



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

HIDROXIAPATITA COMO ALTERNATIVA TERAPÉUTICA AL FLUORURO EN LA REMINERALIZACIÓN DEL ESMALTE DENTAL CON LESIONES DE MANCHA BLANCA (ICDAS 1) EN NIÑOS Y ADOLESCENTES REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

HYDROXYAPATITE AS A THERAPEUTIC ALTERNATIVE TO
FLUORIDE IN THE REMINERALIZATION OF DENTAL ENAMEL
WITH WHITE SPOT LESIONS (ICDAS 1) IN CHILDREN AND
ADOLESCENTS: A LITERATURE REVIEW

Andrea Lizbeth Caraguay Pucha
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Deisy Patricia Saraguro Ortega
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Ana María Granda Loaiza
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Cecilia Mariana Díaz López
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19200

Hidroxiapatita como Alternativa Terapéutica al Fluoruro en la Remineralización del Esmalte Dental con Lesiones de Mancha Blanca (ICDAS 1) en Niños y Adolescentes Revisión Bibliográfica

Andrea Lizbeth Caraguay Puchaandrea.l.caraguay@unl.edu.ec<https://orcid.org/0009-0005-6091-1062>Universidad Nacional de Loja
Ecuador**Deisy Patricia Saraguro Ortega**deisy.saraguro@unl.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-8589-2658>Universidad Nacional de Loja
Ecuador**Ana María Granda Loaiza**anamaria.granda@unl.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-9786-3448>Universidad Nacional de Loja
Ecuador**Cecilia Mariana Díaz López¹**cecilia.diaz@unl.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-6718-1959>Universidad Nacional de Loja
Ecuador

RESUMEN

Esta revisión bibliográfica tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la hidroxiapatita frente al fluoruro en la remineralización del esmalte con lesiones de mancha blanca opaca (ICDAS 1) en dientes de niños y adolescentes. Se revisaron 36 estudios (in vitro y clínicos), combinando análisis cualitativo y análisis estadístico complementario de 12 artículos. Ambos agentes demostraron mejoras significativas en la dureza del esmalte y reducción de lesiones ($p < 0.0001$). El análisis comparativo mostró que sus efectos no difieren significativamente ($p = 0.81$ en dureza; $p = 0.68$ en profundidad), lo que indica que la hidroxiapatita no es inferior al fluoruro. Este último actúa formando fluorapatita e inhibiendo la desmineralización, aunque presenta limitaciones: penetración profunda, menor eficacia en pH ácido extremo (< 4.5) y riesgos como fluorosis o toxicidad en niños y embarazadas. Por su parte, la hidroxiapatita, especialmente en formulaciones nano o con iones como (Sr^{2+} , Mg^{2+} y CO_3^{2-}), no solo remineraliza eficazmente, sino que también forma una barrera protectora, mejora la estética, reduce la sensibilidad y presenta acción antibiofilm sin efectos adversos. La evidencia respalda su uso como alternativa segura, eficaz y estética frente al fluoruro para el tratamiento de lesiones ICDAS 1 en odontopediatría, con un perfil de seguridad superior y amplio potencial clínico.

Palabras clave: remineralización, hidroxiapatita, fluoruros, pastas dentales, lesiones del esmalte

¹ Autor principal

Correspondencia: cecilia.diaz@unl.edu.ec

Hydroxyapatite as a Therapeutic Alternative to Fluoride in the Remineralization of Dental Enamel with White Spot Lesions (ICDAS 1) in Children and Adolescents: A Literature Review

ABSTRACT

This literature review aimed to evaluate the efficacy of hydroxyapatite compared to fluoride in the remineralization of enamel with white spot lesion (ICDAS1) in the teeth of children and adolescents. A total of Thirty-six studies (in vitro and clinical) were reviewed, combining qualitative análisis with complementary statistical analysis of 12 selected articles. Both agents showed significant improvements in enamel hardness and lesion reduction ($p < 0.0001$). Comparative analysis revealed no significant differences between their effects ($p = 0.81$ for hardness; $p = 0.68$ for lesion depth), indicating that hydroxyapatite is not inferior to fluoride. Fluoride promotes the formation of fluorapatite and inhibits demineralization; however, it presents limitations such as reduced penetration depth, lower efficacy in extremely acidic environments ($\text{pH} < 4.5$), and potential risks such as fluorosis or toxicity, particularly in children and pregnant women. In contrast, hydroxyapatite—especially in nano-formulations or enriched with ions like Sr^{2+} , Mg^{2+} , and CO_3^{2-} —not only effectively remineralizes enamel but also forms a protective barrier, improves aesthetics, reduces sensitivity, and exhibits antibiofilm activity without adverse effects. Current evidence supports its use as a safe, effective, and esthetically favorable alternative to fluoride for managing ICDAS 1 lesions in pediatric dentistry, with a superior safety profile and broad clinical potential..

Keywords: remineralization, hydroxyapatite, fluorides, toothpastes, enamel lesions

Artículo recibido 22 julio 2025

Aceptado para publicación: 26 agosto 2025



INTRODUCCIÓN

El ión de flúor ha sido durante décadas el pilar fundamental en productos dentales para la prevención de la caries, gracias a su capacidad para estimular la remineralización superficial de lesiones incipientes como las manchas blancas (Limeback et al., 2021), y a su efecto bacteriostático sobre microorganismos cariogénicos (Hicks et al., 2004). Sin embargo, la ingesta accidental de flúor por parte de bebés y niños genera riesgos como fluorosis y potenciales efectos sistémicos, lo que ha llevado a la producción de pastas dentales con concentraciones reducidas de flúor para pediatría (Paszynska et al., 2021). En este contexto, emergen nuevas estrategias de remineralización alternativas o complementarias al flúor.

La hidroxiapatita (HA) ha adquirido protagonismo en odontología por su biocompatibilidad y su uso versátil en regeneración ósea periodontal, tratamiento de hipersensibilidad dentinaria y como agente remineralizante (Anil et al., 2022; Pushpalatha et al., 2023). Como una forma biomimética del mineral presente en el esmalte dental, la HA ha sido incorporada desde la década de 1990 en formulaciones comerciales en países como Japón, donde se demostró su eficacia anticaries en ensayos clínicos y fue aprobada para uso oral en 1993 (Paszynska et al., 2021). Además, estudios han confirmado su seguridad ante la ingestión, presentando un perfil no tóxico a dosis habituales (Limeback et al., 2021).

Las lesiones ICDAS 1, o manchas blancas opacas, representan una forma incipiente y reversible de caries dental sin pérdida estructural (Nyvad et al., 2013), pero tienen un alto impacto en salud bucal y calidad de vida en población infantil y adolescente (Ismail et al., 2007). Estas lesiones suelen aparecer en zonas de difícil acceso, como molares y premolares, y si no se tratan a tiempo, pueden evolucionar hacia caries cavitada (Fejerskov et al., 2015).

Con el auge de modelos de riesgo y estrategias clínicas no invasivas (Featherstone, 2008), el tratamiento recomendado para estas lesiones incluye agentes remineralizantes como flúor tópico o hidroxiapatita. Esta última ha demostrado en estudios su capacidad para regenerar cristales de apatita similares a los naturales, sin desencadenar los riesgos sistémicos asociados al flúor (Marinho et al., 2013).

Dada la creciente preocupación por los efectos adversos del flúor y el creciente respaldo clínico y preclínico de la hidroxiapatita, evaluar la eficacia comparativa de ambos agentes es esencial.



METODOLOGÍA

La presente investigación se enfocó en el área de Promoción y Prevención, con el objetivo de analizar mediante revisión de literatura científica la eficacia de la hidroxiapatita en la remineralización del esmalte con mancha blanca ICDAS 1 de dientes permanentes en niños y adolescentes, en relación al flúor como componentes de las pastas dentales. Esta investigación tiene un enfoque mixto exploratorio, analítico, descriptivo y documental.

Unides de estudio

Con las estrategias de búsqueda en relación al tema se identificaron 36 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión. De estos, 24 estudios fueron utilizados para desarrollar el primer objetivo y 30 para el segundo objetivo. Dentro de esos 30, solo 12 artículos contenían datos cuantitativos, por lo que fueron seleccionados para el análisis estadístico.

Criterios de Selección

- **Inclusión:** estudios originales o revisión, en inglés demás idiomas, que evaluaran hidroxiapatita (pura o dopada) y fluoruro en remineralización de lesiones ICDAS 1.
- **Exclusión:** resúmenes, cartas al editor, estudios sin datos completos o duplicados; metaanálisis.

Estrategia de Búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los términos de búsqueda incluyeron combinaciones de palabras clave como "hydroxyapatite", "fluoride", "enamel remineralization", "white spot lesions", "children", "toothpaste", entre otros. Con el uso de operadores booleanos como AND, IN, OR, NOT para unir cada término entre sí.

Recolección y sistematización de datos

Se empleó una matriz de Excel que organizó sistemáticamente las variables cualitativas según los objetivos de la investigación. Las variables cuantitativas sobre porcentajes de remineralización, dureza, prevalencia de efectos terapéuticos, fueron organizadas en una segunda base de datos para uso.

Estos datos fueron utilizados para calcular proporciones de prevalencia, evaluar la heterogeneidad entre estudios, y realizar pruebas estadísticas de comparación.



Esto permitió el análisis descriptivo y comparativo, así como el análisis estadístico complementario del objetivo 2 con el uso del siguiente software y procedimiento:

Software: MedCalc v22.016 y Jamovi v2.5.6.

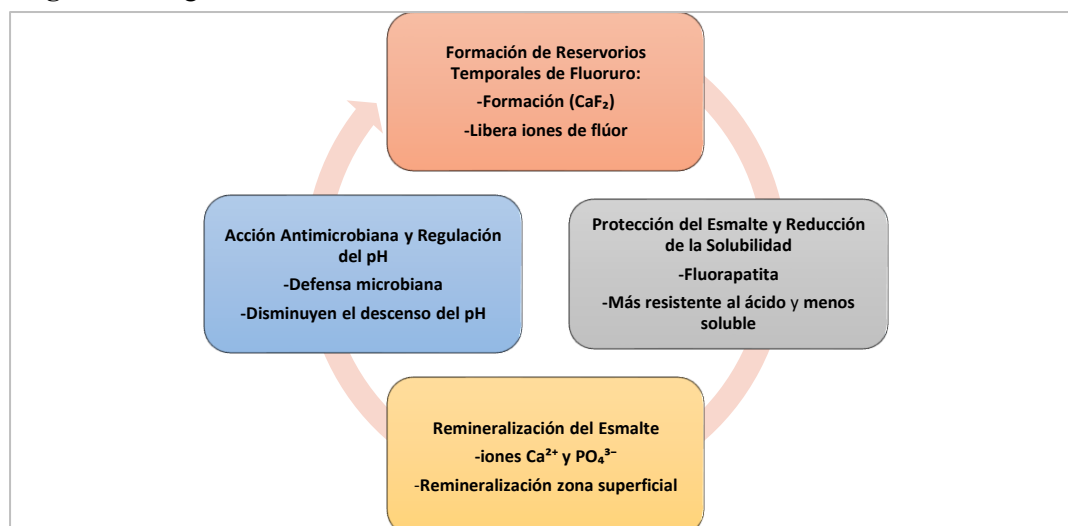
Procedimiento

- Verificación de normalidad (prueba D'Agostino-Pearson).
- Comparación de medias (t de Student para muestras independientes).
- Evaluación de heterogeneidad (I^2); elección entre modelo de efectos fijos o aleatorios según heterogeneidad.
- Detección de sesgo de publicación (tests de Egger y Begg, funnel plot).
- Representación gráfica con forest plot, funnel plot y diagrama de violín para ilustrar resultados.

RESULTADOS

El fluoruro promueve la formación de fluorapatita y fluoruro de calcio, lo que refuerza la resistencia del esmalte y reduce su solubilidad. Estas estructuras funcionan también como reservorios temporales que liberan flúor de forma gradual, especialmente en ambientes ácidos, favoreciendo la remineralización superficial. Depende de la disponibilidad de iones calcio y fosfato, presentes en la saliva. Aunque es muy eficaz en la capa externa del esmalte, su capacidad de penetración es limitada, y su eficacia disminuye en pH muy bajo (< 4.5). Además, tiene un efecto bacteriostático al inhibir microorganismos acidogénicos y estabilizar el pH de la placa, contribuyendo a prevenir la desmineralización y frenar la progresión de la caries (véase Figura 1).

Figura 1. Diagrama del mecanismo de acción del fluoruro



La hidroxiapatita nano o micro se adhiere y penetra, rellenando microdefectos y actuando, lo que restaura la estructura del esmalte. Simultáneamente, promueve la formación de una nueva capa mineral, incrementando la dureza del esmalte. También sirve de reservorio iónico al liberar, en ambientes ácidos, Ca^{2+} , PO_4^{3-} y, si está dopada, F^- , lo que mantiene un entorno sobresaturado y protege el esmalte subyacente. Además, ejerce acción antibiofilm para facilitar la eliminación de bacterias. Finalmente, en la dentina, ocluye los túbulos, reduciendo la sensibilidad dental. (véase Figura 2).

Figura 2. Diagrama del mecanismo de acción de la hidroxiapatita.



El forest plot revela que ambos tratamientos logran efectos clínicamente relevantes en la remineralización del esmalte ($p < 0.0001$), con un estimador combinado que no muestra diferencias significativas entre hidroxiapatita y flúor ($p = 0.81$ en dureza, $p = 0.68$ en profundidad de lesión), lo que confirma la no inferioridad de la HAP frente al flúor (véase Figura 3a y 3b).

Figura 3a. Forest plot sobre la determinación de los efectos terapéuticos de la hidroxiapatita en la remineralización del esmalte dental (Khan et al., 2022).

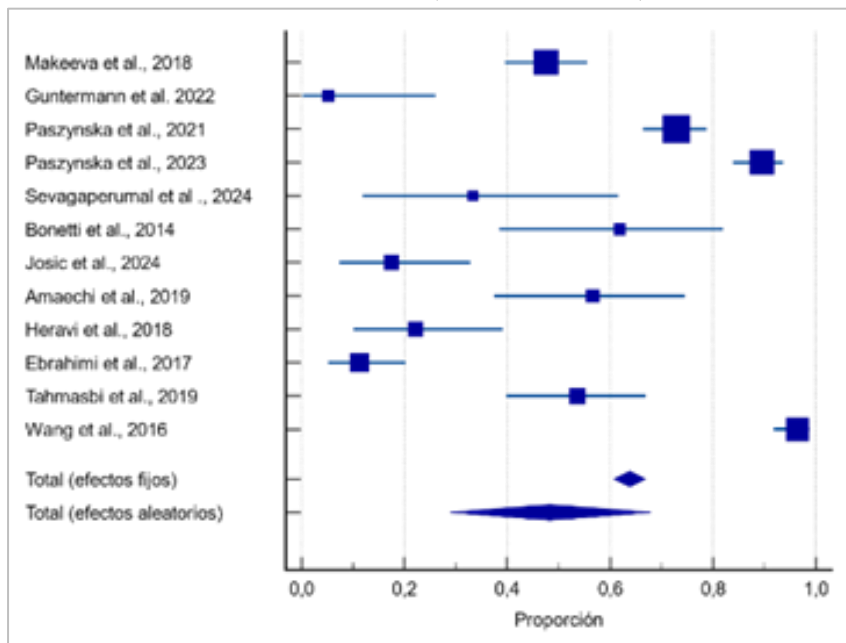
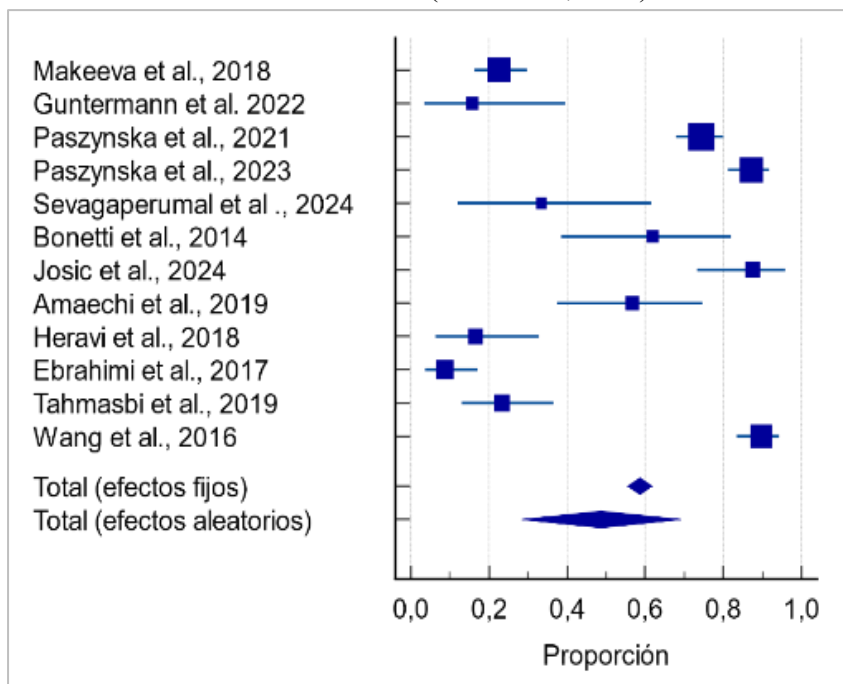


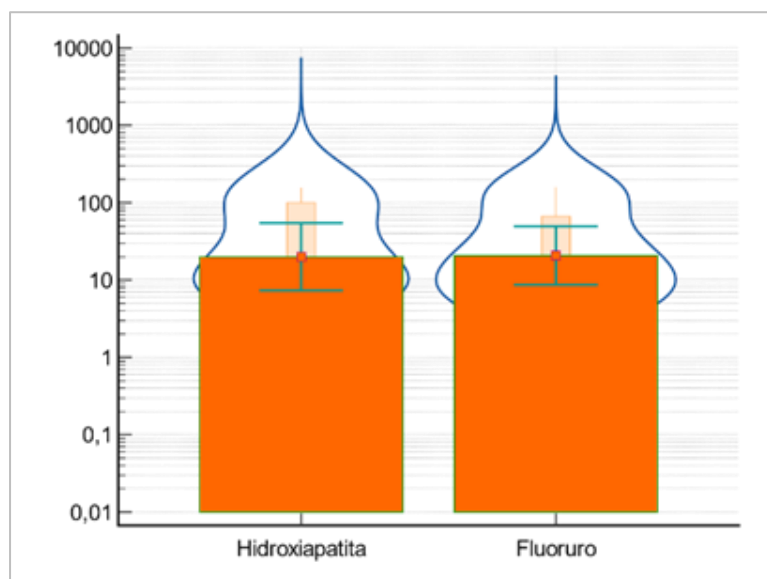
Figura 3b. Forest plot sobre la determinación de los efectos terapéuticos de los fluoruros en la remineralización del esmalte dental (Khan et al., 2022)



Este diagrama muestra que ambos tratamientos tienen una distribución de efectividad similar, aunque la hidroxiapatita presenta más variabilidad. Esto respalda el resultado estadístico que no hay diferencia significativa entre estos dos componentes de las pastas dentales ($p = 0,9449$).

Tanto el flúor como la hidroxiapatita tienen efectos terapéuticos sólidos en la remineralización del esmalte. El flúor es eficaz, pero presenta riesgos como toxicidad y fluorosis, especialmente en niños. En cambio, la hidroxiapatita (especialmente en formulaciones avanzadas) ofrece eficacia similar, con beneficios adicionales (desensibilización, acción antimicrobiana, mejora estética) y un perfil de seguridad superior, siendo una alternativa viable y segura al flúor en todas las edades. (véase Figura 4).

Figura 4. Diagrama de violín de comparación de los efectos de la hidroxiapatita y fluoruros en la remineralización del esmalte dental (Chaos, 2025; MEDCALC, 2025).



DISCUSIÓN

La remineralización de lesiones iniciales del esmalte, como las manchas blancas opacas (ICDAS 1), es fundamental en la odontología preventiva. Tradicionalmente, el fluoruro ha sido el tratamiento de elección por su capacidad para formar fluorapatita y fluoruro de calcio, estructuras más resistentes al ataque ácido. No obstante, recientes preocupaciones sobre su potencial neurotoxicidad en cerebros en desarrollo (Limeback et al., 2023) han impulsado la búsqueda de alternativas seguras y efectivas.

El fluoruro promueve la formación de depósitos superficiales de fluorapatita y fluoruro de calcio, actuando como reserva iónica en pH ácido y reduciendo la actividad de bacterias como *S. mutans*. Su efecto es principalmente superficial, y su eficacia puede disminuir en ambientes muy ácidos (< 4.5). Sin embargo, su uso está limitado por preocupaciones sobre la fluorosis y efectos tóxicos en ciertos grupos (embarazadas, niños) (Paszynska et al., 2023).

La hidroxiapatita, especialmente en forma nano o microestructurada, exhibe un mecanismo versátil rellenando microporos y sirviendo como matriz para atraer Ca^{2+} y PO_4^{3-} de la saliva, restaurando la estructura del esmalte y promoviendo apatita biomimética. Al actuar como reservorio iónico (incluso F^- en preparados dopados), mantiene la sobresaturación mineral protectora. Exhibe acción antibiofilm y puede ocluir túbulos dentinarios, reduciendo la hipersensibilidad (Makeeva et al., 2018); Guntermann et al., 2022). Estudios clínicos en poblaciones pediátricas han demostrado eficacias comparables o superiores al fluoruro, con beneficios añadidos estéticos, antimicrobianos y antierosivos (Paszynska et al., 2021; Ribeiro et al., 2019).

En base a la evidencia científica comparativa algunos autores como: Mony U et al. (2020) y Ribeiro et al. (2019) demostraron remineralización efectiva en niños con ICDAS 1 mediante pastas con hidroxiapatita. Asimismo, Grewal et al. (2017) encontró superioridad de dentífricos con nano-HA frente a fluoruro de amina o monofluorofosfato. Finalmente, Guntermann et al. (2022) mostraron que HA + fluoruro forma capas protectoras estables y promueve apatita resistente al ácido.

Por el contrario, Esteves-Oliveira (2017) observó que HA, sin fluoruro no inhibe eficazmente la desmineralización, si bien algunos estudios in vitro e in situ registraron ganancia mineral similar a la del fluoruro, con el avance de nuevos estudios y compuestos con diferentes protocolos y método de administración, Orilisi et al. (2023) demostraron que HA dopado con fluoruro tenía menor potencial remineralizante que un dentífrico con fluoruro de sodio enriquecido con enzimas. También se identificó que el tamaño y geometría de las partículas de HA (nano vs micro) afectan su eficacia (Guntermann et al., 2022).

Toda esta información y evidencia científica implica que ambos agentes son efectivos para remineralizar caries incipientes y proteger el esmalte. Sin embargo, la HA aporta ventajas adicionales en seguridad (sin riesgo de fluorosis), versatilidad en formulaciones (adultos, niños, embarazadas), efectos antimicrobianos y mejoras cosméticas. A pesar de ello, la heterogeneidad entre estudios de diseños diversos, evaluaciones clínicas inconsistentes y tamaños de partícula variables dificulta comparaciones directas. Además, su eficacia in vivo en largo plazo aún requiere respaldo por ensayos clínicos bien diseñados.



Algunas de las limitaciones del estudio presente incluyeron algunos estudios que por demanda de pago no pudieron ser incluidos en la revisión bibliográfica, además de otros realizados principalmente in vitro o en dientes permanentes, lo que reduce la generalización a entornos clínicos reales. Protocolos divergentes que tenían variaciones significativas en cuanto a la frecuencia de uso, dosis, métodos de medición. Sin olvidar la necesidad de ensayos clínicos estandarizados, con cegamiento, aleatorización, seguimiento prolongado y análisis de costo-beneficio.

La hidroxiapatita se posiciona como alternativa biomimética eficaz al fluoruro en el tratamiento de lesiones incipientes de esmalte (ICDAS 1), ofreciendo beneficios terapéuticos similares o superiores y un perfil de seguridad más favorable. No obstante, se requiere más investigación clínica rigurosa para establecer su posición definitiva en la prevención de caries, apoyo de formulaciones innovadoras y evaluación de costo.

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura científica demuestra que tanto el flúor como la hidroxiapatita presentan mecanismos efectivos con alta capacidad para remineralizar lesiones de mancha blanca opaca (ICDAS 1). En especial, las formulaciones mejoradas de este compuesto logran una restauración del esmalte comparable a la del fluoruro, con ventajas adicionales. El análisis estadístico evidenció que no existen diferencias significativas entre ambos compuestos, lo que respalda su uso como una alternativa natural y segura en la prevención y manejo de caries incipientes.

A diferencia del fluoruro, la hidroxiapatita ofrece efectos terapéuticos integrales: desensibilización rápida acción antibacteriana directa sobre *S. mutans* y el biofilm, mejora estética de manchas blancas, y protección antierosiva. Estos beneficios clínicos se confirmaron tanto en estudios in vitro como en población pediátrica.

La hidroxiapatita es biocompatible y segura en caso de ingestión, sin riesgos asociados como fluorosis o toxicidad tiroidea y neurotóxica infantil, en contraste con las limitaciones del fluoruro. Esto la convierte en una opción mucho más adecuada para niños, embarazadas y personas con sensibilidad al fluoruro.



Aunque ambos agentes brindan remineralización, prevención de caries e inhibición de la desmineralización, la hidroxiapatita se perfila como una alternativa más completa. Su actuación multifactorial remodelación, reparación, protección y limpieza permite plantear productos que prescinden del flúor sin perder eficacia clínica, adaptándose a diferentes perfiles de los pacientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anil, S. (2022). Nanohidroxiapatita (nHAp) en la remineralización de caries dentales tempranas: una revisión de alcance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 5629. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095629>
- Chaos, I. (2025). Violin Plot. Interactivechaos.Com.
<https://interactivechaos.com/es/powerbi/visual/violin-plot>
- Enax, J., & Eppele, M. (2018). Synthetic hydroxyapatite as a biomimetic oral care agent. *Oral Health & Preventive Dentistry*, 16(1), 7–19. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a39690>
- González-Cabezas, C., Hara, A. T., Kelly, S. A., Eckert, G. J., Barlow, A. P., Mason, S. C., & Zero, D. T. (2009). Influence of fluoride availability of dentifrices on eroded enamel remineralization in situ. *Caries Research*, 43(1), 57–63. <https://doi.org/10.1159/000201591>
- Guntermann, L., Rohrbach, A., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2022). Remineralization and protection from demineralization: effects of a hydroxyapatite-containing, a fluoride-containing and a fluoride- and hydroxyapatite-free toothpaste on human enamel in vitro. *Head & face medicine*, 18(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13005-022-00330-5>
- Ismail, A. I., Sohn, W., Tellez, M., Amaya, A., Sen, A., Hasson, H., & Pitts, N. B. (2007). The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 35(3), 170–178.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x>
- Khan, K. S., Bueno Cavanillas, A., & Zamora, J. (2022). Systematic reviews in five steps: I. Framing questions to obtain valid answers. *Semergen*, 48(5), 356–361.
<https://doi.org/10.1016/j.semerg.2021.12.005>
- Limeback, H., Enax, J., & Meyer, F. (2021). Biomimetic hydroxyapatite and caries prevention: A systematic review and meta-analysis. *Canadian Journal of Dental Hygiene*, 55(3), 148–159.



- Marinho, V. C., Cheng, K. K. Y., & D'Angelo, S. (2013). Fluoride toothpaste for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(1).
- Nyvad, B., & Baelum, V. (2018). Nyvad Criteria for Caries Lesion Activity and Severity Assessment: A Validated Approach for Clinical Management and Research. *Caries Research*, 52(5), 397–405. <https://doi.org/10.1159/000480522>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2012). Informe sobre caries como problema de salud pública. Ginebra: OMS.
- Orilisi, G., Vitiello, F., Notarstefano, V., Furlani, M., Riberti, N., Monterubbianesi, R., Bellezze, T., Campus, G., Carrouel, F., Orsini, G., & Putignano, A. (2023). Multidisciplinary evaluation of the remineralization potential of three fluoride-based toothpastes on natural white spot lesions. *Clinical oral investigations*, 27(12), 7451–7462. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05334-2>
- Paszynska, E., Pawinska, M., Gawriolek, M., Kaminska, I., Otulakowska-Skrzynska, J., Marczuk-Kolada, G., ... Luczaj-Cepowicz, E. (2021). Impact of a toothpaste with microcrystalline hydroxyapatite on the occurrence of early childhood caries: A 1-year randomized clinical trial. *Scientific Reports*, 11, 2650. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81112-y>
- Pushpalatha, C., Gayathri, V. S., Sowmya, S. V., Augustine, D., Alamoudi, A., Zidane, B., ... Bhandi, S. (2023). Nanohydroxyapatite in dentistry: A comprehensive review. *The Saudi Dental Journal*, 35(6), 741–752. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.05.018>

