

Claudia Vázquez-Bojórquez ^{1a}, Sandra López-Verdín^{2b}, Rosina Villanueva-Arriaga^{3c}, Enrique Castañeda-Castaneira^{3d}, María Lilia Adriana Juárez-López^{4e}, Nelly Molina-Frechero^{3f}

Resumen

La cantidad de fluoruros en el agua en algunas regiones de México representa un problema de salud pública. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión sistemática de estudios originales que reportaran niveles de fluoruros en agua corriente y embotellada de la región norte y occidente de México. Esta revisión sistemática se elaboró utilizando el sistema PRISMA en las bases de datos de *PubMed*, *Scopus*, *Medigraphic* y *Scielo*. Se implementaron las palabras clave de *fluoride OR fluorosis AND water AND Mexico*, y se incluyeron y excluyeron registros de acuerdo con los criterios previamente establecidos. Fueron revisados aquellos artículos publicados entre el 1 de enero del 2010 y el 30 de marzo del 2021. Se identificaron 36 registros en total. La mayoría mostraban datos encontrados en la región occidente del país ($n = 23$) mientras que los restantes fueron realizados al norte. Ambas regiones se mostraron con rangos máximos y medias muestrales por encima de lo sugerido por la Organización Mundial de la Salud y los organismos reguladores nacionales. De acuerdo con los estudios aquí analizados en México, las regiones Norte y Occidente del país muestran una situación preocupante por los elevados niveles de fluoruros que reportan los autores en agua corriente y embotellada, los niveles se encuentran casi en su totalidad por encima de los recomendados a nivel nacional e internacional lo cual significa un problema de salud pública que requiere de atención.

Abstract

The amount of fluoride in water in some regions of Mexico represents a public health problem. The aim of this study was to conduct a systematic review of original studies that report fluoride levels in tap and bottled water from the northern and western regions of Mexico. A systematic review was conducted using the PRISMA method in *PubMed*, *Scopus*, *Medigraphic* and *Scielo* databases. The keywords *fluoride OR fluorosis AND water AND Mexico* were used for the search and the records found were included and excluded according to the previous established criteria. We reviewed data in articles published between January 1st, 2010 and March 30th, 2021. We identified a total of 36 records. Most showed data found in the western region ($n = 23$), while the rest reported data found in the north. Both regions reported maximum and mean sample ranges above those suggested by the World Health Organization and national regulations. According to the analyzed data, in Mexico, the northern and western regions of the country show a concerning situation due to the high levels of fluoride reported by many authors in tap and bottled water. Almost all authors reported data above those recommended for national and international regulations, which represent an important public health problem that requires attention.

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Maestría en Ciencias Odontológicas. Ciudad de México, México

²Universidad de Guadalajara, Instituto de Investigación en Odontología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud. Guadalajara, Jalisco, México

³Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Departamento de Atención a la Salud. Ciudad de México, México

⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Posgrado en Estomatología del Niño y el Adolescente. Ciudad de México, México

ORCID: [0000-0002-4097-8973^a](https://orcid.org/0000-0002-4097-8973), [0000-0002-8397-1720^b](https://orcid.org/0000-0002-8397-1720), [0000-0002-0552-0158^c](https://orcid.org/0000-0002-0552-0158), [0000-0002-4283-7306^d](https://orcid.org/0000-0002-4283-7306), [0000-0001-6470-3168^e](https://orcid.org/0000-0001-6470-3168), [0000-0002-0435-053X^f](https://orcid.org/0000-0002-0435-053X)

Palabras clave
Fluoruro de Sodio
Agua
México

Keywords
Sodium Fluoride
Water
Mexico

Fecha de recibido: 27/07/2021

Fecha de aceptado: 19/11/2021

Comunicación con:

Nelly Molina Frechero

 nmolina@correo.xoc.uam.mx

 55 3794 4666

Cómo citar este artículo: Vázquez-Bojórquez C, López-Verdín S, Villanueva-Arriaga R, Castañeda-Castaneira E, Juárez-López MLA, Molina-Frechero N. Fluoruros en agua de consumo al norte y occidente de México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2022;60(2):179-87.

Introducción

El consumo excesivo de fluoruros durante un tiempo prolongado se ha reportado como un problema de salud pública en muchas regiones en el mundo.¹ En la actualidad, los efectos más estudiados han sido principalmente referentes a alteraciones esqueléticas (fluorosis esquelética) y dentales (fluorosis dental); sin embargo, en los últimos años han resaltado reportes en los que se añaden efectos de la toxicidad de esta exposición prolongada e incluyendo a la lista efectos adversos a nivel celular y molecular que pueden inducir a alteraciones renales, neurológicas, endoteliales, gonadales, musculares, hepáticas, entre otras.^{1,2,3,4}

Está establecido que la fuente principal de ingesta de fluoruros en humanos es a través del agua de consumo,¹ y debido a que el flúor es uno de los contaminantes inorgánicos que se encuentra con más frecuencia y que ha sido descrito de forma distribuida de alrededor del mundo -principalmente en unidades geológicas por donde circula agua subterránea-, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que se trata de un problema de salud pública en México en donde existe regiones particulares con estas características.^{5,6,7}

Aunque en México se estima que la principal fuente de consumo de agua de los habitantes es el agua embotellada o de garrafón, la segunda fuente de consumo es el agua del grifo o la red pública de suministro de agua, la cual representa una fuente importante para los mexicanos.⁸ Cabe resaltar que alrededor del 39% del territorio se abastece de agua proveniente de acuíferos subterráneos, por lo que en muchas ocasiones el agua que consumen podría contener altos niveles de minerales.^{5,9,10}

El problema en México, según estudios recientes, se presenta principalmente en el Norte y Occidente del país, que constituyen las zonas con mayor riesgo, estimándose que alrededor de 20 millones de personas ingieren agua con concentraciones de flúor por encima de la sugerida por las normas nacionales e internacionales, resaltando estados como San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Jalisco, Chihuahua y Sonora.⁹

Debido entonces a las características geohidrológicas del agua de consumo y a la estimación que se ha visto en estudios previos, el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión sistemática de estudios originales que reporten niveles de fluoruros en agua corriente y embotellada al Norte y Occidente de México.

Material y métodos

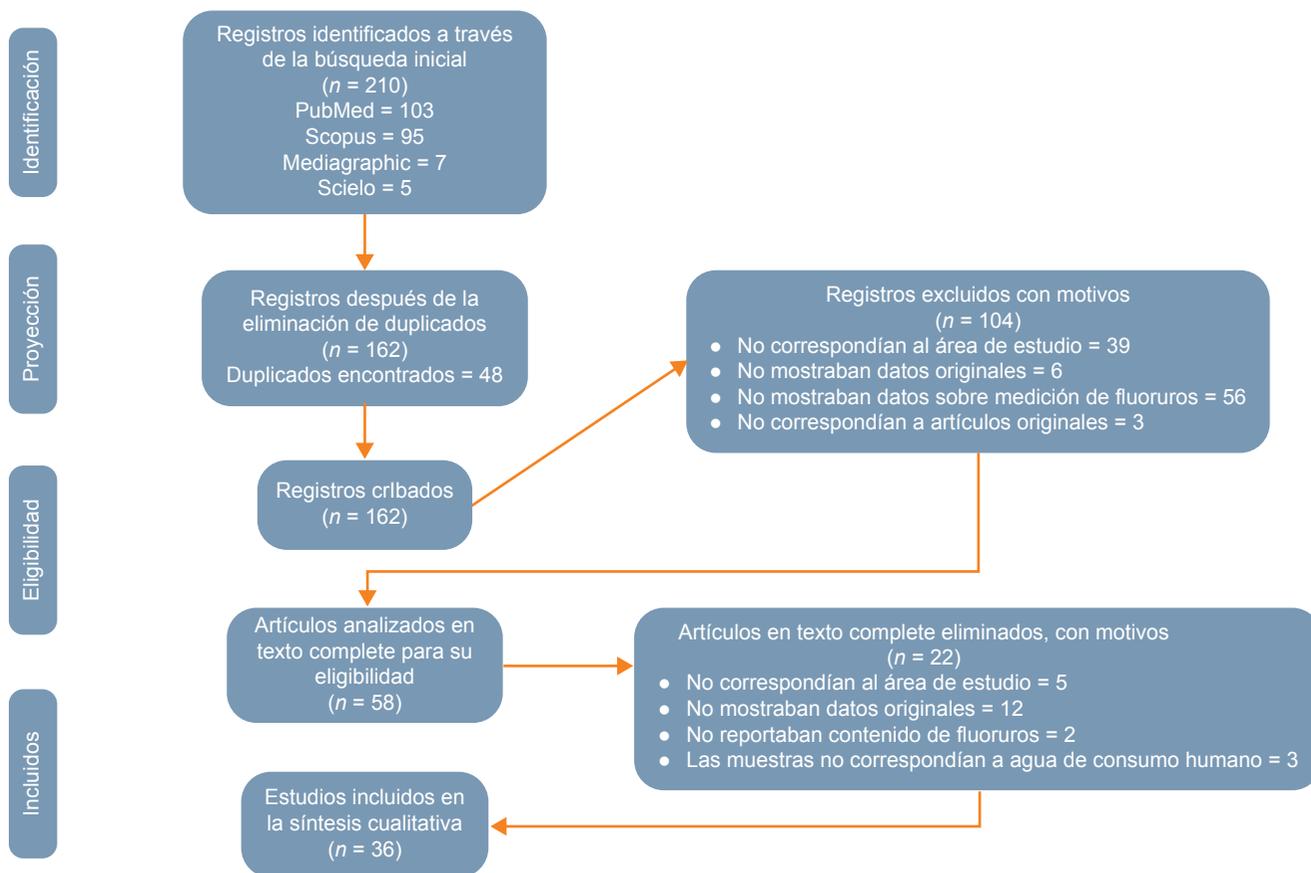
Se realizó una búsqueda en *PubMed*, *Scopus*, *Scielo* y *Medigraphic* de artículos originales disponibles entre el 1 de enero del 2010 y el 30 de marzo del 2021 en inglés o español. Los términos que se emplearon para la búsqueda fueron los siguientes: 'fluoride', 'fluorosis', 'water', 'Mexico' utilizando los boleanos de OR y AND. Se siguieron las recomendaciones PRISMA¹¹ en sentido de criterios de inclusión y elegibilidad (figura 1). Se utilizó el término 'fluorosis' solamente para obtener la concentración de fluoruros en agua en estudios sobre fluorosis dental en la zona. El trabajo fue realizado por dos revisores familiarizados con el tema, tanto en resúmenes como en textos completos por sección del esquema PRISMA. En cada uno de los registros arrojados se verificaron detalladamente los criterios de inclusión establecidos, los cuales incluían:

- Publicación en revistas revisadas por pares
- Adecuado establecimiento de los criterios de selección para sus muestras
- Las muestras debían ser de agua corriente, del grifo o embotellada
- El análisis de la muestra debía ser explicado y dirigido con un experimento aceptado
- Los resultados debían ser reportados en mg/L o ppm.

En la etapa de proyección y cribado de los estudios se tomó en cuenta la localización geográfica del muestreo en los estudios incluidos, y de acuerdo con la división geográfica de México al Norte del país se incluirían los estados de Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California Norte y Sur, Chihuahua, Sinaloa y Sonora, mientras que al Occidente se encontrarían los estados de Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí, Querétaro y Zacatecas.

Además, se evaluó el riesgo al sesgo en los estudios incluidos utilizando una herramienta basada en dominios que estimaban la calidad del estudio y que evaluaba el riesgo al sesgo en la selección de la muestra, en la información presentada, el análisis, la presentación de resultados y conflictos de interés dentro de los estudios incluidos¹² (cuadro I). Esta herramienta nos indicó que los registros incluidos en su mayoría se encontraban con una falta de actualización de bases teóricas debido a que muchas incluían referencias de más de 10 años de antigüedad para el momento de su publicación, por otro lado, existía una adecuada selección de la muestra, análisis y presentación de resultados, aunque la mayoría de ellos se encontraban

Figura 1 Esquema PRISMA para la búsqueda y selección de los artículos incluidos en la revisión sistemática



sin especificar la existencia de conflictos de interés, esto posiblemente debido a que la revista en la que fueron publicados no requería tal declaración.

Resultados

Fueron identificados 36 artículos entre el 1 de enero del 2010 y el 30 de marzo del 2021. La mayoría fueron publicados en los últimos cinco años ($n = 24$), mientras que la

menor cantidad se publicó antes del 2015 ($n = 12$). Un total de 14 estudios mostraron resultados de fluoruros únicamente para la región norte del país,^{13,14,15,16,17,18,20,21,22,23,24,25,27,28} mientras una mayor cantidad, en total 19 estudios, contenían resultados con muestras tomadas al occidente del país.^{5,25,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47} Hubo solamente 3 artículos que reportaron niveles para ambas regiones^{19,26,29} y, aunque no todos los estados mostraron estudios, hubo una importante concentración en ciertos estados, particularmente en Chihuahua y Durango al norte,

Cuadro I Dominios y criterios para la evaluación del riesgo al sesgo en los estudios incluidos

Dominio	Riesgo al sesgo cuando:
Sesgo en la selección	No existiera una explicación sobre la selección de la muestra No se explicara, con base en fundamentación teórica, la selección del tipo de muestra
Sesgo en la información	Falta de bases teóricas actualizadas (> 10 años de antigüedad) Carecieran de sentido para corroborar la información presentada
Sesgo en el análisis	Los métodos de análisis no estuvieran adecuadamente descritos Existieran modificaciones sobre el análisis en relación con los resultados obtenidos
Sesgo en la presentación de resultados	No existiera una presentación completa de los resultados, en relación con el objetivo de la investigación y los métodos Se presentarán únicamente los resultados que aparentan ser significativos
Conflictos de interés	Los autores declararan que existe un conflicto de interés

y Guanajuato y San Luis Potosí al occidente, los cuales muestran mayor cantidad de registros (figura 2). Un total de 35 artículos reportaron datos de agua corriente para beber, ya fuera del grifo, de pozo, embotellada o una combinación de estas, mientras que solamente un registro mostró resultados únicamente para agua embotellada.

Al norte del país, los niveles reportados fueron considerablemente más altos [máx: 8.41 mg/L (\bar{x} : 5.41 ± 1.70)] si los comparamos con los niveles reportados al Occidente [máx: 3.8 mg/L (\bar{x} : 1.63 ± 0.36)]. El estado que mostró la media muestral más alta fue Chihuahua que se encuentra al norte del país (cuadro II).

En la región norte del país, los rangos reportados por la totalidad de los registros sugieren que los niveles máximos de las muestras sobrepasan los niveles recomendados por la mayoría de las asociaciones (1.5 mg/L), caso similar a las medias reportadas, las cuales sugieren que solamente en uno de los registros se encuentran por debajo de estos.

Por otro lado, en la región Occidente del país los rangos reportados sugieren que las muestras, aunque pueden estar muy por debajo que los de la región norte, presentan situación similar, los máximos sobrepasan los niveles recomendados y las medias, aunque con niveles menores que 1.5 mg/L, la mayoría sobrepasan lo indicado para agua de consumo humano (0.7mg/L).⁴⁸

Figura 2 Número de artículos científicos reportados en la búsqueda en las diferentes zonas de la República Mexicana: Baja California Norte (1), Baja California Sur (1), Chihuahua (8), Durango (5). Estados del Occidente: Zacatecas (3); Jalisco (2); Aguascalientes (1); San Luis Potosí (7); Guanajuato (5).



Cuadro II Promedio de rangos y medias de fluoruro por entidad federativa, región y origen del agua

		Promedio de rango mínimo mg/L	Promedio de rango máximo mg/L	Media muestral mg/L
Entidad Federativa	Baja California	1.15	2.73	
	Chihuahua	0.83	4.87	6.54
	Durango	2.05	8.16	4.71
	Guanajuato	1.61	4.74	2.98
	Jalisco	0.31	6.92	3.80
	San Luis Potosí	1.18	3.84	3.01
	Zacatecas	0.85	4.59	1.97
Región	Norte	1.30	6.08	5.41
	Occidente	0.98	4.89	1.63
Origen del agua	De grifo	1.01	5.86	3.53
	De pozo	1.12	5.28	3.47
	Embotellada	0.55	5.76	3.95

Discusión

En la presente revisión encontramos que los niveles de fluoruro en agua corriente y embotellada al Norte y Occidente de México se encuentran elevados, en comparación con las recomendaciones nacionales e internacionales sobre el contenido de fluoruros en agua para beber (cuadro III).

La regulación mexicana que se encarga de establecer los límites permisibles de solutos, tanto orgánicos como inorgánicos, en el agua de consumo humano establece que para que esta se considere adecuada y bebible, no debe contener niveles por encima de 1.5 mg/L de fluoruros, sugiriendo que el agua embotellada no debería sobrepasar los 0.7 mg/L;^{48,49} sin embargo, el estudio de las concentraciones en el agua potable y, en general, el agua para beber ha sido un tema estudiado a profundidad en los últimos años, debido a las características geohidrológicas, particularmente al norte y occidente del país en donde el agua suele provenir de abastecimientos subterráneos caracterizados por su alto contenido mineral.⁵⁰

El estudio que presentamos aquí no difiere de esta realidad, pues de forma generalizada, tanto al norte como al occidente del país, existen zonas identificadas y bien definidas en las que el agua de consumo se encuentra por encima de estos niveles y que, incluso, ha provocado enfermedades endémicas relacionadas con esto.

El ejemplo más claro sucede al norte del país, en donde se dirigen estudios que evalúan el contenido de fluoruros y lo comparan con la presencia o severidad de fluorosis dental;¹⁸ debido a que en estados como Durango y Chihuahua la fluorosis dental se considera endémica, particularmente en zonas rurales, en donde el acceso a los servicios de atención es limitado. Cabe destacar que en esta región del país se han reportado hasta 9.23 mg/L de fluoruros en agua corriente,²⁹ lo cual es una característica preocupante y sugiere que los habitantes de este estado podrían estar expuestos a niveles de hasta 10 veces por encima de lo que se sugiere, lo que ha dado pie a estudiar, incluso, los efectos que podría tener esta exposición a nivel celular y sistémico.^{13,15,16,44}

Por otro lado, al Occidente del país se ha demostrado un particular interés sobre los niveles de fluoruro debido a su cercanía con la región volcánica de la Sierra Madre Occidental, la cual cuenta con características geohidrológicas particulares con respecto al contenido mineral. Se ha descrito el contenido mineral de esta zona volcánica tratando de explicar las fuentes geológicas que provocan estas características, se ha descrito que estos depósitos de fluoruro provienen principalmente de riolita localizada en el cinturón mineral que se ubica en esta zona,⁹ la mayoría de los

abastecimientos de agua en las zonas urbanas provienen de aguas subterráneas, lo cual los hace propensos a un consumo elevado de fluoruros y otros minerales.^{6,22}

La OMS⁷ también establece niveles de referencia sobre los cuales se sugiere que se basen los organismos nacionales, tomando en cuenta que estos niveles de referencia deberían estar adaptados según la región y el país, de acuerdo con las características geohidrológicas, exposición o problemas establecidos de la población, sin embargo, la normatividad mexicana ha decidido apegarse a este nivel de 1.5 mg/L sin adaptar sus límites permisibles a las necesidades de la población.

Tanto al norte como al occidente de México los niveles son preocupantes si tomamos de referencia lo sugerido por cualquier organismo nacional o internacional. Cabe mencionar que el análisis de fluoruros en el agua corriente no es exigido por los organismos gubernamentales para aquellos que distribuyen agua en el país.

Por otro lado, si hablamos de las aguas embotelladas, el estudio que destaca es el dirigido por De la Cruz Cardoso *et al.*²⁶ que, aunque no se encuentra publicado en una revista con impacto internacional, en 2013 analizó diversas marcas alrededor de México. Sus muestras se encuentran comparadas con la normatividad vigente en ese año y se reporta que, aunque el 95% de los datos obtenidos se encontraban en niveles admisibles, existían estados como Colima (al occidente del país) y Durango (al norte) en donde los niveles de estas aguas embotelladas de marca registrada excedían los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana de ese año.⁵¹

También es importante mencionar que el estudio de fluoruros en México ha ido de la mano con el estudio de la presencia de arsénico en las mismas regiones, y su co-exposición que puede estar asociada a diversos problemas de salud graves y que, se ha sugerido, se relacionan con riesgo a enfermedades renales y hasta cáncer.^{13,16,21,22,37,38,44}

Como hemos mencionado anteriormente, estas zonas de mayor riesgo corresponden a los estados localizados dentro del cinturón de la Sierra Madre Occidental, debido a que esta región volcánica provoca una alta concentración de minerales en el agua, esta situación debería tener mayor atención por los organismos nacionales donde estas altas exposiciones de fluoruros y otros minerales como el arsénico provocan múltiples problemas a la salud.

Los artículos incluidos en esta revisión sugieren un panorama en el que la totalidad de las muestras se toman de una fuente de consumo de agua para los habitantes de la región, aunque no todos toman agua directamente del

Cuadro III Comparación de los rangos y medias encontradas en los artículos incluidos con los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (1.5 mg/L).

Autores	Año	Estado	Origen	Rango mg/L	Media mg/L
Jarquín-Yañez <i>et al.</i> ³⁰	2021	San Luis Potosí	Del grifo y embotellada	-	2.36 ^a ▲ 0.14 ^b ▼
Fernández-Macías <i>et al.</i> ³¹	2020	San Luis Potosí	Del grifo	0.20-3.50▲	1.00▼
Castañeda <i>et al.</i> ³²	2020	Guanajuato	Pozo	-	4.08▲
Molina-Frechero <i>et al.</i> ¹³	2020	Durango	Pozo	7.87-9.23▲	8.41▲
Villela-Martínez <i>et al.</i> ³³	2020	San Luis Potosí	Pozo	0.49-3.8▲	-
Morales-Arredondo <i>et al.</i> ³⁴	2020	Guanajuato	Pozo	0.51-7.1▲	1.61▲
López-Guzmán <i>et al.</i> ¹⁴	2019	Durango	Pozo	-	4.18▲
Jiménez-Córdova <i>et al.</i> ¹⁵	2019	Chihuahua	Del grifo	-*	-*
Valdez-Jiménez <i>et al.</i> ⁵	2019	Jalisco	Del grifo	01-11.0▲	3.8▲
Jiménez-Córdova <i>et al.</i> ¹⁶	2018	Chihuahua	Del grifo	0.1-5.1▲	-
Mahlknecht <i>et al.</i> ¹⁷	2018	Baja California	Pozo	< 0.5-2.2▲	-
Jarquín-Yañez <i>et al.</i> ³⁵	2018	San Luis Potosí	Del grifo y embotellada	-	4.56 ^a ▲ 0.47 ^b ▼
Knappett <i>et al.</i> ³⁶	2018	Guanajuato	Pozo	0.2-15.5▲	1.3▼
Morales-Arredondo <i>et al.</i> ³⁷	2018	Guanajuato	Pozo	0.51-3.0▲	-
Morales-Arredondo <i>et al.</i> ³⁸	2018	Guanajuato	Pozo	0.35-1.62▲	-
Luna <i>et al.</i> ³⁹	2018	San Luis Potosí	Pozo	2.56-3.81▲	-
Molina-Frechero <i>et al.</i> ¹⁸	2017	Durango	Pozo	-	5.41▲
Jiménez <i>et al.</i> ¹⁹	2017	Durango Jalisco	Pozo y embotellada	0.5-12.5 ^a ▲ 0.01-7.9 ^b ▲	-
Rentería-Villalobos <i>et al.</i> ²⁰	2017	Chihuahua	Pozo	1.05-2.38▲	1.27▼
Navarro <i>et al.</i> ⁴⁰	2017	Zacatecas	Pozo	0.35-3.6▲	1.16▼
Martínez-Acuña <i>et al.</i> ⁴¹	2016	Zacatecas	Pozo	0.4-3.0▲	1.09▼
Escobar-García <i>et al.</i> ⁴²	2016	San Luis Potosí	Del grifo	3.9-5.3▲	4.13▲
Guzmán A <i>et al.</i> ⁴³	2016	Guanajuato	Pozo	-	2.5▲
Navarro-Solís <i>et al.</i> ⁴⁴	2016	Zacatecas	Pozo	0.4-2.2▲	0.949▼
González-Horta <i>et al.</i> ²¹	2015	Chihuahua	Pozo	0.05-11.8▲	-
Reyes-Gómez <i>et al.</i> ²²	2015	Chihuahua	Pozo	1.1-6.8▲	-
Morales <i>et al.</i> ⁴⁵	2015	San Luis Potosí	Pozo	0.005-2.13▲	-
Wurl <i>et al.</i> ²³	2014	Baja California	Pozo	1.79-3.25▲	-
Molina-Frechero <i>et al.</i> ²⁴	2013	Durango	Pozo	2.22-7.23▲	4.31▲
Reyes-Gómez <i>et al.</i> ²⁵	2013	Chihuahua	Pozo	0.92-3.22▲	2.77▲
De la Cruz-Cardoso <i>et al.</i> ²⁶	2013	México	Embotellada	1.06-4.47 ^N ▲ > 0.5-2.17 ^O ▲	-
Rubio-Arias <i>et al.</i> ²⁷	2012	Chihuahua	Pozo	0.72-3.38▲	-
Esteller <i>et al.</i> ⁴⁶	2012	San Luis Potosí Guanajuato	Pozo	0.02-4.3▲	-
Nevárez <i>et al.</i> ²⁸	2011	Chihuahua	Pozo	-	11.8▲
Rocha-Amador <i>et al.</i> ²⁹	2011	Durango San Luis Potosí	Del grifo y embotellada	1.35-11.1 ^N ▲ 0.34-1.01 ^O ▼	8.19 ^N ▲ 0.67 ^O ▼
Salgado-Bustamante <i>et al.</i> ⁴⁷	2010	San Luis Potosí	Del grifo	1.09-4.02▲	-

^a Agua Del grifo^b Agua embotellada^N Norte^O Occidente

▲ > 1.5 mg/L de fluoruro

▼ < 1.5 mg/L de fluoruro

pozo, la mayoría de los estudios que utilizan agua del grifo o embotellada pasaron por procesos metodológicos en los que los participantes proporcionaban una muestra de agua de su propio consumo o domicilio.

Aunque no en todos los estados del norte y occidente de México existen reportes publicados dentro de estas bases de datos, los que se encuentran en estos registros se consideran de particular importancia por su ubicación geográfica, ya que en su mayoría se localizan dentro de una zona volcánica importante en el país, caracterizada por su alto contenido mineral que se extiende desde la región central del norte del país, hasta el centro-occidente.

Es importante tomar en cuenta la exposición de fluoruros en estas regiones al momento de dirigir estrategias sobre salud sistémica y salud oral en sus poblaciones, pues existe el Programa Nacional de Salud el cual recomienda el consumo de sal fluorurada para la prevención de la caries dental, la cual debería ser controlada en estas regiones, ya que esa medida exacerba la toxicidad de estos minerales.

Esta revisión ofrece un panorama más claro sobre los niveles de fluoruros a los que están expuestos los habitantes de las zonas con más riesgo de exposición en México, pues analiza y describe la situación particular de los estados con mayor riesgo.

Sin embargo, estamos conscientes de que el presente estudio tiene algunas limitaciones, debido a que existen registros que no cuentan con muestras amplias que describan por completo al estado y que sean suficientes para establecer un nivel exacto de fluoruros en la región, además, debido a la naturaleza del problema, en muchos de los

casos los reportes de estos niveles no llegan a ser publicados por los autores, por lo que es importante hacer énfasis en la relevancia del tema en el sentido de salud pública, sus posibles efectos tóxicos y su relación con las enfermedades endémicas de la región.

Conclusiones

El contenido de fluoruros en el agua corriente y embotellada en México, particularmente en la región norte y occidente, representa un problema de salud pública, pues en la mayoría de los reportes de la presente revisión sistemática, los niveles se encuentran por encima de 1.5 mg/L.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en su Programa Nacional de Posgrados de Calidad, a la Maestría en Ciencias Odontológicas y a los profesoras y profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana que formaron parte del proyecto.

El presente trabajo se realizó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), apoyo No. 1014254/PNPC-CONACYT PFP 006077.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno que tuviera relación con este artículo.

Referencia

1. Barbier O, Arreola-Mendoza L, Del Razo LM. Molecular mechanisms of fluoride toxicity. *Chem Biol Interact.* 2010; 188(2):319-33. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2010.07.011>
2. Zuo H, Chen L, Kong M, Qiu KM, Lü P, Yang Y, et al. Toxic effects of fluoride on organisms. *Life Sci.* 2018;198:18-24. Doi: 10.1016/j.lfs.2018.02.001
3. Choubisa SL, Choubisa D. Status of industrial fluoride pollution and its diverse adverse health effects in man and domestic animals in India. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016; 23(8):7244-54. Doi: 10.1007/s11356-016-6319-8
4. Araujo TT, Barbosa-Silva Pereira HA, Dionizio A, Sanchez CDC, de Souza-Carvalho T, da Silva-Fernandes M, et al. Changes in energy metabolism induced by fluoride: Insights from inside the mitochondria. *Chemosphere.* 2019;236: 124357. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124357
5. Valdez-Jiménez L, Calderón-Hernández J, Córdova-Atilano RI, Sandoval-Aguilar SY, Alegría-Torres JA, Costilla-Salazar R, et al. [Level of exposure to fluorides by the consumption of different types of milk in residents from an area of Mexico with endemic hydrofluorosis]. *An Pediatr.* 2019;90(6):342-8. Doi: 10.1016/j.anpede.2019.04.001
6. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality. 4ta ed. Suiza: WHO Press; 2011. (Consultado el 25/8/2020) Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf
7. Whelton AJ, McMillan L, Connell M, Kelley KM, Gill JP, White KD, et al. Residential tap water contamination following the freedom industries chemical spill: perceptions, water quality, and health impacts. *Environ Sci Tech.* 2015;49(2):813-23. Doi:10.1021/es5040969
8. Espinosa-García AC, Díaz-Ávalos C, González-Villarreal FJ, Val-Segura R, Malvaez-Orozco V, Mazari-Hiriart M. Drinking Water Quality in a Mexico City University Community: Perception and Preferences. *EcoHealth.* 2015;12(1):88-97. Doi: 10.1007/s10393-014-0978-z
9. Alarcón-Herrera MT, Martín-Alarcon DA, Gutiérrez M, Reynoso-Cuevas L, Martín-Domínguez A, Olmos-Márquez MA, et al. Co-occurrence, possible origin, and health-risk

- assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *Sci Total Environ*. 2020;698:134168. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134168.
10. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estadísticas del Agua en México Ciudad de México; 2017. (Consultado el 15/9/2020) Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
 11. Moher D, Shamseer L, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Review*. 2015;4(1), 1-9. Doi: 10.1371/journal.pmed.1000097
 12. Boutron I, Pagina MJ, Higgins JPT, Altman DG, Andreas L, Hrobjartsson A. Considering bias and conflicts of interest among the included studies. In: Group. TCBM, editor. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 60* (updated July 2019): John Wiley & Sons Ltd; 2019. p. 177-99. Doi: 10.1002/9781119536604.ch7
 13. Molina-Frechero N, Nevarez-Rascón M, Tremillo-Maldonado O, Vergara-Onofre M, Gutiérrez-Tolentino R, Gaona E, et al. Environmental Exposure of Arsenic in Groundwater Associated to Carcinogenic Risk in Underweight Children Exposed to Fluorides. *Int J Environ Res Pub Health*. 2020;17(3):724. Doi: 10.3390/ijerph17030724
 14. López-Guzmán M, Alarcón-Herrera MT, Irigoyen-Campuzano JR, Torres-Castañón LA, Reynoso-Cuevas L. Simultaneous removal of fluoride and arsenic from well water by electrocoagulation. *Sci Total Environ*. 2019;678:181-7. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.400
 15. Jiménez-Córdova MI, González-Horta C, Ayllón-Vergara JC, Arreola-Mendoza L, Aguilar-Madrid G, Villareal-Vega EE, et al. Evaluation of vascular and kidney injury biomarkers in Mexican children exposed to inorganic fluoride. *Environ Res*. 2019;169:220-8. Doi: 10.1016/j.envres.2018.10.028
 16. Jiménez-Córdova MI, Cárdenas-González M, Aguilar-Madrid G, Sanchez-Peña LC, Barrera-Hernández Á, Domínguez-Guerrero IA, et al. Evaluation of kidney injury biomarkers in an adult Mexican population environmentally exposed to fluoride and low arsenic levels. *Tox App Pharm*. 2018;352:97-106. Doi: 10.1016/j.taap.2018.05.027
 17. Mählknecht J, Daessle LW, Esteller MV, Torres-Martínez JA, Mora A. Groundwater flow processes and human impact along the arid US-Mexican border, evidenced by environmental tracers: The case of Tecate, Baja California. *Int J Environ Res Pub Health*. 2018;15(5):887. Doi: 10.3390/ijerph15050887
 18. Molina-Frechero N, Nevarez-Rascón M, Nevarez-Rascón A, González-González R, Irigoyen-Camacho ME, Sánchez-Pérez L, et al. Impact of dental fluorosis, socioeconomic status and self-perception in adolescents exposed to a high level of fluoride in water. *Int J Environ Res Pub Health*. 2017;14(1):73. Doi: 10.3390/ijerph14010073
 19. Jiménez LV, Guzmán ODL, Flores MC, Costilla-Salazar R, Hernández JC, Contreras YA, et al. In utero exposure to fluoride and cognitive development delay in infants. *Neurotoxicology*. 2017;59:65-70. Doi: 10.1016/j.neuro.2016.12.011
 20. Rentería-Villalobos M, Covarrubias-Muñoz A, Pinedo-Álvarez A, Manjón-Collado G. Hydrochemistry and 222Rn Concentrations in Spring Waters in the Arid Zone El Granero, Chihuahua, Mexico. *Geosciences*. 2017;7(1):12. Doi: 10.3390/geosciences7010012
 21. González-Horta C, Ballinas-Casarrubias L, Sánchez-Ramírez B, Ishida MC, Barrera-Hernández A, Gutiérrez-Torres D, et al. A concurrent exposure to arsenic and fluoride from drinking water in Chihuahua, Mexico. *Int J Environ Pub Health*. 2015;12(5):4587-601. Doi: 10.3390/ijerph120504587
 22. Reyes-Gómez VM, Alarcón-Herrera MT, Gutiérrez M, López DN. Arsenic and fluoride variations in groundwater of an endorheic basin undergoing land-use changes. *Arch Environ Cont Tox*. 2015;68(2):292-304. Doi: 10.1007/s00244-014-0082y
 23. Wurl J, Mendez-Rodríguez L, Acosta-Vargas B. Arsenic content in groundwater from the southern part of the San Antonio-El Triunfo mining district, Baja California Sur, Mexico. *J Hydrol*. 2014;518:447-59. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.009
 24. Molina-Frechero N, Sánchez-Pérez L, Castañeda-Castaneira E, Oropeza-Oropeza A, Gaona E, Salas-Pacheco J, et al. Drinking water fluoride levels for a city in northern Mexico (Durango) determined using a direct electrochemical method and their potential effects on oral health. *Sci World J*. 2013;2013:186392. Doi: 10.1155/2013/186392
 25. Reyes-Gómez VM, Alarcón-Herrera MT, Gutiérrez M, López DN. Fluoride and arsenic in an alluvial aquifer system in Chihuahua, Mexico: contaminant levels, potential sources, and co-occurrence. *Wat Air Soil Poll*. 2013;224(2):1433. Doi: 10.1007/s11270-013-1433-4
 26. De la Cruz-Cardoso D, Chaires IC, Mejía MA, Cervantes Sandoval A, Bolaños PP. Análisis de la concentración de fluoruro en aguas embotelladas de diferentes entidades federativas de la República Mexicana. *Rev ADM*. 2013;70(2):81-90.
 27. Rubio-Arias H, Contreras-Caraveo M, Quintana RM, Saucedo-Teran RA, Pinales-Munguía A. An overall water quality index (WQI) for a man-made aquatic reservoir in Mexico. *Int J Environ Pub Health*. 2012;9(5):1687-98. Doi: 10.3390/ijerph9051687
 28. Nevárez LM, Casarrubias LB, Canto OS, Celzard A, Fierro V, Gómez RI, et al. Biopolymers-based nanocomposites: Membranes from propionated lignin and cellulose for water purification. *Carbohydrate Polymers*. 2011;86(2):732-41. Doi: 10.1016/j.carbpol.2011.05.014
 29. Rocha-Amador DO, Calderón J, Carrizales L, Costilla-Salazar R, Pérez-Maldonado IN. Apoptosis of peripheral blood mononuclear cells in children exposed to arsenic and fluoride. *Environ Tox Pharm*. 2011;32(3):399-405. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.08.004>
 30. Jarquin-Yañez L, Calderon-Hernandez J, Gonzalez L, Molina-Frechero N, Mejia-Saavedra JJ. Urinary fluoride and micronutrients intake in children from San Luis Potosí, Mexico. *Int J Environ Health Res*. 2021. Doi: 10.1080/09603123.2021.1878115
 31. Fernández-Macias JC, Ochoa-Martínez AC, Orta-García ST, Varela-Silva JA, Pérez-Maldonado IN. Probabilistic human health risk assessment associated with fluoride and arsenic co-occurrence in drinking water from the metropolitan area of San Luis Potosí, Mexico. *Environ Monitor Assess*. 2020;192(11):1-13. Doi: 10.1007/s10661-020-08675-7
 32. Castañeda LF, Coreño O, Nava JL, Carreño G. Removal of fluoride and hydrated silica from underground water by electrocoagulation in a flow channel reactor. *Chemosphere*. 2020;244: 125417. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125417
 33. Villela-Martínez DE, Leyva-Ramos R, Aragón-Piña A, Navarro-Tovar R. Arsenic Elimination from Water Solutions by Adsorption on Bone Char. Effect of Operating Conditions and Removal from Actual Drinking Water. *Water Air Soil Poll*. 2020;231:1-13. Doi: 10.1007/s11270-020-04596-w

34. Morales-Arredondo JI, Hernández MAA, Ortega-Gutiérrez JE, Flores-Ocampo IZ, Flores-Vargas R. Evaluation of the carbon dioxide behavior in a thermal aquifer located at Central Mexico and its relation to silicate weathering. *Int J Environ Sci Tech.* 2020;1-20. Doi: 10.1007/s13762-020-02683-3
35. Jarquín-Yañez L, Alegría-Torres JA, Castillo CG, de Jesús Mejía-Saavedra J. Dental fluorosis and a polymorphism in the COL1A2 gene in Mexican children. *Arch Oral Biol.* 2018; 96:21-5. Doi: 10.1016/j.archoralbio.2018.08.010
36. Knappett PSK, Li Y, Hernandez H, Rodríguez R, Aviles M, Deng C, et al. Changing recharge pathways within an intensively pumped aquifer with high fluoride concentrations in Central Mexico. *Sci Total Environ.* 2018;622:1029-45. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.031
37. Morales-Arredondo JI, Armienta MA, Rodríguez R. Estimación de la exposición a elevados contenidos de fluoruro en agua potable en distintas comunidades de Guanajuato, México. *Tec Cienc Agua.* 2018;9(3):156-79. Doi: 10.24850/j-tyca-2018-03-07
38. Morales-Arredondo JI, Esteller-Alberich MV, Hernández MAA, Martínez-Florentino TAK. Characterizing the hydrogeochemistry of two low-temperature thermal systems in Central Mexico. *J Geochem Exp.* 2018;185:93-104. Doi: 10.1016/j.gexplo.2017.11.006
39. Luna J, Martínez J, Montero C, Muñoz C, Ortiz J, Gonzalez G, et al. Defluoridation of groundwater in central Mexico by electrocoagulation. *Fluoride.* 2018;51(1):34-43.
40. Navarro O, González J, Júnez-Ferreira HE, Bautista CF, Cardona A. Correlation of Arsenic and Fluoride in the groundwater for human consumption in a semiarid region of Mexico. *Procedia Engeneer.* 2017;186:333-40. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.259
41. Martínez-Acuña MI, Mercado-Reyes M, Alegría-Torres JA, Mejía-Saavedra JJ. Preliminary human health risk assessment of arsenic and fluoride in tap water from Zacatecas, México. *Environ Mont Assess.* 2016;188(8):476. Doi: 10.1007/s10661-016-5453-6
42. Escobar-García D, Mejía-Saavedra J, Jarquín-Yañez L, Molina-Frechero N, Pozos-Guillén A. Collagenase 1A2 (COL 1A2) gene A/C polymorphism in relation to severity of dental fluorosis. *Comm Dent Oral Epidem.* 2016;44(2):162-8. Doi: 10.1111/cdoe.12201
43. Guzmán A, Nava JL, Coreño O, Rodríguez I, Gutiérrez S. Arsenic and fluoride removal from groundwater by electrocoagulation using a continuous filter-press reactor. *Chemosphere.* 2016; 144:2113-20. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.10.108
44. Navarro-Solis O, González Trinidad J, Júnez-Ferreira HE, Cardona A, Bautista Capetillo CF. Integrative methodology for the identification of groundwater flow patterns: Application in a semi-arid region of Mexico. *Appl Ecol Environ Res.* 2016; 14:645-66. Doi: 10.15666/aeer/1404_645666
45. Morales I, Villanueva-Estrada RE, Rodríguez R, Armienta MA. Geological, hydrogeological, and geothermal factors associated to the origin of arsenic, fluoride, and groundwater temperature in a volcanic environment "El Bajío Guanajuatense", Mexico. *Environ Earth Sci.* 2015;74(6):5403-15. Doi: 10.1007/s12665-015-4554-9
46. Esteller MV, Rodríguez R, Cardona A, Padilla-Sánchez L. Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. *Environ Mont Assess.* 2012;184(9):5725-41. Doi: 10.1007/s10661-011-2376-0
47. Salgado-Bustamante M, Ortiz-Pérez MD, Calderón-Aranda E, Estrada-Capetillo L, Niño-Moreno P, González-Amaro R, et al. Pattern of expression of apoptosis and inflammatory genes in humans exposed to arsenic and/or fluoride. *Sci Total Environ.* 2010;408(4):760-7. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.11.016
48. Secretaría de Salud. NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. (Consultado el 08/8/2020) Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015
49. Secretaría de Salud. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, «SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION». (Consultado el 08/8/2020) Disponible: https://www.pediatrica.gob.mx/archivos/burbuja/13.4_NOM-127-SSA1-1994_Salud_Ambiental_Agua_limite_permisibles_de_calidad.pdf
50. Jiménez LV, Hernández JC, Atilano RIC, Aguilar SYS, Torres JAA, Salazar RC, et al. Level of exposure to fluorides by the consumption of different types of milk in residents from an area of Mexico with endemic hydrofluorosis. *Ann Ped.* 2019; 90(6):342-8. Doi: 10.1016/j.anpede.2019.04.001
51. Secretaría de Salud. NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel (Consultado el 20/4/2021) Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/201ssa12.html>