesar de ello, para realizar una comparación válida, es necesario llevar a cabo estudios que, en primer lugar, evalúen la variación del pH tras su activación con la luz y, posteriormente, su cambio tras el contacto con materia orgánica, con especial cautela en la modificación de los factores ya mencionados.

Por otra parte, estas reacciones de óxido reducción pueden afectar la capacidad de disolución del material orgánico, donde Del Carpio-Perochena⁸⁵ observó que existía una relación proporcional de la misma respecto al pH del NaOCl. Esto podría explicarse mediante las reacciones de saponificación y neutralización, que son consecuencia de la interacción entre el NaOH y el material orgánico, resultando en una disminución del pH del NaOCl. Cuando el pH de este irrigante alcanza valores cercanos o inferiores al neutro, la formación de HOCl aumenta⁸⁴, por lo que la velocidad de disolución de la materia orgánica se reduce⁸⁵.

En consecuencia, se requiere de un pH más alcalino para obtener los efectos deseados del NaOCl como disolvente orgánico, esto debido a que a mayor pH estas soluciones son más estables, presentando una liberación de cloro más lenta^{76,86}. A su vez, al hacer esta sustancia química aún más básica, aumentaría su efecto proteolítico

en contacto con los tejidos, sin embargo, esto causa que los efectos negativos sobre la estabilidad de la dentina aumenten, pudiendo infringir más daño por ser más cáustico⁷⁶, debido a que existe mayor cantidad de NaOH.

En tanto, cuanto más se acidifica la solución, mayor tiempo de contacto se requiere con el tejido para obtener resultados de disolución orgánica similares a los generados por el NaOCl estándar^{71,85}. Sin embargo, Zehnder et al.⁶² agregaron que al acidificar la solución actuaba con mayor agresividad en el tejido descompuesto en comparación del tejido fresco⁶², lo que podría indicar que el NaOCl acidificado tendría mayor efectividad ante tejido pulpar necrótico en contraste con pulpa vital, pudiendo ser un factor a considerar en la terapia endodóntica; esto podría tener relación al número y variabilidad de bacterias que existen en un tejido necrótico, donde prevalecen las de tipo Gram-negativo.

Asimismo, la variación del pH del NaOCl también podría alterar la capacidad antibacteriana, donde parece ser que esta aumenta cuando el pH de la solución disminuye^{71,85}, porque a un pH más bajo, el cloro disponible como HOCl es más activo. Esto último puede ser explicado debido a la carencia de carga eléctrica del irrigante, lo que le permite penetrar la membrana celular bacteriana⁷¹.

El cloro “disponible” es la suma de las concentraciones de HOCl y el ion hipoclorito (OCl⁻) en la solución, pudiendo definirse como una medida de la capacidad oxidante y se expresa en términos de la cantidad de cloro elemental⁷¹. Se considera que el HOCl es un oxidante más fuerte que OCl⁻; y es el responsable de la poderosa acción de cloración y oxidación de tejidos y microorganismos^{92,95}. Entendiéndose así que la cantidad de cloro disponible es la encargada de las propiedades disolventes del NaOCl, excluyendo la osmolaridad, pH o capacidad tampón⁶². No obstante, esta variación del pH podría condicionar la práctica clínica por su inestabilidad química, lo que conlleva a presentar problemas tanto en el almacenamiento como en su comercialización⁷⁶, además de tener que realizar una elección entre obtener mejores capacidades de disolución de tejido orgánico o un mejor efecto antibacteriano.

En base a la evidencia mencionada respecto al pH, se podría ofrecer una alternativa innovadora en cuanto al manejo de la irrigación con NaOCl, planteando en primera instancia el uso de esta solución a pH estándar con la finalidad de eliminar el material orgánico en conjunto con la instrumentación mecánica, y posteriormente utilizar el irrigante a un menor pH con fines antimicrobianos.

Pese a esto, no cabe duda que el NaOCl de por sí tiene un rol importante en cuanto a su efecto antibacteriano, donde Ercan et al.⁶⁵, determinaron que el NaOCl 5.25% lograba generar una reducción evidente en el crecimiento bacteriano tras el uso del mismo, siendo más profunda para *E. Faecalis* y *A. Israelii*, que para *S. Aureus* y *S. Salivarius*, señalando que uno de los objetivos del irrigante es que sea capaz de destruir microorganismos y neutralizar sus productos sin dañar el tejido del huésped humano⁶⁵.

Así también, la concentración, además de influir sobre la disolución de material orgánico, la cual queda evidenciada en la disminución significativa de carbono y nitrógeno tras el uso de NaOCl⁷⁰, podría tener un impacto en la actividad antibacteriana, donde Del Carpio-Perochena et al.⁸³ determinaron una relación de proporcionalidad directa entre la concentración de NaOCl y su capacidad antimicrobiana, mostrando que el NaOCl 5.25% fue capaz de eliminar casi la totalidad de la biopelícula, mientras que el NaOCl 1% la eliminó parcialmente⁸³.

El mismo autor, posteriormente comprobó que concentraciones de NaOCl menores a 5.25% eran capaces de disminuir el biovolumen total de la biopelícula, pero ninguno lograba eliminarla por completo^{83,88}, siendo estos resultados concordantes con Ordinola-Zapata et al.⁷⁷. Por lo tanto, se determinó que las menores concentraciones de NaOCl parecen ser insuficientes para eliminar completamente las bacterias, pues resulta más difícil alcanzar los microorganismos en los túbulos dentinarios⁷⁴, mientras que a concentraciones más altas se propicia en mayor medida su efecto antimicrobiano; esta diferencia podría ser mejorada al aumentar el tiempo de exposición en el uso de concentraciones menores⁷⁷. Cabe destacar que, entre estos autores, Del Carpio et al.⁸⁸ utilizó el irrigante a 37°C, mientras que de los dos restantes, uno trabajó a temperatura ambiente y el otro no especifica.

Si bien se podría pensar que el NaOCl mejora su acción antibacteriana al aumentar la temperatura previamente del irrigante, varios estudios señalan que esto no sucede, debido a que el irrigante al entrar al conducto radicular alcanza velozmente la temperatura corporal³⁷, lo que podría sugerir realizar los análisis a una temperatura de 37°C. Por otro lado, la temperatura tampoco influyó en la revitalización bacteriana, pues en todos los grupos estudiados se encontraron porcentajes variables de células viables y una lenta tasa de crecimiento bacteriano dentro de la biopelícula⁸⁸.

Asimismo, Han et al.⁷⁵ agregan que las altas concentraciones de NaOCl también afectan el metabolismo heterotrófico y autotrófico de los microbios, aumentando la producción intracelular de las especies reactivas de oxígeno. Esto causaría más daño a la membrana e inhibiría los procesos enzimáticos, lo que provoca finalmente la lisis celular, cuya velocidad depende de la concentración de la solución⁷⁵. Además, la disolución de la biopelícula tendrá un impacto más significativo al exponerla a un mayor tiempo y/o volumen de NaOCl, viéndose así mejoradas las capacidades químicas del irrigante¹⁰¹. Se sugiere en la práctica clínica el uso de NaOCl a una concentración de 5.25% en necropulpectomías, considerando su mayor carga bacteriana, y de 1% en biopulpectomías¹⁰⁴.

Otro factor a evaluar corresponde a la tensión superficial del NaOCl, la cual permitiría que exista un mayor contacto con las paredes del conducto y, en consecuencia, mejor lubricación de estas, favoreciendo la acción de la instrumentación mecánica. Sin embargo, el estudio de esta mediante el uso de surfactante, que tiene como acción disminuirla aún más, determinó que esta variable no genera un impacto significativo en la velocidad de disolución de tejido^{78,79}. De acuerdo a lo señalado, estos resultados contradicen la teoría establecida que indica que la baja tensión superficial mejora el alcance del irrigante en los conductos dentinarios y no influye directamente en la disolución del tejido, ya que solo se relaciona con los fenómenos de superficie que mejoran la capacidad de escurrimiento sobre esta^{105,106}, por lo que relacionar estas dos variables no sería apropiado.

Este resultado fue corroborado por De-Deus et al.⁸⁰ quienes además señalan que la sección transversal del conducto influyó significativamente en la cantidad de

tejido pulpar remanente, así como también su distancia al ápice, ya que hacia la zona más apical existía mayor cantidad de tejido pulpar remanente en el conducto radicular. Entendiendo que el desbridamiento disminuye en dirección corono-apical, señalando que la irrigación convencional no pudo limpiar zonas de difícil acceso⁸⁰. Esto resulta de suma importancia para comprender la dificultad de desinfección del conducto en el tratamiento de endodoncia.

Por otro lado, Ioannidis et al.⁹⁸ en el año 2018 estudiaron la formación de compuestos organoclorados tras la interacción de NaOCl 2.5% con dentina y pulpa, determinando su aparición luego de 15 minutos de contacto, incluido cloroformo, el cual estuvo concentrado mayormente en el espacio coronal, así como también acetónitrilo. Además, detectó espectros de iones reactivos como ácido acético y amoniaco^{98,100}, este último tanto en condiciones anaeróbicas como aeróbicas, mientras que el acetaldehído se liberaba principalmente en condiciones anaeróbicas¹⁰⁰.

Asimismo lo estudió Varise et al.⁸², quienes tuvieron resultados similares, encontrando además otros organoclorados como hexacloroetano y diclorometilbenceno, y subproductos como el benzaldehído; los cuales se generan a cualquier concentración, no obstante, al incrementar esta variable, aumenta la cantidad de los compuestos mencionados. Estos derivados orgánicos volátiles clorados, en conjunto con los subproductos de desinfección halogenados, requieren ser tomados en consideración en la práctica endodóntica debido a su posible toxicidad, lo que podría ser un riesgo al utilizar NaOCl en grandes concentraciones y/o volúmenes. No obstante, si se utiliza de manera cuidadosa y controlada se pueden disminuir sus efectos negativos.

Si bien la mayoría de los estudios centran su análisis en la degradación del material orgánico, extrañamente fue casi nula la descripción del mecanismo de acción del NaOH con los tejidos orgánicos, pese a que esta es la molécula responsable de la saponificación y neutralización de los mismos, constituyendo una limitación dentro de esta revisión crítica de la literatura. Además, es relevante mencionar el limitado número de bases de datos utilizadas y el bajo nivel de evidencia de los artículos seleccionados,

pues corresponden en su totalidad a estudios *in vitro*, debido a la dificultad de realizar investigaciones en humanos por el trasfondo ético que implica. Igualmente, esta información resulta útil para el presente, pero no entrega proyecciones a futuro.

La pandemia por COVID-19 sumó la complejidad de acceder a textos de manera presencial, ya que algunos no se encontraban disponibles virtualmente, o bien requerían ser costeados. Pese a ello, se considera que no se presentaron mayores limitaciones para llevar a cabo esta revisión crítica de la literatura.

Conclusión

Tras esta revisión crítica de la literatura se puede concluir que el NaOCl presenta múltiples interacciones con el órgano dentino-pulpar, viéndose alterada su composición orgánica. Se evidencia en la mayoría de los estudios un enfoque en el proceso de desproteínización dentinaria y, en menor medida, la evaluación de la reacción de cloraminación con el fin de justificar la acción antimicrobiana.

El órgano dentino-pulpar está compuesto por material orgánico e inorgánico, encontrando en su estructura una serie de proteínas, principalmente colágeno, GAG y amida III. Así como también elementos, entre ellos magnesio, calcio, fósforo, nitrógeno y sustancias químicas como carbonato y fosfato.

El impacto del NaOCl en el órgano dentino-pulpar varía según distintos factores, siendo la concentración, la temperatura y el tiempo de exposición influyentes tanto en su acción antimicrobiana como en su velocidad de disolución, afectando a su vez, la estructura dentinaria. Existe además un cuarto factor, el pH, que al ser más alcalino presenta mejor acción disolvente, mientras que al ser más ácido tiene mejores propiedades antibacterianas, permitiéndole a su vez reflejar la etapa de reacción en la que se encuentra la solución, por lo que demuestra, según la bibliografía evaluada, ser el único parámetro químico eventualmente medible que predice la estabilidad de la solución luego de la eliminación del material orgánico.

Sugerencias

Se recomienda para futuros estudios evaluar la interacción del NaOCl con pus y/o sangre, lo que podría brindar un escenario aún más realista con las características de la infección endodóntica. Así como también realizar análisis en biopelículas similares a la presente en los conductos radiculares, ya que estas podrían influir en el estudio de las variables analizadas.

A su vez, se sugiere enfáticamente realizar estudios enfocados en la interacción entre el NaOH y el órgano dentino-pulpar, analizando no solo las variables concentración y tiempo de exposición, sino que también la temperatura, con la finalidad de determinar cuantitativamente su capacidad de penetración en los túbulos dentinarios. Además, en caso de experimentar a temperatura constante, es importante que esta corresponda a 37°C.

Por último, se aconseja aumentar el número de bases de datos para realizar la investigación y estudiar a mayor profundidad la formación de compuestos organoclorados, ya que, si bien se ha demostrado que tienen baja toxicidad, no se ha establecido si tienen relación con otros fenómenos en la salud humana y/o ambiental.

Bibliografía

1. Wu M.K., Shemesh H., Wesselink P.R. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J.* 2009;42:656-66.
2. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Irrigantes del conducto radicular. *J Conserv Dent.* 2010;13:256–64.
3. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 1981;89:321–328.
4. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontics irrigating solutions. *Endod Topics.* 2013 May;27(1):74-102.
5. Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, Micó-Martínez P, Muwaquet-Rodríguez S, Albero-Monteagudo A. Update of the therapeutic planning of irrigation and intracanal medication in root canal treatment. A literature review. *J Clin Exp Dent.* 2009 Jan;11(2):185-193.
6. European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J.* 2006;39:921-30.
7. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-65.
8. Barret MT. The Dakin-carrel antiseptic solution. *Dent Cosmos.* 1917;59:446-448.
9. Coolidge ED. The diagnosis and treatment of conditions from diseased dental pulps. *J Ame Dent Assoc* 1919;6:337-349.
10. Coolidge ED. Studies of germicides for the treatment of root canals. *J Ame Dent Assoc* 1929;16:698-712.
11. Glossary of Endodontic Terms. *AAE.* 2020 Mar;10:44.
12. Nelson DL, Cox MM. *Lehninger Principios de bioquímica.* 6th ed, Barcelona: Ediciones Omega; 2015.
13. Moorer W, Wesselink P. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982;15:187–96.

14. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio R, Torabinejad M. Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate enterococcus faecalis. *J Endod* 2010;36:520–3.
15. Poulter C. Bioorganic Chemistry. A Natural Reunion of the Physical and Life Sciences. *J Org Chem*. 2009 Mar;74(7):2631–45.
16. Nelson DL, Cox MM. *Lehninger Principios de bioquímica*. 5th ed, Barcelona: Ediciones Omega; 2009.
17. Thornton R, Neilson R. *Química orgánica*. 5th ed. México, México: Pearson education; 1998.
18. Allinger N. *Química Orgánica*. 1st ed. San José, Costa rica: Universidad estatal a distancia; 1972.
19. Macy R. *Química Orgánica Simplificada*. 2nd ed. Barcelona, España: Reverté; 1976.
20. Petrucci R, Herring F, Madura J, Bissonnette C. *Química General. Principios y aplicaciones modernas*. 10th ed, España: Pearson; 2011.
21. Túnez I, Galván A, Fernandez E. pH y amortiguadores: Tampones fisiológicos. *Amortiguadoras*, 2001, vol. 3, p. 1-11.
22. McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and Disinfectants: activity, action and resistance. *Clin Microbiol Rev*. 1999;12:147-79.
23. Real Decreto 1054/2002, de 11 de octubre, por el que se regula el proceso de evaluación para el registro, autorización y comercialización de biocidas. BOE 247, 15 de octubre de 2002.
24. Ribas B. Biocidas: Datos sobre su evaluación para la salud, industria alimentaria e impacto ambiental. *Monogr la Real Acad Nac Farm*. 2010:99-127.
25. McDonnell G, Russell D. Antiseptics and disinfectants: Activity, action, and resistance. *Clin Microbiol Rev*. 1999;12 Suppl 1:147–79.
26. Hernández MJ, Celorrio JM, Lapresta C, Solano VM. Principles of antiseptics, disinfection and sterilization. *Enferm Infecc Microbiol Clin*. 2008 Apr;32(10):681-8.
27. Moreno F, Schade A, Rivero P, Smith C. Practical recommendation for antiseptics and disinfection. *Bol Micol*. 2015 Nov;30(2):64-70.

28. Procedimientos de curación: antisépticos y desinfectantes. Escuela de Enfermería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Adaptación material de estudio Manejo de Heridas.
29. Sánchez L, Sáenz E. Antisépticos y desinfectantes. *Dermatol Peru*. 2005 Jun;15(2):82-103.
30. Grupo Nacional para el estudio y asesoramiento en úlceras por presión y heridas crónicas. Recomendaciones sobre la utilización de antisépticos en el cuidado de heridas crónicas. 2002.
31. Denise M. Desinfectantes en salud animal. 1st ed. San José, Costa Rica: IICA Biblioteca Venezuela; 1990.
32. Yáñez E. Acción de los agentes químicos sobre las bacterias. Curso de microbiología general. 1998.
33. Guía institucional para uso de antisépticos y desinfectantes. 2005.
34. Limpieza, desinfección y esterilización. Antisépticos y desinfectantes. 2010.
35. Gómez ME, Campos A. Histología, Embriología e Ingeniería tisular bucodental. 3rd ed. Buenos Aires: Panamericana; 2009.
36. Avery JK, Chiego DJ Jr. Essentials of oral histology and embryology. 3rd ed. Missouri: Mosby; 2006.
37. Estrela C. Ciencia endodóntica. 1st ed. Sao Paulo: Artes Médicas; 2005.
38. Gómez ME, Campos A, Sánchez MC, Carranza M, Arriaga A. Histología e embriología bucodental. 2nd ed. Buenos Aires: Panamericana; 2006.
39. Fuentes MV. Propiedades mecánicas de la dentina humana. *Av Odontoestomatol*. 2004 Apr;20(2).
40. Torabinejad M, Walton RE. Endodoncia, principios y práctica. 4th ed. Barcelona: Elsevier; 2010.
41. LeGeros R. Chemical and crystallographic events in the caries process. *J Dent Res*. 1990 Feb;69(2):567-74.
42. Castellanos L, Martín J, Calvo, López FJ, Velasco E, Llamas JM et al. Preventive endodontics: pulp protection using stepwise caries removal procedure. *Av Odontoestomatol*. 2010 Dec;27(5).

43. Soares I, Goldberg F. Endodoncia técnica y fundamentos. 1st ed. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana; 2003.
44. Susin L, Liu Y, Yoon JC, Parente J, Loushine R, Ricucci D et al. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *Int Endod J*. 2010 Aug;43(12):1077–90.
45. Diaz P. Microbial diversity and interactions in subgingival biofilm communities. *Periodontal Disease*. 2012;15:17–40.
46. Neelakantan P, Romero M, Vera J, Daood U, Khan A, Yan A et al. Biofilms in Endodontics Current Status and Future Directions. *Int J Mol Sci*. 2017 Aug;18(8):1748.
47. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JC, Marchesan MA, Pécora JD. Mecanismo de acción del hipoclorito de sodio. *Braz. Mella. J*. 2002;13(2):113-117.
48. Haapasalo M. *Bacteroides* spp. in dental root canal infections. *Dent Traumatol*. 1989 Feb;5(1):1-10.
49. Dakin HD. On the use of certain antiseptic substances in the treatment of infected wounds. *Br Med J* 1925a;2:318-320.
50. Dakin HD. The antiseptic action of hypochlorites: the ancient history of the “new antiseptic”. *Br Med J* 1915b;2:809-810.
51. Pecora JD, Sousa-Neto MD, Estrela C. Soluções irrigadoras auxiliares do preparo do canal radicular. En: Estrela C, Figueiredo JA, editores. *Endodoncia - Principios biológicos y mecánicos*. São Paulo: Artes Médicas; 1999. p. 552–69.
52. Cárdenas Á., Sánchez S, Tinajero C, González V, Baires L. Hipoclorito de sodio en irrigación de conductos radiculares: Sondeo de opinión y concentración en productos comerciales. *Rev Odont Mex*. 2012 Dic;16(4):252-8.
53. Walker A. A definite and dependable therapy for pulpless teeth. *J Ame Dent Assoc* 1936;23:1418-25.
54. Lewis PR. Sodium hypochlorite in root canal therapy. *Journal of the Florida Dental Society* 1954; 24:10-11.
55. Soares IJ, Goldberg F, González M. *Endodoncia: Técnica y fundamentos*. 2nd ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2012.

56. Guida A. Mechanism of action of sodium hypochlorite and its effects on dentin. *Minerva Stomatol.* 2006;55(9):471-82.
57. Piskin B. Stability of various sodium hypochlorite solutions. *JOE.* 1995 Mayo;21(5):253-255.
58. Marín ML, Gómez B, Cano AD, Cruz S, Castañeda DA, Castillo EY. Sodium hypochlorite used as duct irrigation. Clinical case, and literature review. *Clinical case, and literature review. Av Odontoestomatol.* 2019 Apr;35(1).
59. Leonardi DP, Grande NM, Tomazinho FS, Marques-da-Silva B, Gonzaga CC, Baratto-Filho F, et al. Influence of activation mode and preheating on intracanal irrigant temperature. *Aust Endod J.* 2019 Dec;45(3):373-7.
60. Doğan H, Calt S. Effects of Chelating Agents and Sodium Hypochlorite on Mineral Content of Root Dentin. *J Endod.* 2001 Sep;27(9):578-80.
61. Oyarzun A, Cordero AM, Whittle M. Immunohistochemical Evaluation of the Effects of Sodium Hypochlorite on Dentin Collagen and Glycosaminoglycans. *J Endod.* 2002 Mar;28(3):152-6.
62. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T. Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg. Oral Med, Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2002 Dec;94(6):756-62.
63. Driscoll CO, Dowker SE, Anderson P, Wilson RM, Gulabivala, K. Effects of sodium hypochlorite solution on root dentine composition. *J Mater Sci Mater Med.* 2002 Feb;13(2):219-23.
64. Beltz RE, Torabinejad M, Pouresmail M. Quantitative Analysis of the Solubilizing Action of MTAD, Sodium Hypochlorite, and EDTA on Bovine Pulp and Dentin. *J Endod.* 2003 May;29(5):334-7.
65. Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gül K. Antibacterial Activity of 2% Chlorhexidine Gluconate and 5.25% Sodium Hypochlorite in Infected Root Canal: In Vivo Study. *J Endod.* 2004 Feb;30(2):84-7.
66. Ari H, Erdemir A. and 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.

67. Baratto-Filho F, de Carvalho Jr. JR, Fariniuk LF, Sousa-Neto MD, Pécora JD, Cruz-Filho AM. Morphometric Analysis of the Effectiveness of Different Concentrations of Sodium Hypochlorite Associated with Rotary Instrumentation for Root Canal Cleaning. *Braz Dent J.* 2004 Aug;15(1):36-40.
68. Ari H, Erdemir A. Effects of Endodontic Irrigation Solutions on Mineral Content of Root Canal Dentin Using ICP-AES Technique. *J Endod.* 2005 Mar;31(3):187-9.
69. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy. *J. Endod.* 2005 Sep;31(9):669-71.
70. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine-mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J.* 2007 Oct;40(10):786-93.
71. Christensen CE, McNeal SF, Eleazer P. Effect of Lowering the pH of Sodium Hypochlorite on Dissolving Tissue in Vitro. *J Endod.* 2008 Apr;34(4):449-52.
72. Moreira DM, Almeida JF, Ferraz CC, de Almeida Gomes BP, Line SR, Zaia AA. Structural Analysis of Bovine Root Dentin after Use of Different Endodontics Auxiliary Chemical Substances. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):1023-7.
73. Stojcic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue Dissolution by Sodium Hypochlorite: Effect of Concentration, Temperature, Agitation, and Surfactant. *J Endod.* 2010 Sep;36(9):1558-62.
74. Hu X, Peng Y, Sum CP, Ling J. Effects of Concentrations and Exposure Times of Sodium Hypochlorite on Dentin Deproteinization: Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy Study. *J Endod.* 2010 Dec;36(12):2008-11.
75. Zhang K, Tay FR, Kim YK, Mitchell JK, Kim JR, Carrilho M, et al. The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dent Mater.* 2010 Jan;26(6):514-23.
76. Jungbluth H, Marending M, De-Deus G, Sener B, Zehnder M. Stabilizing Sodium Hypochlorite at High pH: Effects on Soft Tissue and Dentin. *J Endod.* 2011 May;37(5):693-6.

77. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Cavenago B, Graeff MS, Gomes de Moraes I, Marciano M, et al. Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *Int Endod J*. 2012 Feb;45(2):162-8.
78. Jungbluth H, Peters C, Peters O, Sener B, Zehnder M. Physicochemical and Pulp Tissue Dissolution Properties of Some Household Bleach Brands Compared with a Dental Sodium Hypochlorite Solution. *J Endod*. 2012 Mar;38(3):372-5.
79. Clarkson RM, Kidd B, Evans GE, Moule AJ. The Effect of Surfactant on the Dissolution of Porcine Pulpal Tissue by Sodium Hypochlorite Solutions. *J Endod*. 2012 Sep;38(9):1257-60.
80. De-Deus G, de Berredo Pinho MA, Reis C, Fidel S, Souza E, Zehnder M. Sodium Hypochlorite with Reduced Surface Tension Does Not Improve in Situ Pulp Tissue Dissolution. *J Endod*. 2013 Aug;39(8):1039-43.
81. Slutzky-Goldberg I, Hanut A, Matalon S, Baev V, Slutzky H. The Effect of Dentin on the Pulp Tissue Dissolution Capacity of Sodium Hypochlorite and Calcium Hydroxide. *J Endod*. 2013 Aug;39(8):980-3.
82. Varise T, Estrela C, Guedes D, Sousa-Neto M, Pécora J. Detection of Organochlorine Compounds Formed During the Contact of Sodium Hypochlorite with Dentin and Dental Pulp. *Braz Dent J*. 2014 Mar;25(2):109-16.
83. Del Carpio A, Monteiro C, Hungaro MA., Bombarda F, Cavalini B, Hass M, et al. Application of laser scanning microscopy for the analysis of oral biofilm dissolution by different endodontic irrigants. *Dent Res J*. 2014 Jul;11(4):442-7.
84. Macedo RG, Herrero NP, Wesselink P, Versluis M, van der Sluis L. Influence of the Dentinal Wall on the pH of Sodium Hypochlorite During Root Canal Irrigation. *J Endod*. 2014 Jul;40(7):1005-8.
85. Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, de Andrade FB, Maliza AG, Cavenago BC, Marciano MA, et al. Antibacterial and Dissolution Ability of Sodium Hypochlorite in Different pHs on Multi-Species Biofilms. *Clin Oral Investig*. 2015 Feb;19(8):2067-73.
86. Pitome AW, Cruz ATG, Heck AR, Faria MIA, Aragao EM. Avaliação da capacidade de dissolução de tecido pulpar bovino pelo hipoclorito de sódio em diferentes concentrações. *RevOdontol UNESP*. 2015 Nov-Dec;44(6):351-354.

87. Dumitriu D, Dobre T. Effects of Temperature and Hypochlorite Concentration on the Rate of Collagen Dissolution. *J Endod.* 2015 Jun;41(6):903-6.
88. Del Carpio-Perochena A, Monteiro C, Hungaro M, Bombarda F, Zardin M, Marciano M. et al. Effect of Temperature, Concentration and Contact Time of Sodium Hypochlorite on the Treatment and Revitalization of Oral Biofilms. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2015 Sep;9(4):209-15.
89. Tanomaru-Filho M, Silveira BR, Martelo RB, Guerreiro-Tanomaru JM. Influence of Concentration and Agitation of Sodium Hypochlorite and Peracetic Acid Solutions on Tissue Dissolution. *J Contemp Dent Pract.* 2015 Nov;16(11):876-9.
90. Ghisi A, Kopper P, Baldasso F, Stürmer C, Rossi-Fedele G, Steier L, et al. Effect of Superoxidized Water and Sodium Hypochlorite, Associated or Not With EDTA, on Organic and Inorganic Components of Bovine Root Dentin. *J Endod.* 2015 Jun;41(6):925-30.
91. Kolosowski, K., Sodhi, R., Kishen, A. and Basrani, B. Qualitative Time-Of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry Analysis of Root Dentin Irrigated With Sodium Hypochlorite, EDTA, or Chlorhexidine. *J Endod.* 2015 Aug;41(10):1672-7.
92. Loiacono R, Rodríguez P, Sierra L, Pinasco L, Gualtieri A, Casadoumécq A. Sodium Hypochlorite and Hypochlorous acid: Ability to dissolve organic tissue (in-vitro study). *OACTIVA UC.* 2016 Aug;1(2):15-22.
93. Tartari T, Bachmann L, Maliza AG, Andrade FB, Duarte MA, Bramante CM. Tissue Dissolution and Modifications in Dentin Composition by Different Sodium Hypochlorite Concentrations. *J Appl Oral Sci.* 2016 Feb;24(3): 291-8.
94. Han X, Wang Z, Wang X, Zheng X, Ma J, Wu Z. Microbial Responses to Membrane Cleaning Using Sodium Hypochlorite in Membrane Bioreactors: Cell Integrity, Key Enzymes and Intracellular Reactive Oxygen Species. *Water Res.* 2016 Oct;88:293-300.
95. Ishihara M, Murakami K, Fukuda K, Nakamura S, Kuwabara M, Hattori H. Stability of Weakly Acidic Hypochlorous Acid Solution with Microbicidal Activity. *Biocontrol Sci.* 2017 Feb;22(4):223-7.
96. Ramírez-Bommer C, Gulabivala K, Ng YL, Young A. Estimated Depth of Apatite and Collagen Degradation in Human Dentine by Sequential Exposure to Sodium

- Hypochlorite and EDTA: A Quantitative FTIR Study. *Int Endod J.* 2018 Apr;51(4):469-78.
97. Saha S, Sharma V, Bharadwaj A, Shrivastava P, Saha M, Dubey S, et al. Effectiveness Of Various Endodontic Irrigants On The Micro-Hardness Of The Root Canal Dentin: An In Vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2017 Apr;11(4):1-4.
98. Gu LS, Huang XQ, Griffin B, Bergeron BR, Pashley DH, Niu LN, et al. Primum Non Nocere - The Effects of Sodium Hypochlorite on Dentin as Used in Endodontics. *ACTBIO.* 2017 Oct;61:144-56.
99. Zhai S, Zhang W, Li T, Zhang W, Lv L, Pan B. Sodium Hypochlorite Assisted Membrane Cleaning: Alterations in the Characteristics of Organic Foulants and Membrane Permeability. *Chemosphere.* 2018 Jul;211:139-48.
100. Ioannidis K, Niazi S, Deb S, Mannocci F, Smith D, Turner C. Quantification by SIFT-MS of Volatile Compounds Produced by the Action of Sodium Hypochlorite on a Model System of Infected Root Canal Content. *PLoS One.* 2018 Sep;13(9):1-14.
101. Petridis X, Busanello FH, So MV, Dijkstra RJ, Sharma PK, van der Sluis LW. Factors Affecting the Chemical Efficacy of 2% Sodium Hypochlorite Against Oral Steady-State Dual-Species Biofilms: Exposure Time and Volume Application. *Int Endod J.* 2019 Feb; 52(8):1182-95.
102. Yared, G., Al Asmar Ramli, G. Antibacterial Ability of Sodium Hypochlorite Heated in the Canals of Infected Teeth: An Ex Vivo Study. *Cureus.* 2020 Feb;12(2):1-8
103. DiCenso A, Bayley L, Haynes RB. Accessing pre-appraisal evidence: fine-tuning the 5S model into a 6S model. *Evid Based Nurs.* 2009 Oct;12(4):99-101.
104. Leonardo MR. Endodoncia. Tratamiento de conductos radiculares. Principios técnicos y biológicos. 1st ed. Brasil: Latinoamericana; 2005.
105. Henostroza G, Steenbecker O, Macchi R, Uribe-Echevarría J, Garone W, Edelberg M, et al. Adhesión en Odontología Restauradora. 1st ed, Curitiba: Editora Maio; 2003.

106. Anglas A, Pineda-Mejía M, Salcedo-Mondaca D. Capacidad de humectación de soluciones irrigantes del tratamiento de conductos radiculares. In vitro. Odontol. Sanmarquina. 2006 Aug;19(2):15-21.