

CIENCIAMATRIA

Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología

Año XI. Vol. XI. N°1. Edición Especial. 2025

Hecho el depósito de ley: pp201602FA4721

ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X

Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía. (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

[DOI 10.35381/cm.v11i1.1573](https://doi.org/10.35381/cm.v11i1.1573)

Eficacia antimicrobiana del quitosano frente a microorganismos asociados con dispositivos ortodónticos: Estudio in vitro

Antimicrobial efficacy of chitosan against microorganisms associated with orthodontic devices: in vitro study

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón

patricio.cabrera.18@est.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-8803-7948>

Jessica María Sarmiento-Ordoñez

jsarmiento@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-4159-9286>

Edison Mauricio Pacheco-Quito

epachecoq@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-6168-3218>

Recibido: 20 de diciembre 2024

Revisado: 10 de enero 2025

Aprobado: 15 de marzo 2025

Publicado: 01 de abril 2025

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edisson Mauricio Pacheco-Quito

RESUMEN

Los dispositivos ortodónticos fijos aumentan la acumulación de placa dental y favorecen el desarrollo de microorganismos patógenos como *Streptococcus mutans* y *Candida albicans*, causantes de lesiones de mancha blanca (LMB). El quitosano, un agente antimicrobiano, ha demostrado efectividad antimicrobiana contra estos microorganismos, llegando a prevenir las LMB asociadas a los tratamientos de ortodoncia. Este estudio evaluó la eficacia antimicrobiana del quitosano frente a microorganismos presentes en el entorno oral durante tratamientos ortodónticos. Se evaluó mediante ensayos microbiológicos dos cepas de *S. mutans* ATCC 25175 y *C. albicans* ATCC 90028 en diversas concentraciones de quitosano entre (0,25%-15%). Se prepararon discos con estas soluciones y se inocularon en placas de cultivo incubándolas a 37°C durante 48 horas. Los halos de inhibición se midieron con un calibrador digital. Las muestras de quitosano de alto peso molecular (10% a 15%) fueron efectivas contra *S. mutans* ATCC 25175, pero no contra *C. albicans* ATCC 90028.

Descriptores: Odontología; química; microorganismo; microbiología, (Tesoro UNESCO).

ABSTRACT

Fixed orthodontic devices increase the accumulation of dental plaque and favor the development of pathogenic microorganisms such as *Streptococcus mutans* and *Candida albicans*, which cause white spot lesions (WSL). Chitosan, an antimicrobial agent, has demonstrated antimicrobial effectiveness against these microorganisms, preventing WSL associated with orthodontic treatments. This study evaluated the antimicrobial efficacy of chitosan against microorganisms present in the oral environment during orthodontic treatments. Two strains of *S. mutans* ATCC 25175 and *C. albicans* ATCC 90028 were evaluated by microbiological assays in various concentrations of chitosan between (0.25%-15%). Discs were prepared with these solutions and inoculated into culture plates by incubating them at 37°C for 48 hours. Inhibition zones were measured with a digital caliper. High molecular weight chitosan samples (10% to 15%) were effective against *S. mutans* ATCC 25175, but not against *C. albicans* ATCC 90028.

Descriptors: Dentistry; chemistry; microorganism; microbiology, (UNESCO Thesaurus).

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de ortodoncia fija es altamente efectivo para corregir maloclusiones y mejorar la estética dental, sin embargo, su implementación conlleva riesgos asociados a la salud bucal, como la desmineralización del esmalte, caries dental y decoloraciones que se manifiestan como lesiones de mancha blanca (LMB). Estas lesiones constituyen un desafío clínico importante debido a su impacto estético y su asociación con la insatisfacción del paciente (Yang et al., 2023). La acumulación de biopelículas bacterianas, la interacción entre bacterias cariogénicas y hongos, y la limitada eficacia de las estrategias preventivas actuales acentúan la necesidad de desarrollar nuevos enfoques que minimicen estos efectos adversos. Entre estas estrategias, el diseño de materiales ortodónticos con propiedades antimicrobianas y la optimización de protocolos de higiene bucal podrían ofrecer soluciones efectivas para mitigar el impacto de las LMB en la salud y satisfacción del paciente (Kachoei et al., 2021).

El uso prolongado de dispositivos de ortodoncia fija, como brackets y bandas metálicas, genera cambios significativos en el microbioma oral, promoviendo la acumulación de biopelículas bacterianas y aumentando la presencia de bacterias cariogénicas como *S. mutans*, *Lactobacilli* y levaduras como la *C. albicans* (Klaus et al., 2016; Nafarrate-Valdez et al., 2022). Estas especies, favorecidas por las superficies irregulares de los aparatos ortodónticos y por una higiene bucal inadecuada, contribuyen a la desmineralización del esmalte en áreas cercanas a los brackets, lo que facilita la aparición de LMB; incluso en condiciones de higiene aceptables, algunos pacientes desarrollan estas lesiones (Klaus et al., 2016).

Las LMB se caracterizan por la pérdida de minerales en la superficie del esmalte, lo que provoca una apariencia opaca y blanquecina. Estas lesiones tienen un riesgo elevado de progresar hacia caries dentales más severas si no se tratan adecuadamente (Yang et al., 2023). Las LMB pueden desarrollarse en tan solo cuatro semanas tras la colocación de aparatos de ortodoncia, especialmente en pacientes con mala higiene bucal y dietas ricas

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

en carbohidratos fermentables (Kachoei et al., 2021). La acumulación de placa bacteriana alrededor de los brackets y el uso de composites de resina, que carecen de propiedades antimicrobianas, también favorecen este proceso (Zakrzewski et al., 2021).

Asimismo, de las bacterias acidógenas, la *C. albicans* juega un papel importante en el desarrollo de LMB. Este hongo ha sido identificado con mayor frecuencia en placas dentales asociadas con estas lesiones en comparación con áreas saludables. La interacción entre *C. albicans* y bacterias como *S. mutans* fomenta la formación de biopelículas altamente cariogénicas, lo que refuerza su papel en la patogénesis de las LMB (Yang et al., 2023). Estas interacciones interreino también afectan la composición de la comunidad microbiana en la placa supragingival, aumentando el riesgo de caries activas (Valm, 2019).

Aunque los materiales que contienen flúor, como barnices y adhesivos fluorados, son comúnmente utilizados para prevenir la aparición de LMB, su eficacia es limitada. Estos productos dependen de la cooperación regular del paciente y suelen mostrar una liberación inicial rápida de flúor, seguida de una disminución significativa en su eficacia a lo largo del tiempo (Kachoei et al., 2021). Adicionalmente, los mecanismos naturales de remineralización, como la acción de la saliva, tienen un efecto limitado en la restauración de las propiedades estructurales y estéticas del esmalte afectado (Yang et al., 2023).

Un agente antimicrobiano que se ha estudiado en la actualidad es el quitosano, el cual es un polímero bioactivo que se obtiene de un polisacárido denominado quitina; estudios in vitro han demostrado su efectividad frente a *S. mutans*, *C. albicans* y otros microorganismos causantes de caries dental, por lo que podría ser útil en la prevención de lesiones de mancha blanca asociada al tratamiento de ortodoncia (Kawakita et al., 2019).

El quitosano ha demostrado una notable actividad antimicrobiana inherente, lo que lo convierte en una alternativa viable frente a los antimicrobianos convencionales, particularmente en un contexto de resistencia creciente a los fármacos. Entre los

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

mecanismos propuestos para su actividad antimicrobiana se incluyen la formación de películas densas sobre la superficie celular microbiana, la disrupción de la membrana celular, la interacción con el ADN microbiano y la quelación de nutrientes esenciales (Wang et al., 2023).

Con este contexto surge la pregunta ¿Cuál es la eficacia antimicrobiana del quitosano frente a microorganismos patógenos asociados con dispositivos ortodónticos? Por lo que el objetivo del estudio fue: Evaluar la eficacia antimicrobiana del quitosano frente a microorganismos patógenos presentes en el entorno oral en tratamientos ortodónticos.

MÉTODO

El estudio fue experimental *in vitro* y se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad Católica de Cuenca. Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron dos tipos de quitosano, el primero fue un quitosano de alta pureza y de alto peso molecular (SQ1), el segundo fue un quitosano que es utilizado como suplemento alimenticio también de alto peso molecular (SQ2).

Se procedió a la reactivación de la cepa *Streptococcus mutans* ATCC 25175 con el objetivo de evaluar la inhibición del crecimiento bacteriano. Como control positivo para la actividad antibacteriana se utilizó Eritromicina con un halo de inhibición de 30 mm. Adicionalmente, se reactivó la cepa *Candida albicans* ATCC 90028 para determinar la actividad antifúngica del quitosano, empleando Fluconazol como control positivo con un halo de inhibición de 8 mm. Para ambas cepas, se utilizó agua destilada como control negativo con 0 mm de halo de inhibición.

Para disolver los dos tipos de quitosano se usó ácido acético al 2%, obteniendo concentraciones de 0,25; 0,5; 1; 3; 5; 10 y 15%.

Se utilizó la cepa ATCC de *S. mutans* para evaluar la inhibición del crecimiento bacteriano de quitosano. Inicialmente, se seleccionaron colonias de la cepa y se preparó una suspensión en solución salina, ajustada a una turbidez equivalente a 0,5 en la escala de

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

McFarland. Con un hisopo estéril, se inoculó la suspensión de *S. mutans* en placas de agar Muller Hinton siguiendo la técnica de Kirby-Bauer. Posteriormente, se prepararon discos con 20 microlitros de cada una de las soluciones correspondientes a los dos tipos de quitosano, desarrollando cada disco por triplicado. Las placas se incubaron a 37°C durante 48 horas en una estufa marca Memmert®. Tras la incubación, los halos de inhibición se midieron con un calibrador digital marca Truper®. El ensayo microbiológico de *C. albicans*, se realizó de acuerdo con el protocolo de las CLSI M44-A2 para levaduras

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el software SPSS (SPSS Inc., IBM Corporation, NY, EE. UU.). Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 0,05 para comparar las medias de los dos grupos y determinar si existe una diferencia significativa en la capacidad antimicrobiana de SQ1 y SQ2, medida por el diámetro del halo de inhibición del crecimiento bacteriano.

En lo referente a las consideraciones bioéticas, el tipo de estudio no requiere aprobación por parte de un comité de bioética.

RESULTADOS

Las diferentes concentraciones de SQ1 y SQ2 no tuvieron una actividad antifúngica frente a la *C. albicans*. Las concentraciones menores al 10% de ambos tipos de quitosano no tuvieron actividad antimicrobiana frente al *S. mutans*; sin embargo, se pudo evidenciar que existe inhibición en el cultivo de *S. mutans* en las concentraciones al 10 y 15% de quitosano. (Tabla 1).

Al comparar las dos muestras, se observó que la que contenía quitosano de tipo alimenticio mostró una mayor actividad antimicrobiana. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

Tabla 1.

Tipo y concentración de Quitosano y el tamaño del halo de inhibición frente a *Streptococcus mutans*.

	Recuento	Con inhibición	Sin inhibición	Total
Quitosano	0,25%SQ1	0	1	1
	0,25%SQ2	0	1	1
	0,5%SQ1	0	1	1
	0,5%SQ2	0	1	1
	01%SQ1	0	1	1
	01%SQ2	0	1	1
	03%SQ1	0	1	1
	03%SQ2	0	1	1
	05%SQ1	0	1	1
	05%SQ2	0	1	1
	10%SQ1	1	0	1
	10%SQ2	1	0	1
	15%SQ1	1	0	1
	15%SQ2	1	0	1
Total	4	10	14	

Elaboración: Los autores.

Se puede apreciar una tendencia, que a mayor concentración de quitosano el halo de inhibición es mayor, SQ1 al 10 % tuvo un halo de inhibición del 0,5mm en las 3 muestras; SQ1 al 15% tuvo un halo de inhibición de 1,5 mm en una muestra y 2mm en las otras 2 muestras. SQ2 al 10 % tuvo un halo de inhibición de 1,5mm en las 3 muestras y SQ2 al 15% tuvo un halo de inhibición de 2 mm en 2 muestras y 3 mm en la restante (Figura 1),

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

por la naturaleza química del quitosano no se pudo evaluar en concentraciones mayores al 15% debido a que el quitosano no se disolvía completamente en el ácido acético.

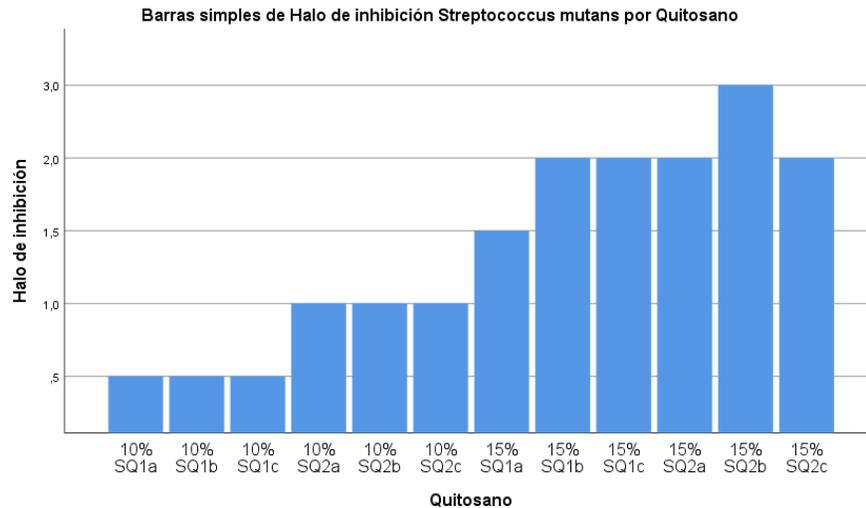


Figura 1. Barras simples de halo de inhibición *streptococcus mutans* por quitosano.
Elaboración: Los autores.

DISCUSIÓN

El quitosano interactúa con nutrientes fundamentales para que los microorganismos crezcan produciendo eficacia antimicrobiana. La eficacia antimicrobiana del quitosano contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas no se ha establecido claramente. El quitosano sin modificaciones actúa generalmente con mayor eficacia contra cepas Gram-negativas, esto se lo atribuye a la composición de la pared bacteriana, teniendo en cuenta que la pared celular de estas bacterias es más delgada y, por ende, más susceptible que la de las Gram-positivas (Yilmaz et al., 2022). El quitosano puede presentar distintos tamaños de partículas y pesos moleculares, lo que podría influir directamente en su actividad antimicrobiana (Kawakita et al., 2019). En el presente estudio, se utilizó quitosano de alto peso molecular, observándose halos de inhibición frente a *S. mutans*.

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

Haniastuti et al. (2023) empleó nanoquitosano con tamaños entre 10 y 1000 nm disuelto en ácido acético y tripolifosfato, lo cual podría incrementar tanto la solubilidad como la capacidad de penetración de la molécula en el biofilm. Mencionado que se inhibió la formación de biopelículas de *S. mutans*; sin embargo, no resulta posible comparar directamente con nuestro estudio, ya que evaluaron el efecto inhibitorio mediante microscopía láser de barrido confocal.

Por su parte, Narmada et al. (2019) reportó efectos inhibitorios de un adhesivo modificado con quitosano frente a *S. mutans*, detectados mediante microscopía electrónica. En nuestro estudio, el mayor halo de inhibición se obtuvo con la solución de quitosano SQ2 al 15 %, con un diámetro de 3 mm.

Khorasgani et al. (n.d.) evaluó la acción del quitosano y nanoquitosano frente a bacterias cariogénicas individuales (*S. mutans*, *S. salivarius*, *S. sanguinis* y *S. sobrinus*) en biopelículas. Los resultados indicaron que ambos compuestos exhiben propiedades bacteriostáticas o bactericidas, además de efectos antiadhesivos sobre dichas bacterias. Asimismo, demostraron que el quitosano y nanoquitosano reducen significativamente la formación de biopelículas o placa *in vitro*. Consistentemente con nuestros hallazgos, observaron que al aumentar la concentración de quitosano y nanoquitosano, se incrementa la actividad antiadhesiva contra las bacterias evaluadas.

No se encontró un efecto inhibitorio apreciable del quitosano frente a *C. albicans*. Esto podría atribuirse a que el quitosano utilizado en nuestro estudio es de alto peso molecular. En contraste, Peña evaluó quitosano de bajo peso molecular y encontró distintos mecanismos de acción. No obstante, sugiere emplear altas concentraciones de quitosano para lograr una actividad fungicida efectiva (Peña et al., 2013).

Por otro lado, estudios previos han demostrado que el quitosano, cuando se utiliza en terapias combinadas, actúa de manera sinérgica con otros fármacos, obteniendo resultados superiores en comparación con el uso individual de los fármacos (García et al., 2023; Khan et al., 2020; Lara et al., 2018; Lo et al., 2020; Nemati Shizari et al., 2021).

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

Thienngern no observó diferencias significativas al comparar una pasta a base de quitosano para uso intraconducto con hidróxido de calcio en términos de actividad antifúngica contra *C. albicans* (Thienngern et al., 2022).

CONCLUSIONES

Las soluciones de quitosano de alto peso molecular, en concentraciones del 10 % al 15 %, mostraron una destacada efectividad antimicrobiana al inhibir la formación de biopelículas de *S. mutans*. En contraste, las soluciones del mismo tipo de quitosano, con concentraciones entre el 0,25 % y el 15 %, no presentaron actividad inhibidora frente a *C. albicans*.

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio evidencian el alto potencial del quitosano en la investigación odontológica, dado que sus propiedades bioactivas permiten prever el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos destinados a optimizar la prevención y el tratamiento de enfermedades orales.

El avance en la odontología podría beneficiarse significativamente de la optimización de biopolímeros basados en quitosano, lo que facilitaría la implementación de enfoques terapéuticos más eficaces, biocompatibles.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

FINANCIAMIENTO

Investigación autofinanciada.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Católica de Cuenca y a todas las personas que colaboraron en esta investigación

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edisson Mauricio Pacheco-Quito

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Zabermawi, N. M., Arif, M., Batiha, G. E., Khafaga, A. F., Abd El-Hakim, Y. M., & Al-Sagheer, A. A. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 2726-2744. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.153>
- García, L. G. S., Rocha, M. G. da, Freire, R. S., Nunes, P. I. G., Nunes, J. V. S., Fernandes, M. R., Pereira-Neto, W. A., Sidrim, J. J. C., Santos, F. A., Rocha, M. F. G., Rodrigues, L. K. A., Vieira, R. S., & Brilhante, R. S. N. (2023). Chitosan microparticles loaded with essential oils inhibit duo-biofilms of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*. *Journal of Applied Oral Science*, 31. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2023-0146>
- Haniastuti, T., Puspasari, T. A., Hakim, E. R., & Tandellilin, R. T. C. (2023). Potential effect of giant freshwater prawn shell nano chitosan in inhibiting the development of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis* biofilm in vitro. *International Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1155/2023/8890750>
- Kachoei, M., Divband, B., Rahbar, M., Esmaeilzadeh, M., Ghanizadeh, M., & Alam, M. (2021). A novel developed bioactive composite resin containing silver/zinc oxide (Ag/ZnO) nanoparticles as an antimicrobial material against *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus*, and *Candida albicans*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2021/4743411>
- Kawakita, E. R. H., Ré, A. C. S., Peixoto, M. P. G., Ferreira, M. P., Ricomini-Filho, A. P., Freitas, O., & Aires, C. P. (2019). Effect of chitosan dispersion and microparticles on older *Streptococcus mutans* biofilms. *Molecules*, 24(9). <https://doi.org/10.3390/molecules24091808>
- Khan, S. H., Younus, H., Allemailem, K. S., Almatroudi, A., Alrumaihi, F., Alruwetei, A. M., Alsahli, M. A., Khan, A., & Khan, M. A. (2020). Potential of methylglyoxal-conjugated chitosan nanoparticles in treatment of fluconazole-resistant *Candida albicans* infection in a murine model. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 3681-3693. <https://doi.org/10.2147/IJN.S249625>
- Khorasgani, M. R., Aliasghari, A., Vaezifar, S., Rahimi, F., Younesi, H., & Khoroushi, M. (n.d.). Evaluation of antibacterial efficiency of chitosan and chitosan nanoparticles on cariogenic streptococci: An in vitro study. *Iranian Journal of Microbiology*. <http://ijm.tums.ac.ir>

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edisson Mauricio Pacheco-Quito

- Klaus, K., Eichenauer, J., Sprenger, R., & Ruf, S. (2016). Oral microbiota carriage in patients with multibracket appliance in relation to the quality of oral hygiene. *Head and Face Medicine*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13005-016-0125-x>
- Lara, H. H., Guisbiers, G., Mendoza, J., Mimun, L. C., Vincent, B. A., Lopez-Ribot, J. L., & Nash, K. L. (2018). Synergistic antifungal effect of chitosan-stabilized selenium nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation in liquids against *Candida albicans* biofilms. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 2697–2708. <https://doi.org/10.2147/IJN.S151285>
- Lo, W. H., Deng, F. S., Chang, C. J., & Lin, C. H. (2020). Synergistic antifungal activity of chitosan with fluconazole against *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, and fluconazole-resistant strains. *Molecules*, 25(21). <https://doi.org/10.3390/molecules25215114>
- Nafarrate-Valdez, R. A., Martínez-Martínez, R. E., Zaragoza-Contreras, E. A., Áyala-Herrera, J. L., Domínguez-Pérez, R. A., Reyes-López, S. Y., Donohue-Cornejo, A., Cuevas-González, J. C., Loyola-Rodríguez, J. P., y Espinosa-Cristóbal, L. F. (2022). Anti-adherence and antimicrobial activities of silver nanoparticles against serotypes C and K of *Streptococcus mutans* on orthodontic appliances. *Medicina (Lithuania)*, 58(7). <https://doi.org/10.3390/medicina58070877>
- Narmada, I., Cynthia, A., & Triwardhani, A. (2019). A comparison of antibacterial inhibitory effect on *Streptococcus mutans* and tensile strength between chitosan-based bonding adhesives and commercial products. *Indian Journal of Dental Research*, 30(4). https://doi.org/10.4103/ijdr.IJDR_236_18
- Nemati Shizari, L., Mohammadpour Dounighi, N., Bayat, M., & Mosavari, N. (2021). A new amphotericin B-loaded trimethyl chitosan nanoparticles as a drug delivery system and antifungal activity on *Candida albicans* biofilm. *Archives of Razi Institute*, 76(3), 571-586. <https://doi.org/10.22092/ARI.2020.342702.1477>
- Peña, A., Sánchez, N. S., & Calahorra, M. (2013). Effects of chitosan on *Candida albicans*: Conditions for its antifungal activity. *BioMed Research International*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/527549>
- Salmerón-Valdés, E. N., Lara-Carrillo, E., Medina-Solís, C. E., Robles-Bermeo, N. L., Scougall-Vilchis, R. J., Casanova-Rosado, J. F., Pontigo-Loyola, A. P., y Fernández Barrera, M. Á. (2016). Tooth demineralization and associated factors in patients on fixed orthodontic treatment. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep36383>

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

- Thienngern, P., Panichuttra, A., Ratisoontorn, C., Aumnate, C., & Matangkasombut, O. (2022). Efficacy of chitosan paste as intracanal medication against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* biofilm compared with calcium hydroxide in an in vitro root canal infection model. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02385-x>
- Valm, A. M. (2019). The structure of dental plaque microbial communities in the transition from health to dental caries and periodontal disease. *Journal of Molecular Biology*, 431(16), 2957-2969. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.05.016>
- Wang, W., Meng, Q., Li, Q., Liu, J., Zhou, M., Jin, Z., & Zhao, K. (2020). Chitosan derivatives and their application in biomedicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/ijms21020487>
- Wang, X., Song, R., Johnson, M., Sigen, A., Shen, P., Zhang, N., Lara-Sáez, I., Xu, Q., & Wang, W. (2023). Chitosan-based hydrogels for infected wound treatment. *Macromolecular Bioscience*, 23(9). <https://doi.org/10.1002/mabi.202300094>
- Yang, H., Ma, Y., Xie, X., Wang, H., Li, X., Fang, D., & Bai, Y. (2023). *Candida albicans* enriched in orthodontic derived white spot lesions and shaped focal supragingival bacteriome. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1084850>
- Yilmaz, M. A., Yildiz, P. K., Gokkaya, B., Bilsel, S. O., & Kargul, B. (2022). The effect of novel toothpaste in children with white spot lesions. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 72(11). <https://doi.org/10.47391/JPMA.2409>
- Zakrzewski, W., Dobrzynski, M., Dobrzynski, W., Zawadzka-Knefel, A., Janecki, M., Kurek, K., Lubojanski, A., Szymonowicz, M., Rybak, Z., & Wiglusz, R. J. (2021). Nanomaterials application in orthodontics. *Nanomaterials*, 11(2), 1-19. <https://doi.org/10.3390/nano11020337>

CIENCIAMATRIA

Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología

Año XI. Vol. XI. N°1. Edición Especial. 2025

Hecho el depósito de ley: pp201602FA4721

ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X

Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía. (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

Patricio Eugenio Cabrera-Padrón; Jessica María Sarmiento-Ordoñez; Edison Mauricio Pacheco-Quito

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)