

Properties of dental restorative biomaterials modified with essential oils: literature review

Propiedades de los biomateriales restauradores dentales modificados con aceites esenciales: revisión de la literatura

DIANA SAMANTHA RAVELO-CUCHANI¹, RUBÍ ESMERALDA SANDOVAL-GARCÍA², GABRIELA ARACELI CAMPOS-HERMOZA³,
MANUEL ANTONIO MATTOS-VELA⁴

¹ Estudiante de pregrado. Facultad de Odontología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 0000-0002-2509-0650

² Estudiante de pregrado. Facultad de Odontología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 0009-0009-9825-858X

³ Estudiante de pregrado. Facultad de Odontología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 0009-0003-7460-9652

⁴ Doctor en Estomatología. Profesor asociado, Facultad de Odontología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 0000-0002-5701-1961

ABSTRACT

This review article thoroughly examines the key properties of dental restorative biomaterials modified with essential oils. By analyzing *in vitro*, *in vivo*, and clinical studies, the effectiveness of these biomaterials in crucial areas such as antimicrobial properties, compression resistance, bond strength, and cytotoxicity is confirmed. The results suggest transformative potential in restorative dentistry, highlighting improvements in infection prevention, improved mechanical properties, and biocompatible safety profiles. The discussion of future perspectives highlights an evolution towards personalization and the integration of advanced technologies, which could redefine clinical standards and significantly improve dental care.

Keywords: oils volatile, dental materials, products with antimicrobial action, dental bonding

Resumen

Este artículo de revisión examina a fondo las propiedades clave de biomateriales restauradores dentales modificados con aceites esenciales. Al analizar estudios *in vitro*, *in vivo* y clínicos, se confirma la eficacia de estos biomateriales en áreas cruciales como propiedades antimicrobianas, resistencia a la compresión, resistencia a la adhesión y citotoxicidad. Los resultados sugieren una posibilidad de influir positivamente en la odontología restauradora, destacando mejoras en la prevención de infecciones, propiedades mecánicas mejoradas y perfiles de seguridad biocompatibles. La discusión de perspectivas futuras subraya una evolución hacia la personalización y la integración de tecnologías avanzadas, lo que podría conducir a una revisión progresiva de los estándares clínicos y mejorar significativamente la atención dental.

Palabras clave: aceites volátiles, materiales dentales, productos con acción antimicrobiana, recubrimiento dental adhesivo

Enviado: marzo 13/2024 - Aceptado: septiembre 12/2025



Cómo citar este artículo: Ravelo-Cuchani DS, Sandoval-García RE, Campos-Hermoza GA, Mattos-Vela MA. Propiedades de los biomateriales restauradores dentales modificados con aceites esenciales: revisión de la literatura. Rev Fac Odontol Univ Antioq. 2025; 37(2): e356596. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v37n2e356596>



INTRODUCCIÓN

En la odontología moderna, la búsqueda de materiales restauradores que ofrezcan tanto durabilidad como propiedades antimicrobianas sigue siendo una prioridad constante. La prevención de infecciones y el aumento de la longevidad de las restauraciones dentales son desafíos esenciales en la práctica clínica.¹

Los aceites esenciales (AE) son compuestos orgánicos con distintos constituyentes extraídos de vegetales por procesos específicos. Se pueden aislar mediante fermentación, trituración, extracción o hidrólisis; sin embargo, dependiendo del método elegido, la composición química de los AE obtenidos puede ser diferente. Estos se han considerado prometedoras moléculas por sus propiedades medicinales como analgesia, sedante, antiinflamatorio, espasmolítico y actividades anestésicas locales.² En este contexto, la modificación de biomateriales restauradores con aceites esenciales ha surgido como un enfoque innovador y prometedor.

La alteración de la composición de los materiales de restauración dental con agentes antimicrobianos puede resultar en un agente potencial contra bacterias cariogénicas como *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus acidophilus*, y contra hongos como la *Candida albicans*. Estos compuestos naturales, conocidos por sus propiedades antimicrobianas y terapéuticas, plantean una solución potencial para mejorar la efectividad de los materiales utilizados en odontología restauradora. Se evidenciará que la actividad antimicrobiana dependerá del tipo de aceite esencial usado, a qué microorganismo se enfrenta y en qué material restaurador se implementa, teniendo también en consideración sus desventajas, por ejemplo, la citotoxicidad.³

Debido a los efectos secundarios y el aumento de la resistencia bacteriana, surge la necesidad de explorar nuevos agentes terapéuticos y realizar más investigaciones clínicas sobre medicinas tradicionales obtenidas de diversas fuentes naturales, como el AE en los materiales restauradores dentales por sus propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes; además, está demostrado que los AE no inducen a la producción de mecanismos de resistencia bacteriana.⁴

Esta revisión tuvo como objetivo explorar las propiedades de los biomateriales restauradores dentales modificados con AE. Se pretende analizar las investigaciones más recientes en este campo, proporcionando una visión clara de las posibles aplicaciones de estos biomateriales mejorados y su impacto en la práctica odontológica actual. Por otro lado, se discutirán las perspectivas y desafíos futuros en el uso de aceites esenciales para optimizar los resultados de las restauraciones dentales, ofreciendo a los profesionales y a los pacientes un enfoque más eficaz y seguro en la preservación de la salud bucal.

MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos PubMed, Scopus y LILACS. Después del análisis, se rastrearon las referencias de las publicaciones elegidas. Se seleccionaron 59 artículos contenidos dentro del periodo de enero del 2018 hasta agosto del 2023; sin embargo, también se incluyeron artículos relevantes de fechas anteriores (Figura 1). Por otro lado, la estrategia de búsqueda utilizada fue inicialmente en inglés: ((properties) OR (characteristics) AND ((dental materials) OR (products with antimicrobial action)) AND (essential oil) AND (dental adhesion)). Esta estrategia se aplicó en PubMed y Scopus, y posteriormente se adaptó para LILACS utilizando los términos equivalentes en español, ajustando la sintaxis según los descriptores disponibles en dicha base de datos.

La selección de artículos se realizó en dos fases: primero, se evaluaron los títulos y resúmenes, posteriormente se revisó el texto completo. Dos revisores independientes realizaron la búsqueda y selección de los estudios de manera paralela. En caso de discrepancias, se alcanzó consenso mediante discusión, cuando no fue posible, se consultó a un tercer revisor.

La revisión incluyó artículos originales y revisiones sistemáticas en inglés y español. Se excluyeron cartas al editor, perspectivas y editoriales.

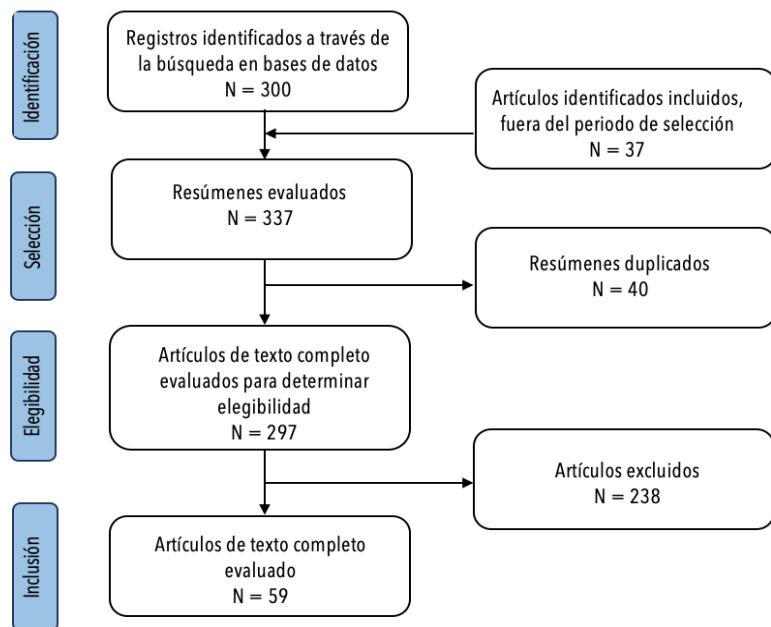


Figura 1. Diagrama de flujo de las fases de selección de los artículos

Fuente: por los autores

RESULTADOS

Actividad antimicrobiana de aceites esenciales en odontología

En la odontología los AE se utilizan como componentes de enjuagues dentales, pastas dentales y soluciones antisépticas.⁵ Los sistemas adhesivos incorporados con AE podrían disminuir la caries secundaria, debido a su actividad antimicrobiana en una biopelícula dental de microorganismos in vitro.⁶ Patógenos orales más relevantes como *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus acidophilus* son los agentes causales principales en el desarrollo de caries.^{5,6}

Streptococcus mutans desarrolla un rol importante en el proceso de desmineralización inicial de los tejidos duros de los dientes, en contraste, *Lactobacillus acidophilus* es esencial en el desarrollo de la caries dental. Varios intentos se han llevado a cabo para potenciar las propiedades antibacterianas de los materiales dentales incluyendo en su composición compuestos liberadores de plata,^{7,8} fluoruro de calcio⁹ o fosfato de calcio amorfo.¹⁰ En algunas investigaciones se ha indicado que la incorporación de AE en la matriz de los compuestos dentales no afecta de manera significativa sus características mecánicas, pero podría mejorar su capacidad antibacteriana, reduciendo de esta forma el riesgo de caries secundaria.¹¹

Por otro lado, *Candida albicans*, habita en la cavidad bucal como componente estructural de la biopelícula de la placa dental, pero se le ha reconocido últimamente como parte de la microbiota cariogénica.^{12,13}

Los AE empleados en biomateriales dentales modificados pueden incluir variedades como el aceite de árbol de té, conocido por sus propiedades antibacterianas y antifúngicas. Este aceite,

derivado de la planta *Melaleuca alternifolia*, ha demostrado eficacia contra bacterias orales como *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus acidophilus*, contribuyendo así a la prevención de la caries dental y la reducción del riesgo de infecciones asociadas.¹⁴ Asimismo, el aceite de clavo, extraído de los capullos de clavos de olor, se caracteriza por sus propiedades analgésicas y antimicrobianas. Este aceite esencial ha mostrado efectividad contra microorganismos presentes en la cavidad oral, como *Streptococcus mutans*, convirtiéndolo en un candidato prometedor para su inclusión en biomateriales dentales con propiedades antimicrobianas.¹⁵ Además de estos ejemplos, existen otros aceites esenciales con propiedades antimicrobianas, como el eucalipto, el tomillo o el aceite de orégano, que también han demostrado ser efectivos contra microorganismos presentes en la cavidad oral.¹⁶

Modificación de biomateriales dentales con aceites esenciales: métodos y aplicaciones

La valoración de las capacidades antimicrobianas de los biomateriales alterados es crucial en la exploración y progreso de materiales empleados en ámbitos médicos, odontológicos, farmacéuticos y otros sectores donde se busca evitar infecciones. Adaptar los biomateriales con atributos antimicrobianos puede ser fundamental para evitar infecciones vinculadas al uso de dispositivos médicos, implantes, prótesis, vendajes y otros artículos vinculados a la salud.^{17,18}

Existe una serie de pasos y consideraciones que son comunes en la evaluación de las propiedades antimicrobianas de biomateriales modificados, tal y como se detallan a continuación:

Paso 1. Selección de biomaterial y modificación: el proceso inicial implica la elección del biomaterial fundamental a emplear, ya sean polímeros, metales, cerámicas, u otros. Posteriormente, se avanza en la alteración de este biomaterial con el fin de integrar atributos antimicrobianos. Esta adaptación se puede llevar a cabo utilizando distintas técnicas, como revestimientos, la introducción de agentes antimicrobianos, ajustes en la superficie, entre otras estrategias.¹⁹

Paso 2. Elección de agentes antimicrobianos: es fundamental escoger los apropiados, como sustancias químicas, nanopartículas de plata, cobre, zinc, polímeros con capacidades antimicrobianas, entre otros. Es crucial evaluar la efectividad antimicrobiana, la toxicidad y la estabilidad de estos agentes.¹⁹

Paso 3. Pruebas de laboratorio:

- **Ensayos de difusión:** se utilizan para evaluar la capacidad de los biomateriales para liberar sustancias antimicrobianas de manera controlada y eficaz²⁰
- **Pruebas de inhibición de crecimiento bacteriano:** se exponen los biomateriales a cultivos bacterianos para evaluar su capacidad para inhibir el crecimiento de bacterias²⁰
- **Pruebas de citotoxicidad:** se evalúa si los biomateriales modificados son tóxicos para las células humanas.²⁰

Paso 4. Pruebas de liberación controlada: se analiza la liberación sostenida de agentes antimicrobianos en el tiempo.

- **Estudios *in vitro*:** los experimentos se realizan en condiciones de laboratorio utilizando modelos *in vitro* que simulan situaciones clínicas, como la exposición a bacterias patógenas
- **Estudios *in vivo*:** en algunos casos, se realizan estudios en animales para evaluar la eficacia y

- seguridad de los biomateriales modificados en un entorno más cercano a la realidad clínica
- **Evaluación de la durabilidad:** se analiza la estabilidad de las propiedades antimicrobianas de los biomateriales modificados a lo largo del tiempo y en condiciones de uso real
 - **Cumplimiento normativo:** es fundamental asegurarse de que los biomateriales modificados cumplan con las regulaciones y normativas aplicables en el país donde se utilizarán
 - **Análisis de costos:** se debe evaluar la viabilidad económica de la producción y aplicación de biomateriales modificados con propiedades antimicrobianas.²⁰

La preparación de inóculos de AE en materiales de restauración odontológica se utiliza con el fin de aprovechar las propiedades antimicrobianas de ciertos AE para prevenir infecciones y promover la salud bucal (Tabla 1).

Tabla 1. Preparación de inóculos de acuerdo con el tipo de aceite esencial

Aceite esencial	Autor (Año)	Preparación de inóculos
Aceite de canela	Yaseen et al. (2020) ²¹	Las cepas de <i>Streptococcus mutans</i> , procedentes de cultivos madre, se cultivaron en agar sangre y se incubaron a 37 °C durante 24 a 48 horas, para obtener la suspensión bacteriana que se utilizó en la prueba de concentración inhibitoria mínima
	Lapinska et al. (2020) ¹⁵	Las muestras se inocularon en medio de agar Mueller-Hinton II para <i>Streptococcus mutans</i> , en medio RPMI 1640 + NaHCO ₃ + L-Glutamina + rojo de fenol para <i>Candida albicans</i> , y en medio compuesto por 90 % de agar IST y 10 % de agar MRS, ajustado a pH 6,7 para <i>Lactobacillus acidophilus</i>
	Almeida et al. (2016) ²²	Se inocularon mediante microdilución en caldo, mientras que la actividad anti biopelículas se midió contra biopelículas maduras cultivadas durante 72 horas en superficies acrílicas
Aceite de tomillo	Sherief et. al. (2020) ²³	Las cepas de <i>Streptococcus mutans</i> , procedentes de cultivos madre, se cultivaron en agar sangre y se incubaron a 37 °C durante 24 a 48 horas, para obtener la suspensión bacteriana que se utilizó en la prueba de concentración inhibitoria mínima
	Zhou et al. (2024) ²⁴	Se emplearon <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> y <i>Candida albicans</i> , cultivados en agar cerebro-corazón e inoculados en caldo hasta alcanzar fase logarítmica. Los cultivos se centrifugaron, resuspendieron en medio fresco y ajustaron a una densidad óptica de 0,5 ($\approx 10^6$ UFC/mL), para luego ensayar discos de resina modificada con aceite de tomillo-TiO ₂ mediante difusión en agar.
	Sienkiewicz et al. (2012) ²⁵	Se identificaron bacterias según métodos microbiológicos estándar: cultivo en Agar Columbia (bioMerieux), Agar Columbia (bioMerieux) con 5 % sangre, Agar Manitol Sal (bioMerieux), Enterococcosel Agar (Emapol), Agar Mac Conkey (bioMérieux)
Aceite de uncaria tomentosa	Lukomska-Szymanska et al. (2016) ⁹	Las muestras bien mezcladas se incubaron durante 1 horas a 35 °C, mezclando cada 15 minutos. A continuación, ambos controles (sólo negativos con salina; positivo con isopropanol), y las muestras de prueba se centrifugaron (10.000 g, 2 minutos) y se lavaron con PBS sin iones Ca y Mg. Todas las muestras se analizaron con el método de citometría de flujo LIVE/DEAD
Aceite de timol	Nunes et al. (2020) ¹⁶	Las muestras se sometieron a ultrasonido durante 2 min para eliminar el agregado de biopelícula en la superficie, que luego se analizó mediante fluorescencia para la cuantificación de células viables
Aceite de limoncillo	Gao et al. (2020) ²⁶	Se utilizaron medios de YPD y BHI más glucosa al 1 % para el crecimiento de <i>Candida albicans</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> , respectivamente. Asimismo, se utilizó medio RPMI1640 tamponado a un pH de 7 con MOPS 0,165 M para cultivar biopelículas de especies duales entre las especies de <i>Candida albicans</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>

Fuente: por los autores, a partir de los estudios incluidos en la revisión sistemática

En síntesis, la evaluación de las características antimicrobianas de los biomateriales alterados es un proceso que abarca diversas disciplinas, con pruebas de laboratorio, análisis tanto *in vitro* como *in vivo*, y la consideración de aspectos regulatorios y de seguridad. El propósito principal radica en la creación de biomateriales capaces de prevenir infecciones y potenciar la salud de los pacientes en contextos médicos y campos afines.¹⁸⁻²⁰

Asimismo, la selección del método de evaluación varía según el tipo de biomaterial y su uso previsto. Por ejemplo, las pruebas de difusión son idóneas para valorar la actividad antimicrobiana en biomateriales de superficie plana, mientras que las pruebas de reducción de carga bacteriana son más apropiadas para evaluar la actividad antimicrobiana en biomateriales con superficies irregulares.¹⁹

Propiedades antimicrobianas de los biomateriales modificados

Los biomateriales modificados con propiedades antimicrobianas presentan una serie de beneficios en comparación con aquellos que no han sido modificados. Por ejemplo, contribuyen a prevenir infecciones en aplicaciones médicas, como implantes quirúrgicos y dispositivos médicos implantables. Del mismo modo, contribuyen a disminuir el riesgo de contaminación cruzada en entornos clínicos, como equipos médicos y superficies de contacto.²⁷

Algunos ejemplos de biomateriales modificados con propiedades antimicrobianas incluyen:

- **Biomateriales cargados con antibióticos:** los cuales liberan antibióticos de forma controlada, lo que ayuda a la eliminación o inhibición del crecimiento bacteriano
- **Biomateriales con actividad antimicrobiana intrínseca:** estos contienen sustancias naturales con propiedades antimicrobianas, como plata, zinc u óxido de grafeno
- **Biomateriales con propiedades de autocuración:** estos pueden repararse a sí mismos después de sufrir daños, lo que puede ayudar a prevenir la infección.²⁸

En general, los biomateriales modificados con propiedades antimicrobianas se evalúan en función de los siguientes criterios:

- **Eficacia antimicrobiana:** es la capacidad para eliminar o inhibir el crecimiento de bacterias
- **Selectividad antimicrobiana:** es la capacidad para eliminar o inhibir el crecimiento de bacterias específicas, sin dañar las células del huésped
- **Durabilidad:** es la capacidad para mantener sus propiedades antimicrobianas a lo largo del tiempo.²⁸

Los biomateriales adaptados con capacidades antimicrobianas tienen el potencial de disminuir el riesgo de infección en distintas aplicaciones médicas, como implantes, dispositivos médicos y suturas.²⁹ La investigación en este ámbito está en constante desarrollo, y en la actualidad se requieren más iniciativas para crear nuevos biomateriales con propiedades antimicrobianas más eficaces y perdurables.²⁹

Resistencia a la compresión

La compresión se refiere a la fuerza que actúa sobre un material tendiendo a reducir su volumen. En el caso de biomateriales dentales, la resistencia a la compresión implica la capacidad del material para resistir estas fuerzas de compresión sin experimentar deformación permanente o

fracaso estructural. La evaluación de esta propiedad es esencial para garantizar que los biomateriales puedan soportar las fuerzas de oclusión y las tensiones repetitivas en el entorno oral.³⁰

Cuando se aborda la mejora de la resistencia a la compresión mediante la modificación con AE, se busca no solo fortalecer la estructura del biomaterial, sino también mejorar su capacidad para resistir cargas repetitivas a lo largo del tiempo. Los AE seleccionados aportan propiedades específicas que pueden influir positivamente en la resistencia mecánica y pueden interactuar a nivel molecular para fortalecer la cohesión interna del biomaterial.³¹

Este enfoque no solo tiene implicaciones prácticas para la durabilidad de las restauraciones dentales, incluso podría conducir a avances significativos en la prevención de fracturas y fallos prematuros. Al profundizar en la resistencia a la compresión, se busca mejorar la capacidad de los biomateriales para resistir fuerzas externas y comprender los mecanismos fundamentales que subyacen a estas mejoras, abriendo nuevas perspectivas en la evolución de biomateriales más eficaces y duraderos en odontología.³¹

Efecto de la adhesión en biomateriales restauradores dentales modificados con aceites esenciales

Actualmente, se busca el uso de AE en biomateriales dentales con el objetivo de mejorar propiedades como la antimicrobiana, antiinflamatoria y la liberación controlada de sustancias beneficiosas para la salud bucal; sin embargo, dichos cambios pueden plantear desafíos en términos de adhesión, ya que la presencia de ciertos compuestos puede afectar las propiedades de unión de los materiales.³²

En el 2018 se realizó una investigación sobre las propiedades antimicrobianas de combinado con cemento de ionómero de vidrio frente a cepas bacterianas, que se llevó a cabo con grupos experimentales que contenían AE de jengibre en concentraciones de 3 %, 5 % y 8 %. El grupo control no llevaba AE añadidos dando excelentes resultados, como mayor adhesión del aceite de jengibre al 5 % en los tipos de ionómero de vidrio convencionales y presentaba efectividad de actividad antimicrobiana e inhibitoria tanto contra *Streptococcus mutans* como contra *Staphylococcus aureus*.³³

Los biomateriales restauradores tienen una gama amplia de clasificación, sin embargo, es necesario hacer hincapié en que la enfermedad bucodental que sufre la mayoría de la población es la caries, por ello, es importante priorizar la modificación de resinas con AE, buscando un panorama más amplio de beneficios. En la literatura se evidencia la carencia de proyectos referidos a la adhesión de resinas modificados con AE²⁹, no obstante, los estudios relacionados con otros materiales, como los cementos, ionómeros, selladores de conductos, colutorios y pastas, han logrado una correcta adhesión, llegando a mejorar sus propiedades como su resistencia a la abrasión y a la caries, lo que contribuiría a la longevidad de las restauraciones dentales.³³

Evaluación de citotoxicidad

La odontología moderna se ha beneficiado enormemente del avance de biomateriales que tienen por objetivo restaurar las estructuras dentales de manera segura y efectiva. Sin embargo, la evaluación de la citotoxicidad de estos biomateriales es relevante para garantizar su compatibilidad con los tejidos biológicos contiguos.³⁴

El término citotoxicidad alude a la capacidad de un material para causar daño a las células; esta propiedad se evalúa mediante estudios *in vitro* donde se mide la respuesta celular ante la presencia del biomaterial. Por lo general, se busca que los biomateriales no generen respuestas inflamatorias excesivas, ni afecten negativamente la vitalidad y función celular.³⁵ Además, factores como la concentración de los AE, la duración de la exposición y la interacción con otros componentes del biomaterial, son consideraciones importantes en la evaluación de la citotoxicidad.^{34,35} Esta propiedad, dentro de los materiales restauradores, depende no solo de la composición química, sino también de factores como la técnica de colocación, el tiempo de exposición y la presencia de agentes coadyuvantes.³⁶

Estudios clínicos y perspectivas futuras en la aplicación de biomateriales dentales modificados con aceites esenciales

Los avances en biomateriales dentales modificados con AE han despertado un interés significativo en la comunidad científica y odontológica. Los estudios clínicos han proporcionado valiosa evidencia sobre la eficacia de estos biomateriales en diversos contextos dentales.³⁷

En estudios centrados en la regeneración tisular, se ha observado que los biomateriales dentales, impregnados con AE, no solo cumplen con las funciones restauradoras convencionales, también demuestran propiedades que favorecen la regeneración de tejidos dentales. Esto sugiere un prometedor potencial para mejorar la capacidad de respuesta biológica en procedimientos restauradores.³⁸

Asimismo, la evaluación de los efectos antimicrobianos en entornos clínicos ha revelado una reducción significativa en la carga bacteriana al utilizar estos biomateriales. Esto no solo tiene implicaciones en la prevención de infecciones postoperatorias, sino que además podría ser fundamental para abordar problemas recurrentes como la caries.³⁹

En un estudio clínico enfocado en la resistencia a la compresión, los biomateriales dentales modificados con AE mostraron una mejora significativa en comparación con las alternativas convencionales. Esto sugiere un fortalecimiento estructural que podría traducirse en una mayor durabilidad de las restauraciones dentales, un aspecto esencial para la longevidad de los tratamientos odontológicos.⁴⁰

La resistencia a la adhesión también ha sido objeto de investigación detallada. Estudios han demostrado que la modificación con AE no solo no compromete la capacidad de adhesión de estos biomateriales a las estructuras dentales, sino que, en algunos casos, puede mejorar la unión, que es fundamental para garantizar restauraciones sólidas y duraderas.⁴¹

La citotoxicidad, un aspecto crítico en la seguridad de los biomateriales dentales, ha sido rigurosamente evaluada en entornos clínicos. Los resultados apuntan hacia perfiles citotóxicos más favorables, respaldando la viabilidad y seguridad de estos biomateriales en contacto directo con tejidos orales.⁴²

La investigación continua en biomateriales dentales podría llevar a la incorporación de tecnologías avanzadas, como la liberación controlada de compuestos bioactivos a lo largo del tiempo. Esto podría revolucionar la prevención y tratamiento de patologías orales, transformando la manera en que abordamos problemas comunes como la sensibilidad dental.⁴³

Por otro lado, la nanotecnología aplicada a estos biomateriales abre nuevas posibilidades para mejorar propiedades a nivel molecular, permitiendo avances personalizados según las necesidades de cada paciente. La combinación de nanomateriales y AE podría ofrecer una precisión sin precedentes en el diseño de restauraciones dentales.⁴⁴

En términos de práctica clínica, la adopción generalizada de estos biomateriales modificados podría remodelar los estándares de atención dental, incorporando la funcionalidad mecánica y la consideración de aspectos biológicos y de bienestar del paciente.⁴⁵

DISCUSIÓN

La integración de AE en biomateriales restauradores dentales ha sido objeto de un análisis detallado en este artículo, centrándose en propiedades clave como antimicrobianas, resistencia a la compresión, resistencia a la adhesión y citotoxicidad. La discusión de estos aspectos se enfoca en la perspectiva prometedora de estos biomateriales en la odontología moderna.⁴⁶

La revisión de estudios clínicos destaca de manera consistente la eficacia antimicrobiana de los biomateriales impregnados con AE. La capacidad para reducir significativamente la carga bacteriana en entornos orales es un hallazgo fundamental, sugiriendo la posibilidad de minimizar las infecciones postoperatorias y abordar desafíos persistentes como la caries dental.⁴⁷ La discusión de estos resultados apunta hacia un cambio de paradigma en la prevención y tratamiento de enfermedades orales, donde la acción antimicrobiana de estos biomateriales se presenta como un aliado crucial en la preservación de la salud dental.⁴⁸

La mejora en la resistencia a la compresión observada en los biomateriales modificados con AE, señala un avance significativo en la ingeniería de materiales dentales. Esta propiedad, crucial para la durabilidad de las restauraciones, se ve potenciada, sugiriendo la posibilidad de aumentar la longevidad de los tratamientos restauradores.⁴⁹ Los resultados discutidos aquí respaldan la aplicación práctica de estos biomateriales en situaciones donde la resistencia estructural es vital, como en restauraciones de carga oclusal significativa.⁵⁰

La discusión sobre la resistencia a la adhesión revela que la modificación con AE no solo mantiene, sino que, en algunos casos, mejora la capacidad de estos biomateriales para unirse a las estructuras dentales. Esta observación tiene implicaciones directas en la eficacia de las restauraciones, proporcionando un respaldo adicional a la viabilidad clínica de los biomateriales.⁵¹⁻⁵² Estos resultados desafían percepciones previas y abren la puerta a nuevas posibilidades en términos de protocolos de adhesión, sugiriendo que la integración de AE podría mejorar la calidad y durabilidad de las uniones del biomaterial con el diente.⁵³

La evaluación de la citotoxicidad de estos biomateriales es un componente crucial de la seguridad en odontología restauradora. La discusión de los resultados destaca perfiles citotóxicos más favorables en comparación con alternativas convencionales, reforzando la idea de que la modificación con AE puede contribuir a una mayor biocompatibilidad.⁵⁴⁻⁵⁵ Este aspecto ofrece tranquilidad en términos de seguridad clínica y respalda la continuidad de la investigación en la aplicación de AE en biomateriales dentales.⁵⁶⁻⁵⁷

La reflexión sobre las perspectivas futuras destaca la dirección emocionante hacia la personalización, nanotecnología y aplicación práctica de estos biomateriales. Se resalta la capacidad de generar mejoras significativas en la atención dental, sugiriendo que estamos en el

umbral de una nueva era en la que la restauración dental no solo es mecánica, sino también biológicamente optimizada.⁵⁸ Estas perspectivas abren la posibilidad de una gradual actualización de los enfoques clínicos y la adopción generalizada de estos biomateriales modificados, lo que podría mejorar la funcionalidad de las restauraciones dentales y la calidad de vida de los pacientes.⁵⁹

CONCLUSIONES

Los estudios clínicos revisados respaldan de manera consistente la eficacia de los biomateriales modificados con AE. La capacidad de estos materiales para exhibir propiedades antimicrobianas, resistencia a la compresión mejorada, resistencia a la adhesión optimizada y perfiles citotóxicos más favorables confirma su viabilidad clínica.

La acción antimicrobiana de estos biomateriales sugiere un cambio de paradigma en la prevención y tratamiento de enfermedades orales. La reducción significativa de la carga bacteriana y su potencial aplicación en la prevención de infecciones postoperatorias representan avances fundamentales en la atención dental.

La mejora en las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y la adhesión, destaca la capacidad de estos biomateriales para fortalecer las restauraciones dentales. Este aumento en la resistencia estructural no solo mejora la durabilidad de las restauraciones, sino que también amplía las posibilidades de aplicación clínica en diversas situaciones.

La evaluación de la citotoxicidad confirma perfiles más favorables en comparación con alternativas convencionales, respaldando la seguridad de estos biomateriales en contacto con tejidos orales. Esto es esencial para la aceptación clínica y el bienestar a largo plazo de los pacientes.

Este artículo consolida el estado actual del conocimiento sobre biomateriales dentales modificados con AE, además sirve como un llamado a la acción para futuras investigaciones y adopción clínica. La aplicación de estos biomateriales representa una mejora en las prácticas actuales, lo cual podría ser el catalizador de un cambio significativo en la forma en que abordamos la restauración dental y la salud bucal en general.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

Manuel Antonio Mattos-Vela
mmattosv@unmsm.edu.pe
+51 990770787
Calle Germán Amézaga 375
Facultad de Odontología
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima, Perú

REFERENCIAS

1. Kobierska-Brzoza JM, Dobrzański M, Fita KA, Bader-Orłowska D, Szymonowicz M. Currently recommended restorative materials in modern conservative dentistry. *Polim Med.* 2015; 45(1): 37-43.
2. Ramsey JT, Shropshire BC, Ngagy TR, Chambers KD, Li Y, Korach KS. Essential oils and health. *Yale J Biol Med.* 2020; 93(2): 291-305.
3. Bassolé IHN, Juliani HR. Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Mol Basel Switz.* 2012; 17(4): 3989-4006. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules17043989>
4. Ambrosio CMS, de Alencar SM, de Sousa RLM, Moreno AM, Da Gloria EM. Antimicrobial activity of several essential oils on pathogenic and beneficial bacteria. *Ind Crops Prod.* 2017; 97(1): 128-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.045>
5. Dagli N, Dagli R, Mahmoud RS, Baroudi K. Essential oils, their therapeutic properties, and implication in dentistry: a review. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015; 5(5): 335-40. DOI: <https://doi.org/10.4103/2231-0762.165933>
6. Haas AN, Wagner TP, Muniz FW MG, Fiorini T, Cavagni J, Celeste RK. Essential oils-containing mouthwashes for gingivitis and plaque: meta-analyses and meta-regression. *J Dent.* 2016; 55(1): 7-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.09.001>
7. Barszczewska-Rybärek I, Chladek G. Studies on the Curing Efficiency and Mechanical Properties of Bis-GMA and TEGDMA Nanocomposites Containing Silver Nanoparticles. *Int J Mol Sci.* 2018; 19(12): 3937. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19123937>
8. Stencel R, Kasperski J, Pakieła W, Mertas A, Bobela E, Barszczewska-Rybärek I, et al. Properties of experimental dental composites containing antibacterial silver-releasing filler. *Materials (Basel).* 2018; 11(6): 1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11061031>
9. Lukomska-Szymanska M, Zarzycka B, Grzegorczyk J, Sokolowski K, Poltorak K, Sokolowski J, et al. Antibacterial properties of calcium fluoride-based composite materials: in vitro study. *Biomed Res Int.* 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/1048320>
10. Drzewiecka K, Kleczewska J, Krasowski M, Sokolowski J, Lapinska B. Mechanical properties of composite material modified with amorphous calcium phosphate. *J Achiev Mater Manuf Eng.* 2016; 74(1): 22-8. DOI: <https://doi.org/10.5604/17348412.1225754>
11. Szram A, Sokolowski J, Nowak J, Domarecka M, Lukomska-Szymanska M. Mechanical properties of composite material modified with essential oil. *Inż Madre.* 2017; 1(2): 49-53. DOI: <https://doi.org/10.15199/28.2017.2.8>
12. Moalic E, Gestalin A, Quinio D, Gest PE, Zerilli A, Le Flohic AM. The extent of oral fungal flora in 353 students and possible relationships with dental caries. *Caries Res.* 2001; 35(2): 149-55. DOI: <https://doi.org/10.1159/000047447>
13. Nikawa H, Yamashiro H, Makihira S, Nishimura M, Egusa H, Furukawa M, et al. In vitro cariogenic potential of *Candida albicans*. *Mycoses.* 2003; 46(11-12): 471-8. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0933-7407.2003.00888.x>
14. Xiao S, Cui P, Shi W, Zhang Y. Identification of essential oils with activity against stationary phase *Staphylococcus aureus*. *BMC Complement Med Ther.* 2020; 20(1): 99. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02898-4>
15. Lapinska B, Szram A, Zarzycka B, Grzegorczyk J, Hardan L, Sokolowski J, et al. An in vitro study on the antimicrobial properties of essential oil modified resin composite against oral pathogens. *Materials (Basel).* 2020; 13(19): 4383. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13194383>
16. Nunes JMFF, Farias IAP, Vieira CA, Ribeiro TM, Sampaio FC, Menezes VA. Antimicrobial activity and toxicity of glass ionomer cement containing an essential oil. *Braz J Med Biol Res.* 2020; 53(12): e9468. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431X20209468>
17. Imazato S. Bio-active restorative materials with antibacterial effects: new dimension of innovation in restorative dentistry. *Dent Mater J.* 2009; 28(1): 11-9. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.28.11>
18. Fani M, Kohanteb J. In vitro antimicrobial activity of *thymus vulgaris* essential oil against major oral pathogens. *J Evid Based Complementary Altern Med.* 2017; 22(4): 660-6. DOI: <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>
19. Camarda L, Dayton T, Di Stefano V, Pitonzo R, Schillaci D. Chemical composition and antimicrobial activity of some oleogum resin essential oils from *Boswellia* spp. (Burseraceae). *Ann Chim.* 2007; 97(9): 837-44. DOI: <https://doi.org/10.1002/adic.200790068>
20. Horiochi K, Shiota S, Hatano T, Yoshida T, Kuroda T, Tsuchiya T. Antimicrobial activity of oleanolic acid from *Salvia officinalis* and related compounds on vancomycin-resistant enterococci (VRE). *Biol Pharm Bull.* 2007; 30(6): 1147-9. DOI: <https://doi.org/10.1248/bpb.30.1147>
21. Yaseen SN, Taqa AA, Al-Khatib AR. The effect of incorporation Nano Cinnamon powder on the shear bond of the orthodontic composite (an in vitro study). *J Oral Biol Craniofac Res.* 2020; 10(2): 128-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.03.008>

22. Almeida Lde F, Paula JF, Almeida RV, Williams DW, Hebling J, Cavalcanti YW. Efficacy of citronella and cinnamon essential oils on *Candida albicans* biofilms. *Acta Odontol Scand.* 2016; 74(5): 393-8. DOI: <https://doi.org/10.3109/00016357.2016.1166261>
23. Sherief DI, Fathi MS, Abou El Fadl RK. Antimicrobial properties, compressive strength and fluoride release capacity of essential oil-modified glass ionomer cements-an in vitro study. *Clin Oral Investig.* 2021;25(4):1879-1888. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03493-0>
24. Zhou S, Deng Ch, Liu H, Sun Y, Zhang Y. Investigating the antibacterial activity of thyme oil/TiO₂ modified resins against oral pathogenic bacteria. *Alex Eng J.* 2024; 89: 195-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.01.041>
25. Sienkiewicz M, Łysakowska M, Denys P, Kowalczyk E. The antimicrobial activity of thyme essential oil against multidrug resistant clinical bacterial strains. *Microb Drug Resist.* 2012; 18(2): 137-48. DOI: <https://doi.org/10.1089/mdr.2011.0080>
26. Gao S, Liu G, Li J, Chen J, Li L, Li Z, et al. Antimicrobial activity of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and its active component citral against dual-species biofilms of *Staphylococcus aureus* and *candida* species. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020; 10: 603858. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.603858>
27. Bellis CA, Nobbs AH, O'Sullivan DJ, Holder JA, Barbour ME. Glass ionomer cements functionalised with a concentrated paste of chlorhexidine hexametaphosphate provides dose-dependent chlorhexidine release over at least 14 months. *J Dent.* 2016; 45: 53-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.12.009>
28. Botelho MA, Nogueira NAP, Bastos GM, Fonseca SGC, Lemos TLG, Matos FJA, et al. Antimicrobial activity of the essential oil from *Lippia sidoides*, carvacrol and thymol against oral pathogens. *Braz J Med Biol Res.* 2007; 40(3): 349-56. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2007000300010>
29. Silva S, Alves N, Silva P, Vieira T, Maciel P, Castellano LR, et al. Antibacterial activity of *rosmarinus officinalis*, *zingiber officinale*, *citrus aurantium bergamia*, and *copaifera officinalis* alone and in combination with calcium hydroxide against *enterococcus faecalis*. *BioMed Res Int.* 2019; 2(7): 81-9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/8129439>
30. Cosan G, Ozverel CS, Yigit Hanoglu D, Baser KHC, Tunca YM. Evaluation of antibacterial and antifungal effects of calcium hydroxide mixed with two different essential oils. *Molecules.* 2022; 27(9): 2635. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27092635>
31. Kiliç T. Analysis of essential oil composition of *Thymbra spicata* var. *spicata*: antifungal, antibacterial and antimycobacterial activities. *Z Naturforschung C J Biosci.* 2006; 61(5): 324-8. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc-2006-5-604>
32. Guandalini Cunha B, Duque C, Sampaio Caiaffa K, Massunari L, Araguê Catanoze I, Dos Santos DM, et al. Cytotoxicity and antimicrobial effects of citronella oil (*Cymbopogon nardus*) and commercial mouthwashes on *S. aureus* and *C. albicans* biofilms in prosthetic materials. *Arch Oral Bio.* 2020; 109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2019.104577>
33. Sheorain J, Mehra M, Thakur R, Grewal S, Kumari S. In vitro anti-inflammatory and antioxidant potential of thymol loaded bipolymeric (tragacanth gum/chitosan) nanocarrier. *Int J Biol Macromol.* 2019; 125: 1069-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.095>
34. Yousefi M, Hoseini SM, Vatnikov YA, Nikishov AA, Kulikov EV. Thymol as a new anesthetic in common carp (*Cyprinus carpio*): efficacy and physiological effects in comparison with eugenol. *Aquaculture.* 2018; 495: 376-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.022>
35. Raut JS, Karuppayil SM. A status review on the medicinal properties of essential oils. *Ind Crops Prod.* 2014; 62: 250-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>
36. Ochoa-Velasco CE, Navarro-Cruz AR, Vera-López O, Palou E, Avila-Sosa R. Growth modeling to control (in vitro) *Fusarium verticillioides* and *Rhizopus stolonifer* with thymol and carvacrol. *Rev Argent Microbiol.* 2018; 50(1): 70-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2016.11.010>
37. Andrews JM. Determination of minimum inhibitory concentrations. *J Antimicrob Chemother.* 2001; 48(48 Suppl): 5-16. DOI: https://doi.org/10.1093/jac/48.suppl_1.5
38. Elshikh M, Ahmed S, Funston S, Dunlop P, McGaw M, Marchant R, et al. Resazurin-based 96-well plate microdilution method for the determination of minimum inhibitory concentration of biosurfactants. *Biotechnol Lett.* 2016; 38(6): 1015-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-016-2079-2>
39. Botelho MA, Nogueira NAP, Bastos GM, Fonseca SGC, Lemos TLG, Matos FJA, et al. Antimicrobial activity of the essential oil from *Lippia sidoides* carvacrol and thymol againts oral pathogens. *Braz J Med Biol Res.* 2007; 40(3): 349-56. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2007000300010>
40. Khan ST, Khan M, Ahmad J, Wahab R, Abd-Elkader OH, Musarrat J, et al. Thymol and carvacrol induce autolysis, stress, growth inhibition and reduce the biofilm formation by *Streptococcus mutans*. *AMB Express.* 2017; 7(1): 49. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0344-y>

41. Yesilyurt C, Er K, Tasdemir T, Buruk K, Celik D. Antibacterial activity and physical properties of glass-ionomer cements containing antibiotics. *Oper Dent.* 2009; 34(1): 18-23. DOI: <https://doi.org/10.2341/08-30>
42. Hahnel S, Ionescu AC, Cazzaniga G, Ottobelli M, Brambilla E. Biofilm formation and release of fluoride from dental restorative materials in relation to their surface properties. *J Dent.* 2017; 60: 14-24. DOI: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jdent.2017.02.005>
43. Baudin M, Cinquin B, Sclavi B, Pareau D, Lopes F. Understanding the fundamental mechanisms of biofilms development and dispersal: BIAM (Biofilm Intensity and Architecture Measurement), a new tool for studying biofilms as a function of their architecture and fluorescence intensity. *J Microbiol Methods.* 2017; 140: 47-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.06.021>
44. Moon S, Kim H, Cha J. Synergistic effect between clove oil and its major compounds and antibiotics against oral bacteria. *Arch Oral Biol.* 2011; 56(9): 907-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2011.02.005>
45. Cid-Chevecich C, Müller-Sepúlveda A, Jara JA, López-Muñoz R, Santander R, Budini M, et al. *Origanum vulgare* L. essential oil inhibits virulence patterns of *Candida* spp. and potentiates the effects of fluconazole and nystatin in vitro. *BMC Complement Med Ther.* 2022; 22: 39. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-022-03518-z>
46. Marinković J, Ćulafić DM, Nikolić B, Đukanović S, Marković T, Tasić G, et al. Antimicrobial potential of irrigants based on essential oils of *Cymbopogon martinii* and *Thymus zygis* towards in vitro multispecies biofilm cultured in ex vivo root canals. *Arch Oral.* 2020; 117: 104-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.104842>
47. Miladi H, Zmantar T, Kouidhi B, Al Qurashi YMA, Bakhrouf A, Chaabouni Y, et al. Synergistic effect of eugenol, carvacrol, thymol, p-cymene and γ-terpinene on inhibition of drug resistance and biofilm formation of oral bacteria. *Microb Pathog.* 2017; 112: 156-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.09.057>
48. Rota MC, Herrera A, Martínez RM, Sotomayor JA, Jordán MJ. Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis* and *Thymus hyemalis* essential oils. *Food Control.* 2008; 19(7): 681-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.007>
49. Marinković J, Bošković M, Tasić G, Vasilijević B, Marković D, Marković T, et al. *Cymbopogon martinii* essential oil nanoemulsions: physico-chemical characterization, antibacterial and antibiofilm potential against *Enterococcus faecalis*. *Ind Crops Prod.* 2022; 18(Part B): 115-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115478>
50. Balhaddad AA, AlSheikh RN. Effect of eucalyptus oil on *Streptococcus mutans* and *Enterococcus faecalis* growth. *BDJ Open.* 2023; 9(1): 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41405-023-00154-8>
51. Merghni A, Ben Nejma M, Dallel I, Tobji S, Ben Amor A, Janel S, et al. High potential of adhesion to biotic and abiotic surfaces by opportunistic *Staphylococcus aureus* strains isolated from orthodontic appliances. *Microb Pathog.* 2016; 91(8): 61-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2015.11.009>
52. Myszka K, Schmidt MT, Majcher M, Juzwa W, Olkowicz M, Czacyk K. Inhibition of quorum sensing-related biofilm of *Pseudomonas fluorescens* KM121 by *Thymus vulgaris* essential oil and its major bioactive compounds. *Int Biodeterior Biodegrad.* 2016; 114(8): 252-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.07.006>
53. Manrique Y, Gibis M, Schmidt H, Weiss J. Influence of application sequence and timing of eugenol and lauric arginate (LAE) on survival of spoilage organisms. *Food Microbiol.* 2017; 64 :210-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.002>
54. Miladi H, Zmantar T, Kouidhi B, Chaabouni Y, Mahdouani K, Bakhrouf A, et al. Use of carvacrol, thymol, and eugenol for biofilm eradication and resistance modifying susceptibility of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* strains to nalidixic acid. *Microb Pathog.* 2017; 104(9): 56-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.01.012>
55. Kwieciński J, Eick S, Wójcik K. Effects of tea tree (*Melaleuca alternifolia*) oil on *Staphylococcus aureus* in biofilms and stationary growth phase. *Int J Antimicrob Agents.* 2009; 33(4): 343-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2008.08.028>
56. Mah TFC, O'Toole GA. Mechanisms of biofilm resistance to antimicrobial agents. *Trends Microbiol.* 2001; 9(1): 34-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-842X\(00\)01913-2](https://doi.org/10.1016/S0966-842X(00)01913-2)
57. Polaquini S, Svidzinski T, Kemmelmeier C, Gasparetto A. Effect of aqueous extract from Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) on hydrophobicity, biofilm formation and adhesion in composite resin by *Candida albicans*. *Arch Oral Biol.* 2006; 51(6): 482-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2005.11.007>
58. Sandasi M, Leonard CM, Viljoen AM. The effect of five common essential oil components on *Listeria monocytogenes* biofilms. *Food Control.* 2008; 19(11): 1070-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.11.006>
59. Benkhaira N, Zouine N, Fadil M, Ibnsouda Koraichi S, El Hachlafi N, Jeddi M, et al. Application of mixture design for the optimum antibacterial action of chemically-analyzed essential oils and investigation of the antiadhesion ability of their optimal mixtures on 3D printing material. *Bioprinting.* 2023; 34: 299-302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00299>