

Efecto de compuestos fluorados con nanopartículas de plata en la aplicación odontológica

INVESTIGACIÓN

Effect of fluorinated compounds with silver nanoparticles in dental application

Efeito de compostos fluorados com nanopartículas de prata em aplicações dentárias

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto remineralizante, bactericida y pigmentación producida por una disolución de fluoruro de sodio con nanopartículas de plata comparado con el tratamiento de Fluoruro Diamino de la marca SDI. Se usaron 40 dientes extraídos, 20 como grupo control y 20 para probar las soluciones fluoradas, los cuales se desmineralizaron con ácido fosfórico, después se barnizó la superficie con fluoruro de la marca SDI y fluoruro experimental en dos caras del mismo diente y se almacenaron en saliva artificial a 37°C. Se midió la mineralización con DIAGNOdent2095(Kavo) sin tratamiento y después de la aplicación del mismo a 1 y 24 horas, 7 y 14 días. Se comparó la pigmentación por medio de fotografías tomadas con microscopio estereoscópico. Se sembraron en Agar Salivarius y Agar Tomate, muestras obtenidas de lesiones cariosas de una población infantil y en los mismos se realizó una prueba de inhibición de crecimiento bacteriano. Los resultados. muestran remineralización total de las muestras en ambos tratamientos sin diferencia estadística, con similitud de inhibición bacteriana, ligeramente mayor en Fluoruro Diamino en Agar Salivarius. Las zonas tratadas con el fluoruro experimental no muestran pigmentación clínica, 75% de las tratadas con Fluoruro Diamino muestran pigmentaciones oscuras evidentes. En conclusión, el desempeño remineralizante y bactericida del fluoruro experimental es competente sin el efecto pigmentante, lo que lo convierte en una alternativa viable.

 Marín Miranda Miriam¹
 Juárez López María Lilia¹
 Palma Pardínez Rosita¹

CORRESPONDENCIA
Miriam Marín Miranda
miriam.marin@zaragoza.unam.mx

Recibido 23/feb/2025
Aceptado 26/may/2025



Palabras clave

Compuestos de plata, nanopartículas, remineralización dental, caries dental.

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México, Ciudad de México.

Abstract

Objective: To evaluate the remineralizing, bactericidal and pigmentation effect produced by a sodium fluoride solution with silver nanoparticles compared to SDI brand Diamino Fluoride treatment. Forty extracted teeth were used, demineralized with phosphoric acid, then topically placed with Diamine Fluoride and experimentally placed on two sides of the same tooth and stored in artificial saliva at 37°C. Mineralization was measured with DIAGNOdent2095 (Kavo) without treatment and after application at 1 and 24 hours, 7 and 14 days. Pigmentation was compared by means of stereo microscope photographs. Bacterial inhibition halos were tested on cultures of carious lesion samples from children on salivarius agar and tomato agar. The results show total remineralization of the samples in both treatments without statistical difference, with similarity of bacterial inhibition, slightly higher in Fluoride Diamine on salivarius agar. Areas treated with the experimental fluoride show no clinical pigmentation, 75% of those treated with Fluoride Diamine show obvious dark pigmentation. In conclusion, the remineralizing and bactericidal performance of the experimental fluoride is competent without the pigmenting effect, making it a viable alternative.

Keywords: Silver Compounds, Nanoparticles, Tooth Remineralization, Dental Caries

Resumo

Objetivo: Avaliar o efeito remineralizante, bactericida e de pigmentação produzido por uma solução de fluoreto de sódio com nanopartículas de prata em comparação com o tratamento com Diamino Fluoride da marca SDI. Foram utilizados 40 dentes extraídos, desmineralizados com ácido fosfórico, depois colocados topicamente com Diamino Fluoreto e experimentalmente colocados em dois lados do mesmo dente e armazenados em saliva artificial a 37°C. A mineralização foi medida com o DIAGNOdent2095 (Kavo) sem tratamento e após a aplicação em 1 e 24 horas, 7 e 14 dias. A pigmentação foi comparada por meio de fotografias de microscópio estéreo. Os halos de inibição bacteriana foram testados em culturas de amostras de lesões cariosas de crianças em ágar salivarius e ágar tomate. Os resultados mostram uma remineralização total das amostras em ambos os tratamentos sem diferença estatística, com semelhança de inibição bacteriana, ligeiramente superior no Flúor Diamina em ágar salivarius. As áreas tratadas com o fluoreto experimental não apresentam pigmentação clínica, 75% das áreas tratadas com o fluoreto diamina apresentam pigmentação escura evidente. Em conclusão, o desempenho remineralizante e bactericida do fluoreto experimental é competente sem o efeito de pigmentação, tornando-o uma alternativa viável.

Palavras-chave: Pais, Compostos de prata, nanopartículas, remineralização dentária, cárie dentária

Introducción

La caries infantil sigue siendo un problema de salud bucal y un gran desafío para la atención odontológica. Entre los tratamientos mínimamente invasivos que han demostrado eficacia en la prevención y arresto de la caries dental están las aplicaciones de disoluciones fluoradas como Fluoruro Diamino de Plata (FD) y Fluoruros con Nanopartículas de Plata (FN).⁽¹⁾

La combinación de los fluoruros con iones de plata ha mostrado que, actúan de forma sinérgica para detener o prevenir la progresión de la caries; por un lado, el fluoruro interviene en el proceso de remineralización de la estructura dental y por otro, la plata por sus pro-

piedades antimicrobianas inhibe la acción de los microorganismos que intervienen en la progresión de las lesiones cariosas.^(2,3)

La aplicación de FD se elige principalmente en pacientes pediátricos no cooperadores, o con alguna necesidad especial, en donde, por las características se dificultan los tratamientos convencionales. Su aplicación es de forma tópica sobre la lesión y es necesario considerar el comunicar y solicitar consentimiento por el efecto adverso que se produce de pigmentación parda en el sitio de aplicación. Esto es un obstáculo en el tratamiento en la zona anterior de la boca, por ello,

en la elección de estos tratamientos debe considerarse, las necesidades del paciente y las preocupaciones estéticas⁽⁴⁾.

El FD por su contenido en flúor (5%) promueve la remineralización y por su alto contenido en Ag (> 20%) da lugar a la formación de varios compuestos como fosfato de plata, óxido de plata y sulfato de plata, todos ellos son causantes del efecto pigmentante^(5,6).

Con la finalidad de evitar este efecto, se han buscado alternativas para obtener los beneficios y evitar o disminuir los efectos adversos. Uno de los primeros intentos fue utilizar yoduro de potasio para atraer los iones que causan la pigmentación en un precipitado, sin embargo, los resultados señalan variabilidad dependiendo de la profundidad de la lesión, y con un efecto temporal.^(5,7)

Recientemente, se estudian las diversas formas en las que la plata se puede combinar con los compuestos fluorados integrando la nanotecnología.^(3,4,8) Se espera que los resultados en cuanto a la pigmentación sean diferentes por las características en la disposición de la plata y la interacción con el medio. Se sabe que la plata en estado elemental presenta una resistencia significativa a la oxidación, lo que no sucede cuando se presenta como una sal. Tal es el caso de los nitratos o aminas de plata. Al encontrarse como sal, la plata se encuentra ionizada, es altamente reactiva y se oxida fácilmente. Las interacciones a nano escala modifican las propiedades contra la oxidación, las nanopartículas presentan por su pequeño tamaño una relación superficie-volumen muy alta. Además, su estructura en la superficie es densa y compacta lo que reduce la reactividad y minimiza la oxidación, sin que se pierdan las propiedades antimicrobianas.^(9,10,11)

En este trabajo se sintetizó un gel de fluoruro de sodio con nanopartículas de plata (FN) como producto remineralizante. Se tomó como punto de partida las concentraciones publicadas y comerciales del fluoruro de Na como compuesto estable al 2%; para la Ag se tomó como referencia publicaciones previas que lo usan en proporciones del 1 a 5%^(12,13) y el producto comercial de SDI más de 20%, por lo que se decidió probar una cantidad menor 0.5% al utilizar un tamaño nanométrico. Para facilitar su aplicación se utilizó carbopol para formar un gel en diferentes concentraciones hasta lograr la que fue adecuada en consistencia para la colocación clínica. El objetivo de este estudio fue probar su eficacia antimicrobiana y remineralizante, comparado con un FD de la marca SDI. Con este fin se midieron los halos de inhibición (del crecimiento microbiano en los medios de cultivo empleados), así como el valor de mineralización

y también se tomaron fotografías con microscopio estereoscópico para valorar la pigmentación producida.

MATERIAL Y MÉTODO

El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y registrado (FESZ/CE/21-208-05)

SÍNTESIS DEL COMPUESTO EXPERIMENTAL

Se realizó la estabilización de 0.5% de nanopartículas de plata de la marca Aldrich CAS 576832, en una disolución de polivinilpirrolidona al 0.2 mg/mL, por separado se preparó una disolución de fluoruro de sodio al 2% y un gel de carbopol al 0.5%, se mezclaron para obtener la composición final del gel.

PRUEBA DE INHIBICIÓN BACTERIANA

Se prepararon 60 medios de cultivo selectivo para *Streptococcus* y *Lactobacillus* 30 de Agar Salivarius y 30 de Agar Tomate. Se obtuvieron 30 muestras de lesiones cariosas de niños entre 4 y 7 años de edad con hisopo estéril y almacenadas en caldo nutritivo estéril como medio de transporte.

Se realizó sembrado masivo o uniforme de los medios de cultivo, en los que se colocaron 3 discos embebidos con: 1. agua estéril, 2. FD y 3. FN. Los medios fueron colocados en jarras para anaerobiosis e incubados en estufa a 35.5°C durante 48 horas.

Transcurrido el periodo de incubación se realizó la medida del halo inhibición bacteriana tomando como referencia la presencia de colonias cercanas al disco de lado a lado como lo indica la técnica de kirby Bauer.

PRUEBA DE MINERALIZACIÓN Y PIGMENTACIÓN

Se realizó un estudio in vitro en 40 órganos dentarios naturales con menos de 3 meses de haber sido extraídos, lavados, desinfectados y almacenados en suero fisiológico hasta su uso. Los dientes se seleccionaron aleatoriamente en dos grupos de 20 unidades para el grupo control y 20 unidades experimentales. Fueron separados individualmente para colocarse una etiqueta plástica con un orificio de 2 mm de diámetro donde se realizó la medición de la mineralización y aplicación de tratamiento, se almacenaron en saliva artificial a 37°C.

El grupo control fue etiquetado y almacenado para su medición sin tratamiento. A las unidades experimentales se les colocó etiqueta en dos caras distintas del órgano, con la finalidad de usar el mismo diente para ambos tratamientos. Los tratamientos realizados consistieron en desmineralización con ácido fosfórico al 37% hasta ob-

tener valores de desmineralización mayores a 30, posteriormente se colocaron de forma tópica los tratamientos remineralizantes durante un minuto; en un lado con FD y el otro con FN. Transcurrido el tiempo se limpió la superficie con una torunda seca de algodón y se almacenaron en saliva artificial a 37°C.

Se realizó la medición de los valores de mineralización con el equipo DIAGNOdent 2095 de la marca Kavo, en el grupo control se realizó una medición basal, después de inmersión en saliva artificial 1 y 24 horas, 7 y 14 días. En los grupos experimentales se realizaron las mediciones: basal, después de la mineralización, inmediata posterior al tratamiento y después de la inmersión a 1 y 24 horas, 7 y 14 días.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el programa IBM SPSS V 27 en el que se realizó prueba de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de los grupos ($p=0.508$) y para la comparación de los promedios obtenidos para cada prueba ANOVA, así como prueba de comparaciones múltiples Tukey.

Resultados

PRUEBA DE INHIBICIÓN BACTERIANA

Se observó que en la inhibición provocada por los dos tratamientos es ligeramente mayor en el grupo FD con diferencia estadísticamente significativa solo en Agar Salivarius. La diferencia promedio en el agar salivarius es de 2.19 mm ($p<0.05$) y en el agar tomate es de 0.87 mm.

TABLA 1

Promedio en mm del tamaño del halo de inhibición.

	AGAR SALIVARIUS (DS)	AGAR TOMATE MM (DS)
Grupo Control	0	0
Grupo FD	15,45 (3.1)	16 (4.3)
Grupo FN	13,26 (4.8)	15,13 (6.0)

PRUEBA DE MINERALIZACIÓN

Los valores de mineralización promedio para los grupos se describen en la **Figura 1**, siendo los valores mayores en los grupos al ser desmineralizados en promedio 44.1 en el grupo FN y 42.5 en el grupo FD, a partir de estos valores hubo evidencia de mineralización en todos los grupos tratados con diferencia estadística ($p<0.05$) según ANOVA desde 1 hora hasta 14 días.

Todos los grupos experimentales alcanzaron una remineralización exitosa y total, obteniendo promedios considerados para el tejido sano, aún después de tener valores altos de desmineralización. Entre los grupos experimentales FD y FN no existió diferencia estadística después de 1, 24 horas, 7 y 14 días ($p>0.05$). Si bien los promedios disminuyen a partir de 1 hora sobre todo en FN y a partir de ese valor es bastante estable en inmersión; tampoco existió diferencia estadística al comparar los resultados entre cada tratamiento a partir de 1 hora y hasta 14 días.

PRUEBA DE PIGMENTACIÓN

Las fotografías tomadas 24 horas después de la aplicación de los compuestos muestran que en el grupo FD **Figura 2**, el 75% de las muestras presentaron pigmentaciones oscuras perceptibles clínicamente. En las fotografías tomadas 14 días después de la aplicación del tratamiento se aprecia que el 95% de las muestras de FD presentan pigmentaciones marrón visibles clínicamente. En cuanto al grupo de FN el 100% de las muestras desde 24 horas no presentaron manchas apreciables clínicamente, **Figura 3**. Sin embargo, en el grupo FN microscópicamente, en el aumento de 1000x del microscopio estereoscópico, el 40% de las muestras presentó puntos grisáceos esparcidos por la zona de aplicación, que clínicamente no se permite apreciar. El grupo control no presentó ningún cambio y así se mantuvo en todo momento.

Después de 14 días en inmersión las pigmentaciones se hacen más perceptibles clínicamente, en el grupo FD 95% presenta manchas oscuras visibles y solo una de ellas no la presentó. En el grupo FN no se presentan evidencias de pigmentaciones oscuras, únicamente la circunferencia que se marcó después de la desmineralización con ácido hace evidente la zona de aplicación, aunque algunas muestras se podrían decir que se mimetiza, lo que no sucede en ninguna muestra de FD. De igual forma se acentúan en el grupo FD las fracturas y fisuras que puedan presentarse en el órgano dentario, **Figura 4**.

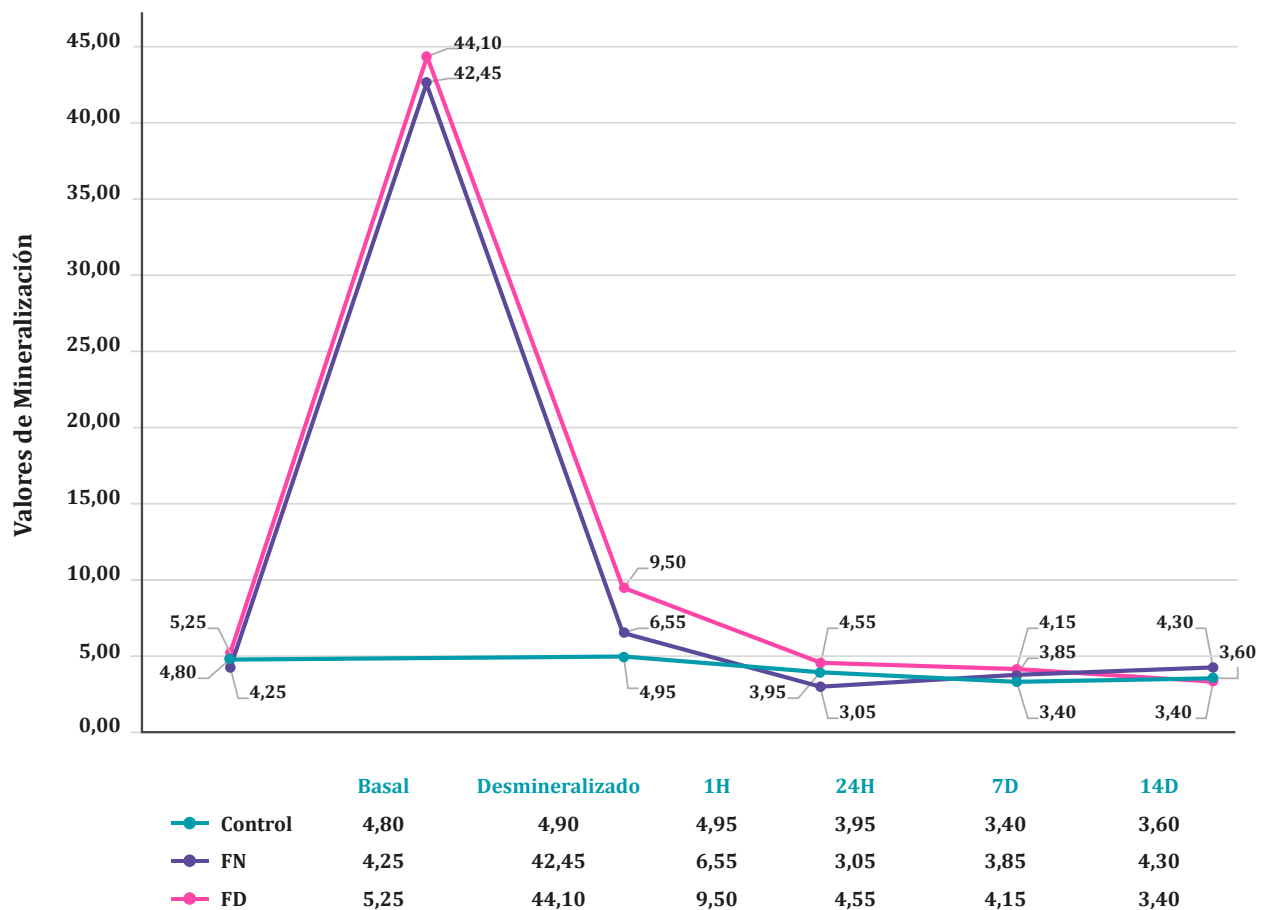


Figura 1 Promedio de los valores de mineralización de los grupos a 1-24 horas y 7-14 días

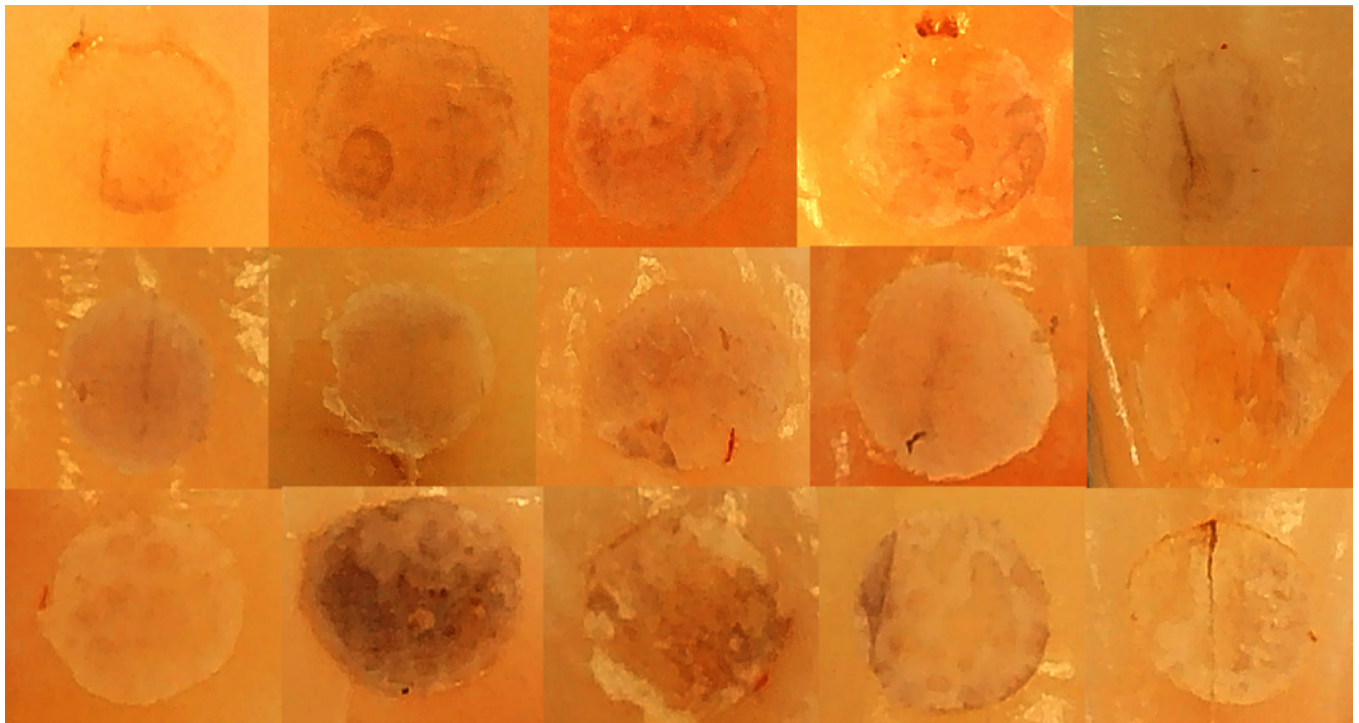


Figura 2 Grupo FD después de 24 horas de la aplicación del tratamiento 1000x

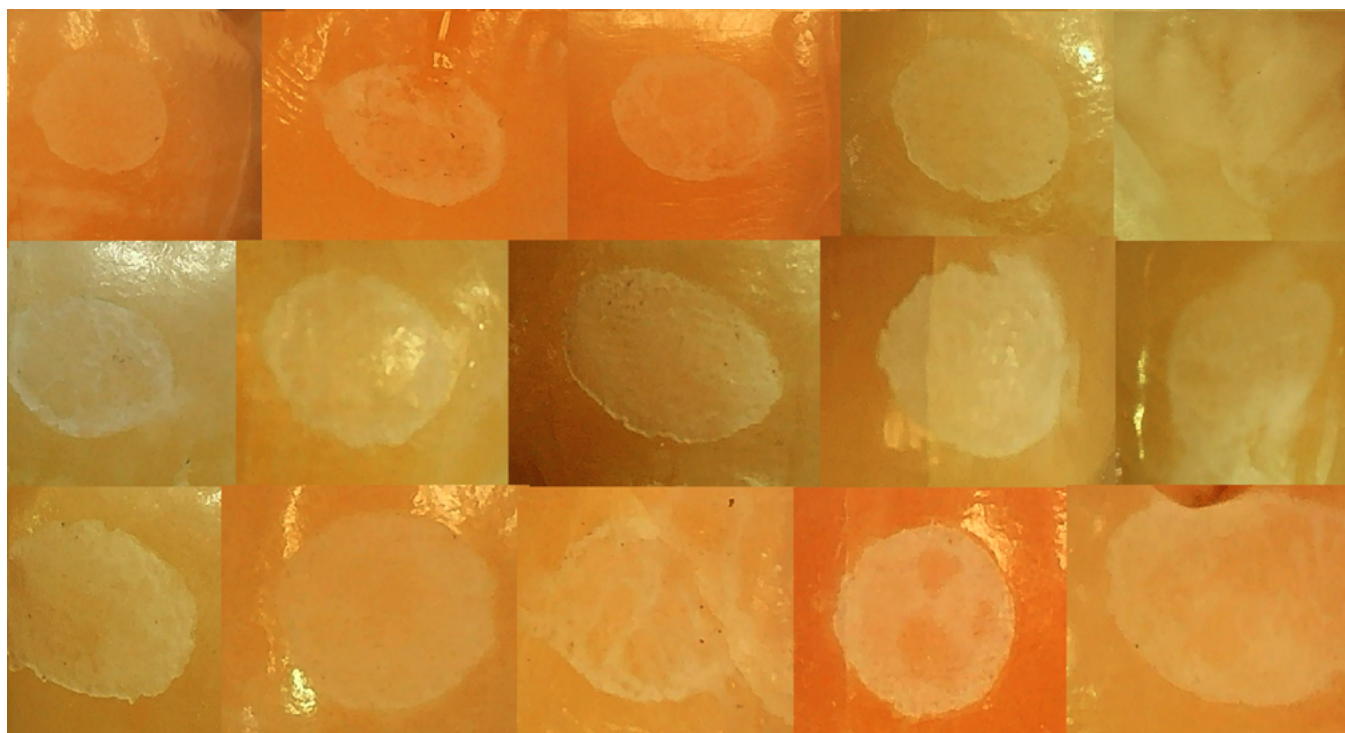


Figura 3 Grupo FN después de 24 horas de la aplicación del tratamiento 1000x

Discusión

El uso de formulaciones mezcladas con polímeros resultan efectivas gracias a sus propiedades adhesivas,⁽¹⁴⁾ tal como la combinación a base de nanopartículas de plata y fluoruro de sodio propuesta en este estudio. Los polímeros favorecen no solo la estabilidad del producto y tiempo de contacto,⁽¹⁵⁾ si no también facilitan su aplicación, coincidiendo con Cardoso y cols.⁽¹⁶⁾ quienes señalan que las nanopartículas de plata pueden ser mejoradas con la combinación de polímeros como polisacárido catiónico y quitosano, ya que entre sus propiedades se distinguen el ser biocompatible, biodegradable, sin toxicidad, tal como la polivinilpirrolidona y carbopol utilizadas en este estudio. Otras alternativas que pueden ser utilizadas son el polietilenglicol, ácido polimetacrílico, polimetilmetacrilato, por lo que la formulación podría variarse de acuerdo con la disponibilidad de los compuestos.

Con relación a la plata, la técnica bottom-up es la forma más común y económica empleada para productos comerciales a partir de sales de plata produciendo nanopartículas que van de 1 a 100 nm⁽¹⁶⁾.

Los tratamientos preventivos contra la caries durante muchos años han sido centrados en la remineralización y en este sentido los fluoruros han demostrado efectivi-

dad, el fluoruro diamino de plata posee la capacidad de detener el proceso carioso, pero ocasiona pigmentación. Por lo anterior, se han propuesto combinaciones donde la plata se emplea en tamaño nanométrico; de forma más específica, antimicrobianos de soluciones de plata que eviten la pigmentación, tal es el caso de Favaro 2022 quien al igual que en esta investigación probó los efectos remineralizantes del fluoruro de sodio al 2% en combinación con nanopartículas de plata, obteniendo resultados prometedores en cuanto a microdureza como indicador de mineralización, sin efectos estéticos desfavorables.⁽¹⁷⁾

Así también, Wang 2024 elaboró un material a base de Fluoruro y Ag modificando la estabilidad de la plata con buenos resultados de remineralización, de forma similar al compuesto propuesto en este trabajo como un tratamiento cariostático alternativo que evite la pigmentación provocada en los Fluoruros diamino de plata.⁽¹⁸⁾ Salas por su parte⁽¹⁹⁾ realiza un estudio donde aplica selladores de fosetas y fisuras con y sin nanopartículas de plata con un tamaño de partícula entre 40 y 80 nm, las muestras se analizan por fluorescencia utilizando DIAGNOdent, encontrando que los selladores con

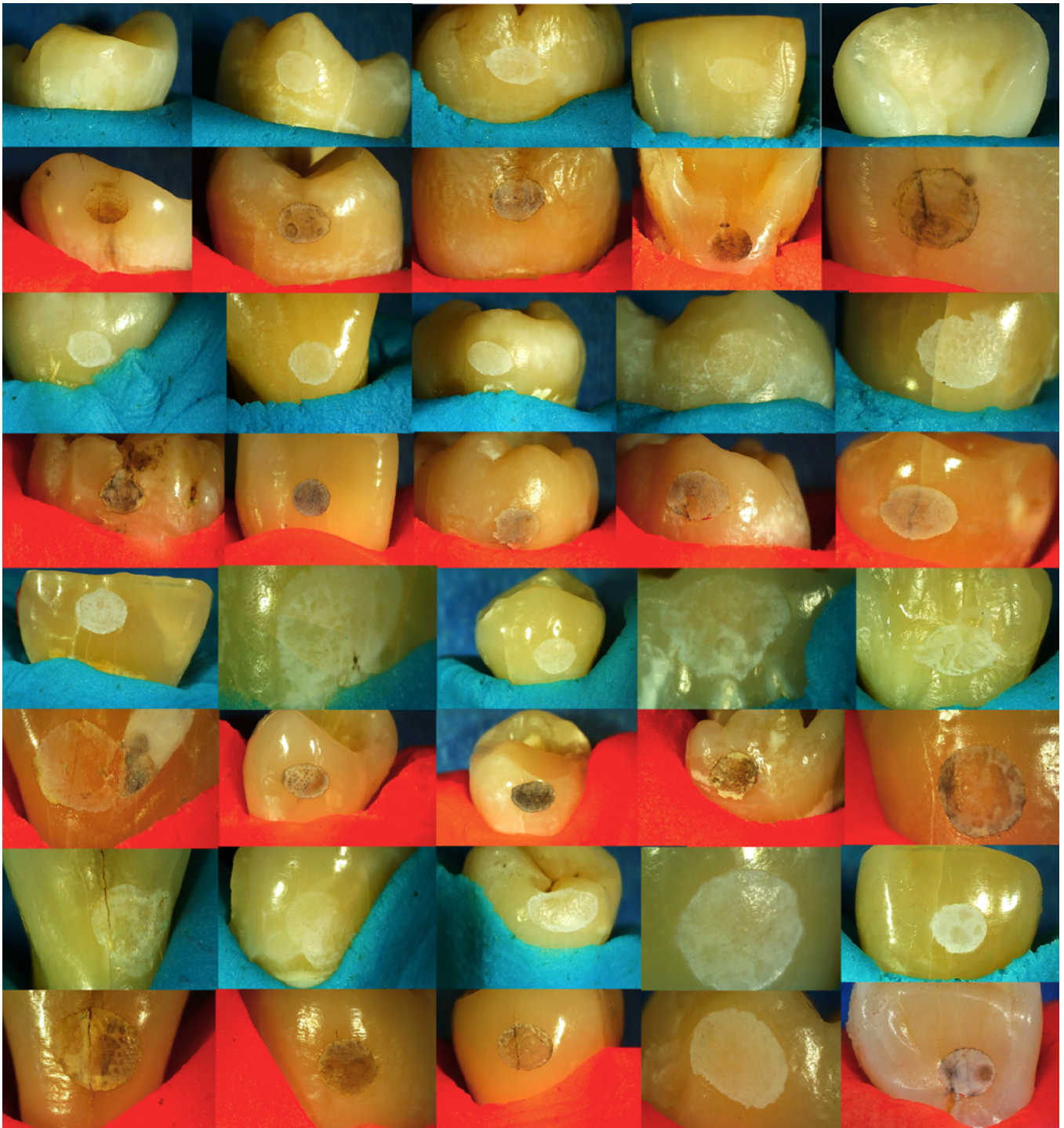


Figura 4 Fotografías de las muestras 14 días después de tratarlas. 100x En azul el tratamiento FN y en rojo el FD, se colocaron comparativamente una debajo de otra, ya que son diferentes caras de un mismo diente.

nanopartículas de plata, presentaban una reducción tres veces mayor de la fluorescencia, por lo que se refuerza su acción remineralizante, condición que resulta similar a lo encontrado en nuestro estudio donde hubo evidencia de mineralización en todos los grupos tratados con diferencia estadística ($p < 0.05$) desde 1 hora hasta 14 días.

Acerca del efecto antimicrobiano, existe evidencia de las propiedades bactericidas de las nanopartículas de Ag con un espectro en múltiples microorganismos: virus, hongos y de manera particular demostrando que es efectivo contra *Streptococcus mutans* asociado a la caries dental. La literatura señala que la concentra-

ción mínima inhibitoria frente a *S. mutans* es de 4.86 µg/ml, y la concentración bacteriostática mínima es 6.25 µg/ml, empleando nanopartículas entre 40 y 60 nm, respectivamente.^(19,20) Investigaciones como la realizada por Morones⁽²¹⁾ evalúan la actividad de los compuestos a base de plata incluidas las nanopartículas y su efecto en un intervalo de 1 a 100 nm en bacterias Gram negativas, observando que las nanopartículas se adhieren a la membrana celular afectando su funcionamiento, la permeabilidad y respiración, incluso la penetración en la bacteria. Indican que las propiedades bactericidas de las nanopartículas varían según el tamaño y que las únicas nanopartículas que presentan interacción directa con las bacterias tienen un diámetro aproximado de 1 a 10 nm,⁽¹⁹⁾ lo que significa que entre más pequeña sea la partícula mejor será el efecto en la interacción bacteriana. Por lo que, al estar dentro del intervalo de tamaño indicado por el fabricante entre 2 a 100 nm, el compuesto de nuestro estudio sea efectivo.^(22,23) Otros trabajos han mostrado evidencias sobre la acción antibacterial, antifúngica, antiviral, antiinflamatoria, regeneración de tejidos, antidiabética, antioxidante, cicatrizante de heridas de los compuestos de plata.^(18, 22, 23) Las Nanopartículas de plata tienen acciones antimicrobianas inhibiendo el crecimiento y metabolismo bacteriano, así como funciones de transporte a nivel de la pared celular, provocando la muerte celular bacteriana.^(14,21,23) La actividad antimicrobiana de la plata iónica y nanopartículas depende de su biodisponibilidad y tipo de microorganismo blanco, además de algunos factores que afectan la susceptibilidad bacteriana como son el aumento de temperatura o un pH alcalino.^(16,20) Con el tamaño de partícula utilizado en este trabajo, se obtuvieron efectos antimicrobianos, sin embargo, existe correlación positiva significativa con la concentración de las nanopartículas y la velocidad del crecimiento bacteriano, por lo que se considera que la concentración al 0.5% es adecuada para la elaboración de la propuesta experimental.

En este estudio, el gel de fluoruro de sodio con nanopartículas de plata FN como producto remineralizante probó su eficacia antimicrobiana comparado con un FD de la marca SDI, la comparación por medio de halos de inhibición muestra resultados muy similares en Agar Tomate. Sin embargo, en los resultados el desempeño del compuesto FN en cuanto a su efecto bactericida se encuentra ligeramente por debajo de FD para algunos microorganismos. No obstante, debe resaltarse la ventaja de que el compuesto propuesto ocasiona una decoloración significativamente menor.

Existe evidencia de que tanto el fluoruro diamino de plata como el nitrato de plata tienen un efecto bactericida contra *S. mutans*, desafortunadamente las altas con-

centraciones, alta carga iónica y la precipitación de la plata producen una pigmentación negruzca además de provocar irritación pulpar en cavidades profundas debido a la penetración en la dentina. Hernández Sierra evalúa los cambios visibles en dientes extraídos utilizando un colorímetro que mide el cambio de color por refracción en un modelo experimental, donde se exponen a una pasta dental obtenida tras la mezcla 98 µg/mL de nanopartículas de plata (10-3 mol) con su compuesto S-97 2%, suspendido en agua destilada, el tamaño de las nanopartículas oscila entre 40 y 80 nm, sin encontrar cambios significativos en la coloración, condición que resulta similar al resultado obtenido tras el uso de nuestro gel con nanopartículas < 100 nm; donde tampoco se observan pigmentaciones observables clínicamente, lo que representa una ventaja.⁽²⁴⁾ En este trabajo se evaluó la desmineralización dentaria mediante la medición de fluorescencia a través de DIAGNOdent y microscopio, y se reconoce la utilidad de otros métodos como la tomografía micro computarizada (micro-CT) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para un análisis minucioso de los resultados clínicos perceptibles,⁽⁷⁾ también sería relevante analizar nuevas muestras utilizando el uso de colorímetros por refracción.

Los resultados al utilizar el gel con nanopartículas fue similar a los resultados con el compuesto FD con la diferencia de no producir pigmentación clínicamente evidente, por lo que se propone como una alternativa de tratamiento cariostático.

CONSIDERACIONES ADICIONALES Y PERSPECTIVAS

El control de la caries dental requiere de la implementación de tratamientos integrales, y la aplicación de cariostáticos como el propuesto en este trabajo puede coadyuvar al control de la enfermedad. Así también para obtener mejores resultados es recomendable que la aplicación del gel propuesto se realice después de la remoción mecánica de la dentina infectada, así como el sellado de la cavidad con su restauración a base de ionómeros.

Una de las complicaciones en un trabajo donde se utilizó FD es justo la tinción marginal que se vio acentuada en aquellos casos donde no se aplicó como segundo paso un agente estabilizador como el yoduro de potasio (KI).⁽⁷⁾

Algunas de estas consideraciones y otras exceden el alcance de este documento, pero a partir de los resultados presentados es posible continuar con pruebas como las de citotoxicidad del compuesto, así como contemplar el uso de nanopartículas de síntesis verde y observar efectos en dentina.

Conclusión

Basados en los resultados y limitaciones del estudio se puede concluir que el desempeño del compuesto FN en cuanto a mineralización es muy similar a FD, en lo que se refiere a su efecto bactericida se encuentra ligeramente por debajo de FD. El compuesto FN no produce pigmentaciones evidentes clínicamente, por lo que podría ser utilizado en cualquier diente anterior o posterior de forma eficaz.

REFERENCIAS

1. Gao SS, Zhao IS, Hiraishi N, et al. Clinical Trials of Silver Diamine Fluoride in Arresting Caries among Children: A Systematic Review. *JDR Clinical & Translational Research*. 2016;1(3):201-210. doi:10.1177/2380084416661474
2. Crystal YO, Niederman R. Silver Diamine Fluoride Treatment Considerations in Children's Caries Management. *Pediatr Dent*. 2016 Nov 15;38(7):466-471. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5347149/>
3. Moraes G, Zambom C, Siqueira WL. Nanoparticles in Dentistry: A Comprehensive Review. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2021 Jul 30;14(8):752. doi: 10.3390/ph14080752
4. Besinis A, de Peralta T, Handy RD. The antibacterial effects of silver, titanium dioxide and silica dioxide nanoparticles compared to the dental disinfectant chlorhexidine on *Streptococcus mutans* using a suite of bioassays. *Nanotoxicology [Internet]*. 2014 Feb;8(1):1-16. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/17435390.2012.742935>
5. Asghar M, Yahya R, Yap AUJ, Azzahari AD, Omar RA. Incorporation of Green Capping agents to reduce silver-mediated dentine staining. *Caries Res*. 2022; 56 (3): 149-160. <https://doi.org/10.1159/000525505>
6. Mulder R, Potgieter N, Noordien N. Penetration of SDF and AgF from the infected dentine towards the unaffected tooth structure. *Front Oral Health*. 2023 Dec 11;4:1298211. doi: 10.3389/froh.2023.1298211.
7. Zhao IS, Mei ML, Seneviratne CJ, Lo ECM, Chu CH. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide treatment on secondary caries prevention and tooth discolouration in cervical glass ionomer cement restoration. *Int J Mol Sci*. 2017; 18 (2): 340. <https://doi.org/10.3390/ijms18020340>
8. Cheng L, Zhang K, Weir MD, Liu H, Zhou X, Xu HHK. Effects of antibacterial primers with quaternary ammonium and nano-silver on *Streptococcus mutans* impregnated in human dentin blocks. *Dental Materials [Internet]*. 2013 Apr 1;29(4):462-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564113000158?via%3Dihub>
9. Franci G, Falanga A, Galdiero S, Palomba L, Rai M, Morelli G, Galdiero M. Silver nanoparticles as potential antibacterial agents. *Molecules* 2015; 20(5): 8856-74. <https://doi.org/10.3390/molecules20058856>
10. Rai M, Yadav A, Gade A, Gaikwad S, Mantri A, Kedarnath G, et al. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv*. 2009; 27 (1): 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>
11. Kim B, Park CS, Hwang IS, Kim YU, Choi K, Lee J, et al. Discovery and characterization of silver sulfide nanoparticles in final sewage sludge products. *Environ Sci Technol*. 2010; 44 (19): 7509-15. <https://doi.org/10.1021/es101565j>
12. Yazdani M, Rostamzadeh P, Rahbar M, Alam M, Abbasi K, Tahmasebi E, et al. The Potential Application of Green-Synthesized Metal Nanoparticles in Dentistry: A Comprehensive Review. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 2022(1):2311910. <https://doi.org/10.1155/2022/2311910>
13. Mandhalkar R, Paul P, Reche A. Application of Nanomaterials in Restorative Dentistry. *Cureus*. 2023 Jan 14;15(1):e33779. doi: 10.7759/cureus.33779.
14. Fostercomp.com. Foster Corporation North Las Vegas [Citado el 19 de junio de 2024] Recuperado de: https://www.fostercomp.com/custom-compounds/antimicrobial-formulations/?matchtype=p&network=g&device=-c&keyword=silver%20ion%20antibacterial&campaign=14991849597&adgroup=125919744862&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI9Z2tlvnAhgMVKRWtBh0nLgAGEAAYASAAEgJCMfD_BwE

15. Andueza I, Sánchez L, Calo K. Caracterización de un enjuague bucal mucoadhesivo con nanopartículas de plata. *Revista de la Facultad de Farmacia* [Internet]. 2023 Dec 26; 86(3). Available from: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ff/article/view/27615
16. Cardoso P. Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud. *Revista del Hospital de Niños (B. Aires)*. 2016; 58 (260): 19-27. <http://revistapediatria.com.ar/wp-content/uploads/2016/04/260-Nanoparti%CC%81culas-de-plata.pdf>
17. Favaro JC, Poli RC, Detomini TR, Guiraldo RD, Maia LP, Lopes MB, et al. Anticaries Agent Based on Silver Nanoparticles and Fluoride: Characterization and Biological and Remineralizing Effects—An In Vitro Study. *Int J Dent*. 2022; 2022 (1): 9483589. <https://doi.org/10.1155/2022/9483589>
18. Wang YS, Shi YX, Liu QQ, Hu LQ, Ma FB, Zhang JR, et al. Synthesis of novel silver-loaded clay AgF@Hec for the prevention of dental caries in vitro. *Biomed Mater (Bristol)*. 2024; 19(4): 10. <https://doi.org/10.1088/1748-605X/ad51c1>
19. Salas-López EK, Pierdant-Pérez M, Hernández-Sierra JF, Ruíz F, Mandeville P, Pozos-Guillén AJ. Effect of Silver Nanoparticle-Added Pit and Fissure Sealant in the Prevention of Dental Caries in Children. *J Clin Pediatr Dent*. 2017;41(1):48-52. doi: 10.17796/1053-4628-41.1.48.
20. Mallineni SK, Sakhamuri S, Kotha SL, AlAsmari ARG, AlJefri GH, Almotawah FN, Mallineni S, Sajja R. Silver Nanoparticles in Dental Applications: A Descriptive Review. *Bioengineering*. 2023; 10(3):327. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030327>
21. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramirez JT, Yacaman MJ. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2005; 16 (10): 2346-2353. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>
22. Sáenz MGP. Nanopartículas de plata contra bacterias presentes en biofilm dental de pacientes pediátricos. *Rev ADM Organo Of Asoc Dent Mex*. 2022; 79 (4): 198-203. doi: 10.35366/106912
23. Espinosa-Cristóbal LF, Holguín-Meráz C, Zaragoza-Contreras EA, Martínez-Martínez RE, Donohue-Cornejo A, Loyola-Rodríguez JP, et al. Antimicrobial and Substantivity Properties of Silver Nanoparticles against Oral Microbiomes Clinically Isolated from Young and Young-Adult Patients. *Journal of Nanomaterials* [Internet]. 2019 Jan 1;2019(1):3205971. <https://doi.org/10.1155/2019/3205971>
24. Hernández-Sierra JF, Ruíz F, Castanedo-Cázares JP, Martinez-Ruiz V, Mandeville P, Pierdant-Pérez M, Gordillo-Moscoso A, Pozos-Guillén Ade J. In vitro determination of the chromatic effect of a silver nanoparticles solution linked to the gantrez S-97 copolymer on tooth enamel. *J Clin Pediatr Dent*. 2010 Fall;35(1):65-8. doi: 10.17796/jcpd.35.1.f466p70100253643.

Disponibilidad de los datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue publicado en el propio artículo.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no presentar conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento

El financiamiento para la realización de la investigación corrió a cargo del proyecto PAPIIT N° IN207322

Declaración de contribución de autoría y colaboración

NOMBRE Y APELLIDO	COLABORACIÓN ACADÉMICA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Marin-Miranda Miriam	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Juárez-López María Lilia Adriana	x	x		x		x		x	x			x	x	
Palma Pardínez Rosita				x		x	x		x	x			x	

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Administración del proyecto | 8. Metodología |
| 2. Adquisición de fondos | 9. Recursos |
| 3. Análisis formal | 10. Redacción - borrador original |
| 4. Conceptualización | 11. Software |
| 5. Curaduría de datos | 12. Supervisión |
| 6. Escritura - revisión y edición | 13. Validación |
| 7. Investigación | 14. Visualización |

Agradecimientos:

Raúl Rendon y Oscar González por el apoyo técnico en las pruebas realizadas.

Nota de aceptación:

Este artículo fue aprobado por la editora de la revista MSc. Dra. Natalia Tancredi.