

Flúor en el agua: riesgos y beneficios para la salud

Marine Ortiz-Magdaleno
Amaury Pozos-Guillén

El flúor, un mineral presente en mínimas cantidades en el organismo humano, forma parte del selecto grupo de los 14 oligoelementos esenciales. Aunque el flúor posee efectos benéficos para la salud en dosis adecuadas, su exceso puede resultar tóxico y potencialmente perjudicial. A nivel global, una considerable proporción de la población mundial consume agua potable directamente del grifo, que proviene de mantos acuíferos con concentraciones elevadas de flúor. La falta de regulación rigurosa en los niveles permitidos de flúor en áreas endémicas expone a las poblaciones a diversos desafíos en términos de salud general.

El propósito fundamental de esta revisión es proporcionar al lector una visión integral de los beneficios y riesgos asociados con el consumo de flúor. Asimismo, se describen las últimas recomendaciones y regulaciones establecidas para la administración de flúor en el suministro de agua potable.

USOS Y RIESGOS DEL FLÚOR EN EL AGUA

Los mantos acuíferos, caracterizados por su riqueza mineral, alojan una diversidad de elementos entre los cuales destaca el flúor. Este mineral se presenta en forma de fluoruro y su presencia tiene un papel fundamental en la

calidad del agua subterránea destinada al consumo humano. Sus altas concentraciones en el agua de consumo representan un riesgo potencial y reconocido para la salud pública a nivel global (Whelton *et al.*, 2019).

El suministro de flúor para el consumo humano encuentra sus principales fuentes en el agua potable y, en menor proporción, en elementos como la sal de mesa fluorada, alimentos, bebidas embotelladas y pastas dentales con contenido de flúor. Este mineral es reconocido por su efecto en la prevención de la caries dental; no obstante, el aumento en la incidencia de fluorosis dental en niños y adolescentes ha propiciado la implementación de nuevas estrategias preventivas para potenciar la efectividad del flúor.

El proceso de fluoración comunitaria implica la adición de fluoruro al agua potable, ajustando su concentración según la procedencia geográfica del recurso hídrico. Sin embargo, en la actualidad existe un marcado debate internacional acerca de la necesidad de continuar con la fluoración del agua de consumo.

En este sentido, varios países han ajustado las dosis de flúor, mientras que otros han cesado por completo esta práctica. (Whelton *et al.*, 2019).

El flúor presente en el agua potable ejerce su acción de manera sistémica uniéndose a la saliva para proteger los dientes contra los ácidos resultantes del metabolismo bacteriano de carbohidratos fermentables como la glucosa, fructosa y sacarosa. Parte del flúor es absorbido en el estómago y el intestino delgado, ingresa al torrente sanguíneo y penetra rápidamente en los tejidos mineralizados en formación, como los dientes y huesos (Russell, 1951).

ELEMENTO ESENCIAL

La palabra flúor deriva del término latino “fluere”, que significa fluir o flujo. El flúor, un elemento químico con el símbolo F y número atómico 9, pertenece a la familia de los halógenos (grupo 17) en la tabla periódica. Con el número y peso atómico más

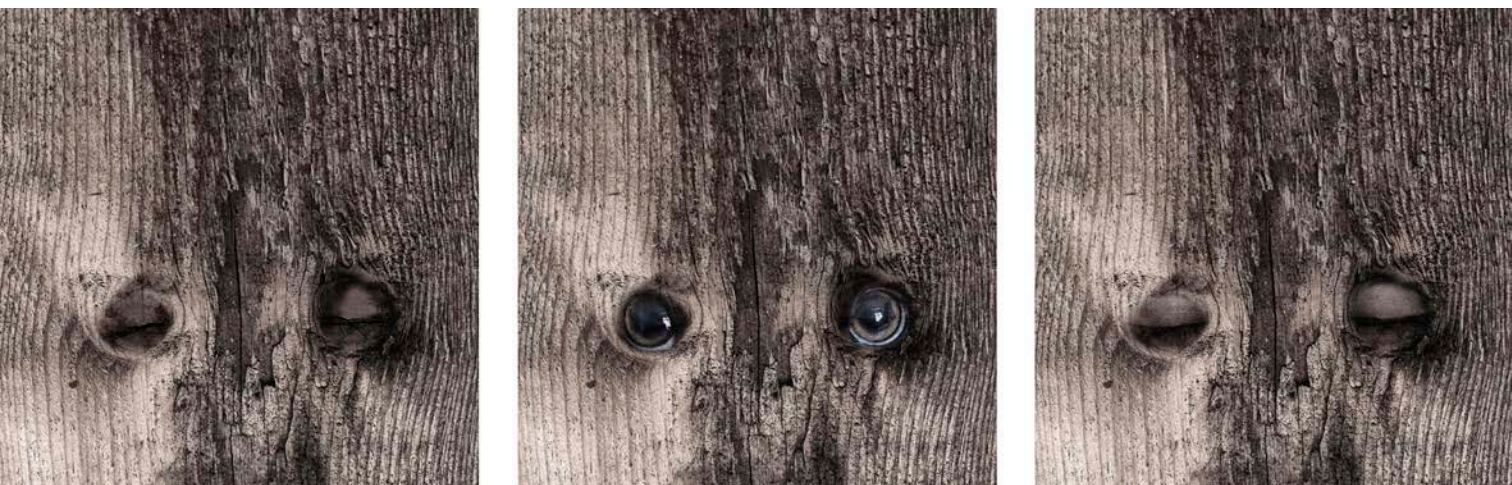
bajos, el flúor se presenta en forma de moléculas diatómicas F_2 , un gas de color amarillo pálido. Fue el profesor de química inorgánica Henri Moissan quien descubrió y aisló el flúor en su forma pura en Francia en 1886, y fue galardonado con el Premio Nobel de Química en 1906. Cabe destacar que el flúor puro causa severas quemaduras al entrar en contacto con la piel y los ojos. Se trata de un elemento altamente reactivo y tóxico, y es el gas más electronegativo y capaz de reaccionar explosivamente con el hidrógeno (McKay, 1952).

En la naturaleza se encuentra en forma de fluorita o fluoruro de calcio, lo que significa que los seres humanos están expuestos a diferentes compuestos de flúor tanto de manera natural como artificial. La principal fuente de ingestión de fluoruro para los seres humanos es el agua del grifo, que proviene de acuíferos y manantiales subterráneos con elevados niveles minerales. En zonas con depósitos minerales, las concentraciones de fluoruro pueden alcanzar hasta 200 y 300 partes por millón (ppm), planteando así un problema de salud pública (Shahroom *et al.*, 2019).

El flúor muestra una gran afinidad por los tejidos duros del cuerpo, permitiéndole depositarse en dientes y huesos donde ayuda a mantener la estructura y función de estos tejidos. Los informes científicos han evidenciado que la aplicación y el uso adecuado de cantidades específicas de flúor desde la infancia hasta la edad adulta pueden prevenir la caries dental (Whelton *et al.*, 2019).

UN POCO DE HISTORIA

En 1901, el odontólogo Frederick McKay observó la aparición de manchas marrones y blancas en los dientes de los residentes nativos de Colorado Springs. Además de estas manchas, notó que la superficie del esmalte dental mostraba cavidades con forma de cráteres. Intrigado por esta alteración morfológica inusual, McKay se dispuso a investigar su origen, ya que no existían informes científicos sobre este fenómeno. En casos más graves pudo observar que el esmalte se volvía más frágil y presentaba pérdida de tejido en forma de lagunas.



© Gabriela Torres Ruiz. Ojos. Tríptico, fotografía digital, 2020.

Además, observó cambios en la coloración, que variaba desde tonos marrones hasta manchas de color negro (McKay, 1948).

En 1909, el doctor McKay examinó a 2,495 niños de escuelas públicas en Colorado Springs para buscar evidencia de estas manchas color marrón. Sorprendentemente, reportó que el 87.5 % de los niños examinados presentaba estas manchas en los dientes. Además, encontró que esta alteración también estaba presente en otras comunidades de Saint Louis. Como suele ocurrir ante fenómenos desconocidos, los habitantes de estas comunidades tenían sus propias teorías sobre el origen de estas manchas, y las atribuían al consumo de leche en mal estado, carne de cerdo y exceso de calcio en el agua (McKay, 1952; McKay, 1948).

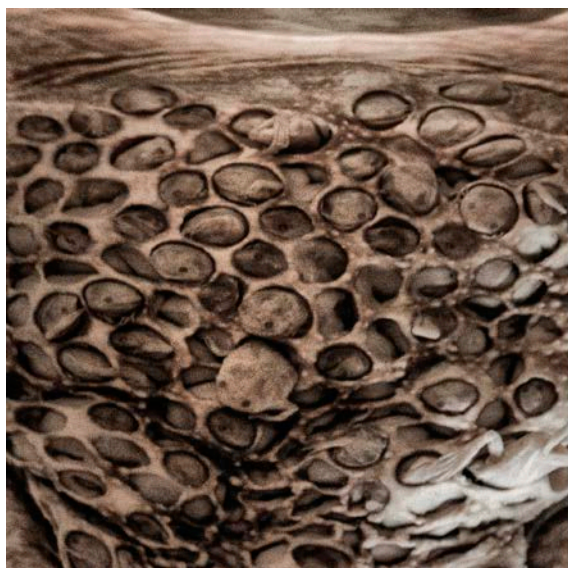
Dado que no había evidencia científica que explicara esta condición, estas manchas comenzaron a denominarse “manchas café de Colorado”. La Sociedad Dental de Colorado Springs determinó que el 90 % de los niños nacidos en esta comunidad presentaba estas manchas. El eminente doctor Greene Vardiman Black, conocido como el padre de la odontología moderna, se interesó por las investigaciones de McKay y comenzó a colaborar con él. Black viajó a Colorado Springs para observar por sí mismo estas manchas de esmalte moteado y quedó asombrado.

Describió esta alteración no solo como una deformidad de la niñez, sino como una condición

presente a lo largo de toda la vida. Esto lo llevó a investigar durante seis años en busca de una explicación del origen de estas manchas. Curiosamente, uno de los hallazgos clave del trabajo conjunto entre McKay y Black fue que los dientes con manchas marrones eran más resistentes a la caries (McKay, 1952; McKay, 1948).

Más adelante, McKay se reunió con los padres de niños con manchas marrones en Oakley, Idaho, quienes mencionaron que solían consumir agua de un manantial. Intrigado por esta información, McKay investigó el agua y no encontró nada inusual en su contenido. Sin embargo, cuando los niños dejaron de consumir agua de este manantial y erupcionaron sus dientes permanentes, las manchas marrones ya no estaban presentes en el esmalte. La teoría del agua como factor causal dio un gran paso en el año de 1923, aunque aún no se había identificado el elemento específico del agua responsable de las manchas marrones (McKay, 1952).

A principios de la década de 1940, el doctor Henry Trendley Dean, jefe de la Unidad de Higiene Dental del Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos, comenzó a examinar el agua de los pozos para determinar el nivel de contenido de flúor necesario para que aparecieran las manchas marrones en el esmalte. También estableció la relación dosis-respuesta entre la concentración de flúor



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 31. Díptico, fotografía digital, 2019.

natural en el suministro de agua y la fluorosis dental (Dean, 1936).

Posteriormente, el doctor Elías Evolve desarrolló una técnica para detectar la cantidad de flúor en el agua, y concluyó que el riesgo de aparición de las manchas marrones aumentaba cuando el contenido de flúor en el agua superaba una parte por millón (Russell, 1951).

EL MECANISMO DE ACCIÓN

El flúor es ampliamente conocido por sus beneficios para la salud dental: favorece la mineralización del esmalte y previene la caries. Sin embargo, un exceso de ingesta de agua con altos niveles de flúor puede ser perjudicial y puede resultar en la llamada fluorosis dental. Este término fue acuñado por primera vez en 1937 por el doctor Trendley Dean. Durante el período de formación del esmalte, que abarca desde los 6 meses hasta los 4 años, el flúor se distribuye y absorbe en el esmalte dental. Una ingesta crónica y en concentraciones elevadas afecta la función de los ameloblastos, las células que participan en la formación del tejido del esmalte. A medida que se acerca a los ocho años, el riesgo de fluorosis disminuye, en parte debido

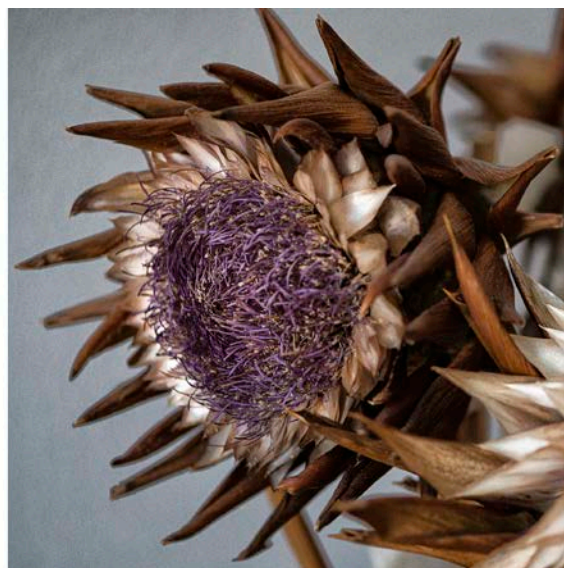
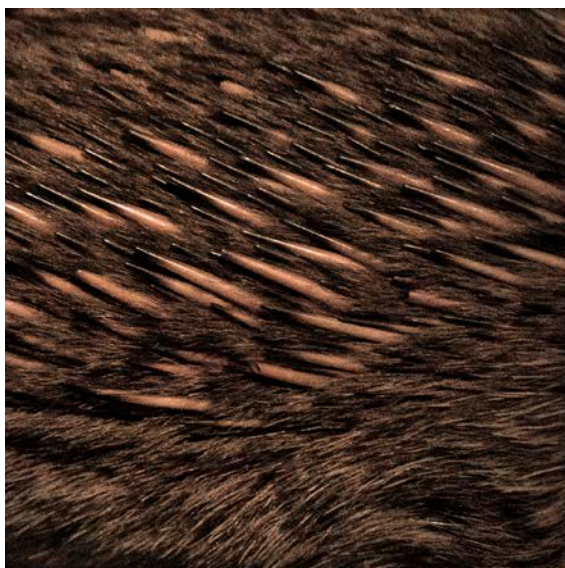
a una disminución en el proceso de calcificación del esmalte (Shahroom *et al.*, 2019).

La fluorosis dental ha captado cada vez más la atención de los investigadores en sistemas de salud de todo el mundo y es considerada un problema endémico en algunas regiones y un desafío de salud pública.

Se caracteriza por un aumento en la porosidad de la superficie del esmalte, presencia de manchas blancas, opacas y marrones, y por la formación de hendiduras transversales que pueden alterar la morfología y dar lugar a fracturas extensas y fisuras que facilitan la rotura del esmalte con una mínima fuerza. Esto puede predisponer a la acumulación de placa bacteriana, al desarrollo de caries y afectar la sensibilidad dental, además de provocar daños estructurales como picaduras o astillas (Pini *et al.*, 2015).

LA GEOGRAFÍA Y LA CONCENTRACIÓN DE FLÚOR

Diversos estudios han revelado concentraciones excesivas de flúor en el agua en más de 50 países de Asia y África (Kurdi, 2016) incluyendo India, Corea, Tailandia, Sri Lanka, Indonesia, Yemen, Pakistán, Irak, Siria, Jordania, Palestina, Bangladesh, Irán, Arabia Saudita, así como en la región que se extiende desde Turquía hasta China y Japón.



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 33. Díptico, fotografía digital, 2020.

La India presenta uno de los mayores problemas de contaminación por flúor en las aguas subterráneas, que son la principal fuente de agua potable cuya demanda continúa en aumento debido al crecimiento de la población (Gleeson *et al.*, 2012).

En México se han reportado altas concentraciones de flúor en el norte y centro del país, así como en las áreas geotermales. Los estados más afectados incluyen Durango, Chihuahua, Sonora, Jalisco, Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes, que son considerados como zonas endémicas. Estas áreas se encuentran en el cinturón de la Sierra Madre Occidental, una cadena montañosa de origen volcánico con alta concentración de minerales y vidrio volcánico, lo cual podría explicar las altas concentraciones de flúor en el agua de consumo. Las rocas ígneas de composición ácida contribuyen al aumento de flúor en el agua subterránea (Ferrari *et al.*, 2005).

En América, las regiones áridas y semiáridas incluyen Estados Unidos, Bolivia, México, El Salvador, Chile, Nicaragua, Perú y Argentina. En México, la Sierra Madre Occidental se encuentra en una de las zonas áridas, con agua subterránea de pH alcalino y alta evaporación, lo que concentra aún más contaminantes como arsénico y flúor en las partes menos profundas de los acuíferos. En Chihuahua y Durango se han reportado concentraciones de

fluoruros en el agua del grifo de hasta 9.23 mg/L, diez veces más que lo establecido por la Norma Oficial Mexicana.

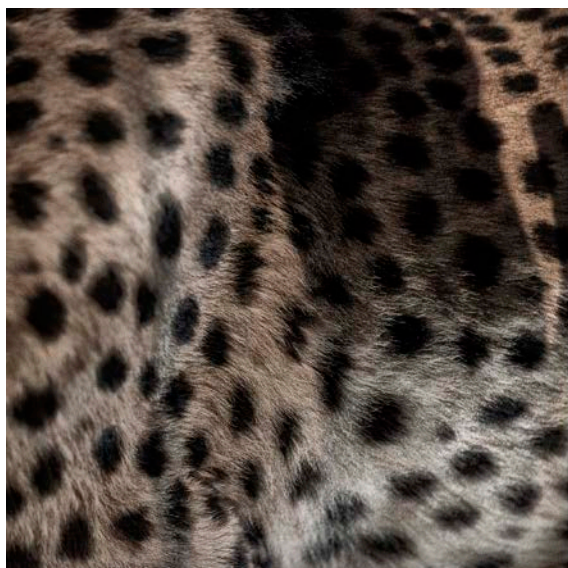
La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el agua potable no debe contener más de 1.5 mg/L de fluoruro para el consumo humano, mientras que el agua embotellada no debe superar los 0.7 mg/L.

En México, el agua subterránea es una fuente esencial para uso doméstico, por lo que su calidad y seguridad son fundamentales para evitar riesgos a la salud (Ferrari *et al.*, 2005).

Aproximadamente 20 millones de personas en el país consumen agua con concentraciones de flúor superiores a 1,500 $\mu\text{g/L}$. En estados como San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Jalisco, Chihuahua y Sonora se han reportado niveles de flúor en un rango de 4,500 a 29,600 $\mu\text{g/L}$.

Este problema es tan grave que alrededor de 6.5 millones de niños menores de 5 años están expuestos a niveles de flúor lo suficientemente altos como para afectar su salud.

La contaminación por flúor en las aguas subterráneas se ha convertido en un problema global, ya que es un fenómeno natural e incontrolable (Sharma *et al.*, 2015).



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 39. Díptico, fotografía digital, 2020.

FLUORACIÓN DEL AGUA

La fluoración del agua potable es una estrategia de salud pública implementada a nivel comunitario que consiste en la adición controlada de compuestos fluorados al sistema de distribución pública de agua. El objetivo es ajustar la concentración de fluoruro a un nivel óptimo para la prevención de la caries dental.

Sin embargo, es esencial encontrar un equilibrio entre la prevención de caries y la posibilidad de ocurrencia de fluorosis dental.

A mediados de la década de 1940, en Estados Unidos se ajustó la concentración de flúor en el agua potable a 1 ppm, lo que resultó en una reducción del 50 % en la incidencia de caries.

En 1958, la OMS recomendó la fluoración del agua como medida preventiva. En aquellos años, las pastas dentales y enjuagues con flúor no estaban ampliamente disponibles, lo que hacía que la ingesta sistémica de flúor a través del agua potable fuera la principal opción.

En 1970, menos del 5 % de las pastas dentales vendidas en Inglaterra contenían flúor, mientras que, en 1976, más del 90 % ya lo incluía en su composición (Shahroom *et al.*, 2019).

La fluoración comunitaria del agua demostró ser capaz de reducir hasta en un 60 % la incidencia de caries, lo que la convierte en una medida eficaz para prevenir esta enfermedad.

Sin embargo, en contraste con esto, en la actualidad, el 98 % de los países europeos prohíben la fluoración del agua potable y optan por fluorar agua con ciertas sales o tabletas en lugares específicos que lo requieran.

Estudios recientes han cuestionado la eficacia de la fluoración del agua potable en la reducción significativa de la caries, y sostienen que mejorar los hábitos de higiene y alimentación continúa siendo más efectivo para mantener una salud oral óptima (Whelton *et al.*, 2019).

EFFECTOS NEGATIVOS DEL EXCESO DE FLÚOR

La ingesta crónica de fluoruro en concentraciones elevadas desde la niñez provoca una serie de efectos adversos que abarcan desde la salud dental hasta el funcionamiento de diversos sistemas del cuerpo, como problemas en los sistemas reproductivo, renal, gastrointestinal, endocrino y dermatológico. Además, se ha observado un incremento en el número de fracturas óseas y cálculos renales como consecuencia de la exposición excesiva al flúor (Russell, 1951).



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 34. Díptico, fotografía digital, 2019.

Estudios científicos han revelado que el exceso de flúor puede tener diversos impactos perjudiciales en la salud. Se ha observado una disminución en las tasas de natalidad, así como en la función tiroidea y la tolerancia a la glucosa.

Además, se han reportado niveles más bajos de coeficiente intelectual en individuos expuestos a altas concentraciones de flúor. Asimismo, se ha asociado la exposición al flúor con problemas neurológicos y una disminución en las capacidades cognitivas (McKay, 1948).

La fluorosis esquelética es uno de los resultados más graves de la exposición prolongada a altos niveles de flúor. Una forma extremadamente severa de la fluorosis esquelética es conocida como fluorosis invalidante (*crippling skeletal fluorosis*, en inglés), la cual no solo afecta al sistema óseo, sino también al articular y, en casos extremos, al neurológico debido a la compresión de la médula espinal (Russell, 1951).

Una reacción de hipersensibilidad asociada a la exposición a compuestos fluorados se conoce como fluoroderma. Esta condición se manifiesta a través de lesiones pápulonodulares en la región perioral y la frente, que puede extenderse hacia cuello, tórax y dorso. En algunos casos se pueden presentar placas exudativas, nódulos y úlceras malignas fungiformes necróticas (Blasik, 1979).

CONCLUSIÓN

Es importante destacar que la ingesta de flúor debe ser cuidadosamente regulada para evitar efectos adversos y lograr un equilibrio entre los beneficios para la salud dental y los riesgos para la salud general. El flúor ha desempeñado un papel fundamental tanto en la prevención de la caries dental como en la generación de problemas de salud pública cuando su ingesta es excesiva. El enfoque actual se dirige hacia la administración controlada y efectiva del flúor, y reconoce que su uso adecuado puede ser beneficioso, pero requiere una consideración cuidadosa y una implementación responsable para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos.

R E F E R E N C I A S

- Dean H and Elvove E (1936). Some epidemiological aspects of chronic endemic dental fluorosis. *Am J Public Health Nations Health* 26(6):567-575.
- Ferrari L, Valencia-Moreno M and Bryan S (2005). Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relation with the evolution of the western margin of North America *BoI Soc Geol* 57(3):343-378.
- Gleeson T, Wada Y, Bierkens MF and van Beek LP (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature* 488:197-200.
- McKay FS (1948). Mass control of dental caries through the use of domestic water supplies containing fluorine. *Am J Pub Health* 38:828.



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2018.

McKay FS. (1952). The study of mottled enamel (dental fluorosis). *J Am Dent Assoc* 44(2):133-7.

Pini NIP, Sundfeld-Neto D, Aguiar FHB, Sundfeld RH, Martins LRM, Lovadino JR and Lima DANL (2015). Enamel microabrasion: an overview of clinical and scientific considerations. *World J Clin Cases* 16:34-41.

Russell AL and Elvove E (1951). Domestic water and dental caries. VII. A study of the fluoride-dental caries relationship in an adult population. *Public Health Rep* 66(43):1389-1401.

Shahroom NS, Mani G and Ramakrishnan M (2019). Interventions in management of dental fluorosis, an endemic disease: A systematic review. *J Family Med Prim Care* 8:3108-13.

Sharma S, Kumar V, Yadav KK, Gupta N and Verma C (2015). Long-term assessment of fly ash disposal on physico-chemical properties of soil. *Int J Curr Res Biosci Plant Biol* 2:105-110.

Whelton HP, Spencer AJ, Do LG and Rugg-Gunn AJ (2019). Fluoride revolution and dental caries: evolution of policies for global use. *J Dent Res* 98(8):837-846.

Marine Ortiz-Magdaleno
Amaury Pozos-Guillén
Facultad de Estomatología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
marine.ortiz@uaslp.mx