



XLIV

**Sonrisas marcadas:
fluorosis dental en
escolares expuestos a
aguas subterráneas de Ica**

José Duarte Quiñones Lozano

Sonrisas marcadas: fluorosis dental en escolares expuestos a aguas subterráneas de Ica

José Duarte Quiñones Lozano

RESUMEN

La fluorosis dental afecta a siete de cada diez escolares urbanos de Ica, con prevalencia que oscila entre 52 % y 91 % y se incrementa proporcionalmente a las concentraciones naturales de flúor en el agua subterránea, superando el umbral de riesgo de la OMS. Esta revisión narrativa integra 14 estudios locales y confirma que la sobre-explotación del acuífero, la ausencia de tratamiento de desfluoración y la menor capacidad adquisitiva para consumir agua embotellada potencian la exposición infantil. La correlación dosis-respuesta ($r = 0,82$) valida la geoquímica como determinante principal y convierte a la FD en marcador de inequidad sanitaria. Intervenciones intersectoriales —plantas de ósmosis inversa, vigilancia química bimestral y educación para el consumo de agua segura— son urgentes para reducir la carga estética y psicosocial en más de 60 000 menores.

Palabras clave: fluorosis dental, agua subterránea, escolares, Ica, desfluoración.

ABSTRACT

Dental fluorosis affects seven out of ten urban schoolchildren in Ica, with a prevalence ranging from 52% to 91% that increases proportionally with natural fluoride

concentrations in groundwater, exceeding the WHO risk threshold. This narrative review integrates 14 local studies and confirms that overexploitation of the aquifer, the lack of defluoridation treatment, and reduced purchasing power for bottled water exacerbate childhood exposure. The dose-response correlation ($r = 0.82$) validates geochemistry as the main determinant and establishes dental fluorosis as a marker of health inequity. Intersectoral interventions—reverse osmosis plants, bimonthly chemical monitoring, and education on safe water consumption—are urgently needed to reduce the aesthetic and psychosocial burden on more than 60,000 children.

Keywords: dental fluorosis, groundwater, schoolchildren, Ica, defluoridation.

INTRODUCCIÓN

La fluorosis dental (FD) constituye hoy una de las enfermedades cosméticas más comunes en la infancia y, a nivel mundial, afecta a una de cada cuatro personas expuestas a concentraciones de flúor superiores a $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ en el agua de bebida (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019). En América Latina, la heterogeneidad geológica y la sobre-explotación de acuíferos costeros han convertido a la FD en un marcador ambiental de riesgo para más de cinco millones de escolares que residen en zonas volcánicas o evaporíticas (Saldarriaga et al., 2021). A diferencia de la caries, la FD es irreversible; genera impactos psicosociales, disminuye la calidad de vida relacionada con la salud oral y aumenta los costos futuros de rehabilitación estética, lo que la posiciona como problema de salud pública cuando su prevalencia supera el 40 % (Valadez et al., 2009).

El departamento de Ica, en la costa sur de Perú, ilustra con crudeza este escenario. Sus acuíferos aluviales y costeros, alimentados por la descarga de la cordillera Occidental —rica en tobas volcánicas y yesos evaporíticos—, presentan valores naturales de flúor que oscilan entre $1,8$ y $4,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Ministerio de Salud del Perú, 2020). Estas cifras duplican el umbral de $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ recomendado por la OMS para climas cálidos y sobrepasan el límite peruano de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ establecido en la RM N° 015-2017-SENAMHI. La contradicción normativa se agrava por la ausencia de sistemas centralizados de desfluoración; en la práctica, cerca del 70 % del agua urbana de Ica proviene de pozos municipales sin tratamiento específico, situación que convierte a la población infantil en la cohorte más expuesta del país (Gutiérrez & Gómez, 2021).

A escala regional, la evidencia es aún fragmentaria. Estudios puntuales en Colombia, Ecuador y México han demostrado que la FD alcanza prevalencias de 52 %–78 % en localidades con acuíferos volcánicos y niveles de flúor $\geq 2 \text{ mg L}^{-1}$ (Ortega et al., 2025; Rivera et al., 2019). En Ica, investigaciones independientes reportan cifras similares, pero la dispersión metodológica —diferentes índices diagnósticos, rangos de edad y fuentes de agua— impide comparaciones válidas y limita la toma de decisiones sanitarias. Además, la mayoría de los reportes locales permanecen confinados a tesis o memorias de alcaldía, sin trascender a la literatura arbitrada, lo que profundiza la brecha de información.

Esta falta de síntesis es crítica: sin un panorama claro de la carga de enfermedad, resulta imposible dimensionar el daño, priorizar intervenciones de desfluoración o diseñar mensajes de riesgo adecuados para las familias. Por ello, el presente trabajo se propone responder: ¿Cuál es la prevalencia de fluorosis dental en escolares de 6 a 15 años que viven en zonas urbanas de Ica y están expuestos a aguas subterráneas naturalmente fluoradas? Responder a esta pregunta permitirá, por primera vez, disponer de una línea base regional para la planificación de políticas de salud oral, ambiental y de infraestructura hídrica que protejan la sonrisa —y el futuro— de más de 60 000 escolares icaqueños.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión narrativa siguiendo los lineamientos de Ferrari et al. (2022) para síntesis descriptiva de evidencia heterogénea en salud ambiental. El objetivo fue identificar, seleccionar y resumir los estudios que hayan estimado la prevalencia de fluorosis dental (FD) en escolares de 6 a 15 años residentes en zonas urbanas del departamento de Ica que consumen agua subterránea con flúor natural.

Fuentes de información

Se exploraron seis bases de datos y repositorios electrónicos: LILACS, SciELO, Redalyc, Google Scholar y los repositorios institucionales de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga (UNICA) y la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Además, se examinó la Biblioteca Digital del Congreso de la República del Perú y la plataforma del Sistema Nacional de Información de Salud (SINIS) en busca de informes técnicos no publicados. El cruce de referencias (“snowballing”) se aplicó a los artículos recuperados para ampliar la sensibilidad (Greenhalgh & Peacock, 2019).

Estrategia de búsqueda

Se empleó un protocolo descriptivo combinando descriptores en español e inglés controlados (DeCS y MeSH) y términos libres:

("fluorosis dental" OR "dental fluorosis") AND ("Ica" OR "Ica-Peru") AND ("escolares" OR "schoolchildren") AND ("prevalencia" OR "prevalence") AND ("agua subterránea" OR "groundwater").

La misma cadena se adaptó para cada base mediante el uso de comodines y filtros de fecha (enero 2000 – diciembre 2023). En Google Scholar se avanzó hasta la página 20 de resultados para minimizar el sesgo de visibilidad (Haddaway et al., 2022).

Criterios de inclusión

Población: niños y niñas de 6-15 años que asistan a instituciones educativas de zonas urbanas del departamento de Ica.

Diseño: estudios transversales, encuestas de salud oral, monitoreos municipales o tesis de pre- y posgrado.

Exposición: consumo de agua proveniente de pozos o reservorios subterráneos sin tratamiento de desfluoración.

Outcome: prevalencia de FD medida con el índice Dean o el índice TF (Thylstrup-Fejerskov).

Periodo: publicados entre 2000 y 2023 en español o inglés.

Criterios de exclusión

Estudios realizados en localidades rurales o fuera del departamento de Ica.

Población fuera del rango etario (escolares).

Fluosis del esqueleto o fluorosis industrial.

Ensayos clínicos o intervenciones experimentales con flúor.

Artículos de opinión, editoriales o cartas al editor.

Selección de estudios

Los registros se importaron a Zotero 6.0 y se deduplicaron. Dos revisores (J.A.C.

y M.L.R.) evaluaron títulos y resúmenes de forma independiente; los conflictos se resolvieron por consenso y, de ser necesario, con un tercer revisor (R.H.B.). La reproducibilidad inter-observador en la fase de selección fue alta ($\kappa = 0,84$).

Extracción de datos

Se diseñó una ficha codificada en Excel que incluyó: autor(es), año de publicación, tipo de documento, distrito urbano, tamaño muestral, rango de edad, sexo, fuente de agua, rango de concentración de flúor (mg L^{-1}), prevalencia total de FD (índice Dean ≥ 1) y distribución por grado (muy leve, leve, moderada, severa), así como medidas de asociación reportadas (odds ratio, IC 95 %). Cuando los estudios no explicitaban el nivel de flúor, se contactó a los autores o se recurrió al reporte municipal complementario (DIGESA, 2021).

Evaluación de calidad

Aunque las revisiones narrativas no exigen escalas formales, se verificó la calidad metodológica mediante los diez criterios del STROBE adaptados a estudios transversales (von Elm et al., 2008). Se priorizó la integridad del muestreo, la validez del examen clínico y el control de sesgo de selección.

Síntesis de la información

Dada la heterogeneidad poblacional y metodológica, se optó por una síntesis narrativa agrupando los resultados por distrito urbano (Ica, Subtanjalla, La Tinguiña, Parcona) y por estratos de exposición: baja ($< 1,5 \text{ mg L}^{-1}$), media ($1,5\text{-}2,5 \text{ mg L}^{-1}$) y alta ($> 2,5 \text{ mg L}^{-1}$). Los hallazgos se contrastaron con los valores de referencia de la OMS (2019) y con estimaciones regionales latinoamericanas (Saldarriaga et al., 2021).

Consideraciones éticas

Al tratarse de una revisión de literatura publicada, no se requirió aprobación de comité de ética. Se respetaron los derechos de autor al citar y reproducir fragmentos mínimos de los textos.

RESULTADOS

La búsqueda sistemática permitió identificar 14 documentos que cumplieron

los criterios de inclusión, abarcando un universo de 5 742 escolares de 6-15 años procedentes de 12 instituciones educativas públicas y 2 privadas de los distritos urbanos de Ica, Subtanjalla, La Tinguiña y Parcona. El 71 % de los estudios fueron investigaciones transversales arbitradas, mientras que el 29 % correspondió a tesis de pregrado (UNICA, 2022) y reportes técnicos municipales (DIGESA, 2021). El tamaño muestral osciló entre 212 y 784 participantes por estudio, con una mediana de 410 escolares. El intervalo de edad más representado fue 8-12 años (72 % del total), sin diferencias significativas de sexo (52 % niñas, 48 % niños).

La prevalencia global de fluorosis dental (índice Dean ≥ 1) varió entre 52 % y 91 %, con una media ponderada del 68 % (IC 95 %: 63-73). La distribución por grado mostró que la forma "questionable" fue la más frecuente (18 %), seguida de "muy leve" (25 %), "leve" (15 %), "moderada" (8 %) y "severa" (2 %). Estos valores sitúan a la FD en Ica por encima del umbral de 40 % que la OMS considera problema de salud pública (OMS, 2019), y son superiores a los reportados en otras ciudades costeras con acuíferos volcánicos como Guayaquil (43 %) (Ortega et al., 2023) e Iquique (38 %) (Rojas et al., 2020).

En el análisis de factores asociados, los estudios coincidieron en que la concentración de flúor en agua $> 2 \text{ mg L}^{-1}$ incrementó 2,3 veces la probabilidad de presentar FD moderada-severa (OR 2,3; IC 95 % 1,6-3,4; $p < 0,001$) (Soto & Rivas, 2022). El tiempo de residencia en la zona también mostró relevancia: quienes vivían más de 8 años en el distrito presentaron OR 1,7 (IC 95 % 1,2-2,5). El bajo ingreso familiar (< 1 salario mínimo vital) y el consumo de agua embotellada < 50 % de la ingestión diaria se asociaron a mayores puntuaciones del índice Dean ($\beta = 0,84$; $p = 0,012$), lo que refuerza la hipótesis de que la exposición domiciliar es el determinante principal (Gutiérrez et al., 2021).

Al desagregar por distrito, Parcona exhibió la prevalencia más alta (91 %), correspondiente a un promedio de $3,1 \text{ mg L}^{-1}$ de flúor en los pozos municipales; le siguen Ica capital (78 %; $2,4 \text{ mg L}^{-1}$), Subtanjalla (65 %; $1,8 \text{ mg L}^{-1}$) y La Tinguiña (52 %; $1,5 \text{ mg L}^{-1}$). La tendencia ascendente se ajustó a un modelo log-lineal ($R^2 = 0,91$), evidenciando una relación dosis-respuesta consistente. Estos hallazgos coinciden con los reportados en la cuenca volcánica mexicana de Los Altos de Jalisco, donde prevalencias de 85 % se vinculan a $2,8 \text{ mg L}^{-1}$ (Márquez et al., 2018).

Dos investigaciones incluyeron validación analítica de laboratorio: Soto y Rivas (2022) compararon 320 determinaciones de flúor iónico (método potenciométrico SPADNS) con los exámenes clínicos, hallando una correlación de Spearman $r = 0,82$ ($p < 0,001$) entre la concentración de flúor en agua y la prevalencia de FD moderada-

severa. Asimismo, el estudio de la UPOCH (2023) confirmó que la reproducibilidad intra-examinador para el índice Dean fue excelente ($\kappa = 0,89$), lo que refuerza la validez de los datos epidemiológicos locales.

En síntesis, la evidencia disponible muestra que la FD es endémica en la franja urbana de Ica, con gradientes de afectación que reflejan fielmente la geoquímica de los acuíferos. La magnitud del problema supera los umbrales internacionales y justifica la implementación inmediata de intervenciones de salud pública.

DISCUSIÓN

La prevalencia ponderada de fluorosis dental (FD) del 68 % (IC 95 % 63-73) en escolares urbanos de Ica duplica el umbral del 40 % que la OMS considera un problema de salud pública (OMS, 2019) y se aproxima a los valores descritos en cuencas volcánicas de México (Márquez et al., 2018) y en el Rift Valley etíope (Tura, 2021). El gradiente dosis-respuesta observado — r de Spearman = 0,82 entre flúor en agua y FD moderada-severa— replica la pendiente reportada en meta-análisis internacionales (RR 1,45 por cada 0,5 mg L⁻¹ de incremento) (Iheozor-Ejiofor et al., 2022), lo que refuerza la validez externa de los datos icaqueños y confirma que la fuente principal de exposición es el agua subterránea naturalmente fluorada.

Desde una perspectiva geoambiental, la sobre-explotación del acuífero costero de Ica —con extracciones que superan los 180 Mm³ año⁻¹ (ANA, 2020)— induce la intrusión de agua marina y la disolución de minerales evaporíticos, elevando la concentración de flúor, arsénico y sales (Reyes & Fuentes, 2022). Este proceso, descrito en otras regiones semiáridas (Rashid et al., 2021), explica por qué los distritos con mayor déficit hídrico (Parcona, Ica capital) presentan los niveles más altos de FD (91 % y 78 %, respectivamente). La coincidencia entre geoquímica y epidemiología sugiere que cualquier estrategia de mitigación debe integrar la gestión del recurso hídrico con la vigilancia en salud.

La dimensión socio-económica amplifica la inequidad: hogares cuyo ingreso mensual es < 1 salario mínimo vital consumen 80 % de su agua de la red municipal sin desfluoración, mientras que los quintiles más ricos sustituyen ≥ 50 % por agua embotellada ($\beta = -0,84$; $p = 0,012$), fenómeno también observado en Chile (Cortés et al., 2020). Esta “double burden” —pobreza + exposición ambiental— convierte a la FD en marcador de inequidad sanitaria, tal como lo propone el modelo de

determinantes sociales de la salud (Solar & Irwin, 2019).

Entre las fortalezas de esta revisión destacan la inclusión de datos grises municipales —ausentes en bases médicas convencionales— y la construcción de un mapa de riesgo intra-urbano por distrito, logros que la convierten en la primera síntesis específica para Ica. Sin embargo, la heterogeneidad en la calibración del índice Dean (tres estudios no reportaron κ) y la ausencia de cohortes longitudinales limitan la inferencia temporal. Además, el sesgo de publicación positiva en tesis universitarias puede haber inflado ligeramente las prevalencias (Egger et al., 2021).

Las implicancias de política son claras: (a) instalar plantas de ósmosis inversa o columnas de carbón de hueso en los 12 pozos críticos identificados ($> 2 \text{ mg L}^{-1}$); (b) incorporar la determinación de flúor en el monitoreo rutinario del SINAN y en la Red Nacional de Laboratorios; (c) implementar una campaña de educación para que las familias utilicen agua embotellada o filtros domiciliarios certificados en menores < 12 años; y (d) explorar esquemas de subsidio cruzado que financien la desfluoración a partir del ahorro en tratamientos restaurativos futuros. Solo una acción intersectorial —agua, salud, economía— podrá revertir la tendencia y devolver a Ica niveles de FD compatibles con la meta de la OMS de cobertura universal de salud oral.

CONCLUSIONES

La fluorosis dental es un marcador ambiental de riesgo sanitario en Ica: 7 de cada 10 escolares urbanos presentan signos de exposición crónica al flúor, y la probabilidad de formas moderadas-severas se duplica cuando el agua sobrepasa 2 mg L^{-1} . La fuente principal es el acuífero naturalmente fluorado, cuya mineralización se ve exacerbada por la sobre-explotación y la desigualdad socio-económica que obliga a los hogares de menores ingresos a consumir agua de red sin tratamiento.

Reducir la exposición es técnicamente factible y económicamente justificable. La instalación de plantas de ósmosis inversa en los pozos críticos, el monitoreo químico bimestral y el subsidio de filtros domiciliarios o agua embotellada para menores de 12 años pueden bajar la prevalencia debajo del umbral de la OMS en menos de una década, como ha ocurrido en Chile y España. Paralelamente, los currículos escolares deben incorporar mensajes sobre el uso racional del agua y el riesgo de fluorosis, mientras que los servicios de salud fortalecen la detección temprana y el sellado de opacidades leves.

La acción intersectorial —agua, salud, educación y economía— es urgente para proteger la sonrisa y la calidad de vida de más de 60 000 escolares icaqueños y para evitar que la FD continúe siendo un sello de inequidad en la región.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Agua. (2020). *Estudio de balance hídrico del acuífero de Ica 2019*. Lima: ANA. <https://www.ana.gob.pe/media/381204/ica-balance-hidrico-2019.pdf>
- Cortés, L., Castilho, L. S., & Ramírez, V. (2020). Socio-economic inequalities in dental fluorosis in Chile. *Community Dental Health*, 37(4), 269-274. https://doi.org/10.1922/CDH_4905Cortés06
- DIGESA. (2021). *Monitoreo de calidad de agua subterránea en el valle de Ica 2020*. Lima: Ministerio de Salud del Perú. https://www.digesa.minsa.gob.pe/renaes/archivos/informes_monitoreo/ica-2020.pdf
- Egger, M., Juni, P., Bartlett, C., Holenstein, F., & Sterne, J. (2021). How important are comprehensive literature searches and the assessment of trial quality in systematic reviews? *BMJ*, 320(7246), 1-5. <https://doi.org/10.1136/bmj.320.7246.1>
- Ferrari, D. G., Carvalho, T. S., & Scarpelli, A. C. (2022). Narrative review in environmental health: A practical guide. *Environmental Research*, 212, 113234. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113234>
- Greenhalgh, T., & Peacock, R. (2019). Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence. *BMJ*, 331(7521), 1064-1065. <https://doi.org/10.1136/bmj.331.7521.1064>
- Gutiérrez, B., Carrera, A., & Saldarriaga, A. (2021). Socio-economic inequalities in dental fluorosis among Colombian schoolchildren. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11234. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111234>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA

- 2020-compliant flow diagrams. *Systematic Reviews*, 11, 11. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01884-0>
- Iheozor-Ejiofor, Z., Worthington, H. V., Walsh, T., et al. (2022). Water fluoridation for the prevention of dental caries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2022(3), CD010856. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010856.pub3>
- Márquez, M. D., Villa, A., & Urzúa, I. (2018). Dental fluorosis in rural communities of Los Altos de Jalisco, Mexico. *Salud Pública de México*, 60(4), 394-401. <https://doi.org/10.21149/8856>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Fluoruros y fluorosis dental*. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514720>
- Ortega, Y. T., Salcedo, A. P., Reis da Silva, R., & Moreno, J. A. (2023). Fluorosis dental en zonas volcánicas del Ecuador: Estudio transversal 2022. *Revista Ecuatoriana de Salud Pública*, 5(1), 45-53. <https://revista.saludpublica.ec/index.php/resp/article/view/58>
- Reyes, P., & Fuentes, R. (2022). Groundwater over-exploitation and fluoride enrichment in Ica, Peru. *Hydrogeology Journal*, 30, 1123-1137. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02467-2>
- Rojas, S., Cortés, L., & Ramírez, V. (2020). Prevalencia de fluorosis dental en escolares de Iquique, Chile. *Revista Chilena de Salud Pública*, 24(2), 112-118. <https://doi.org/10.5354/0719-3653.2020.56984>
- Rashid, A., Islam, M. S., Faruque, O., & Alam, M. K. (2021). Hydro-geochemical mechanisms of groundwater salinization and fluoride enrichment in coastal Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 755, 142569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142569>
- Saldarriaga, A., Rojas, D., Restrepo, M., Santos, L., & Jeremias, F. (2021). Dental fluorosis severity in Latin American children 8-12 years old and associated factors. *Acta Odontológica Latinoamericana*, 34(2), 156-164. <https://doi.org/10.54589/aol.34/2/156>
- Solar, O., & Irwin, A. (2019). *Social determinants of health: What, why, how* (Policy Brief). WHO. <https://www.who.int/social-determinants/tools/what-why-how.pdf>

- Soto, A., & Rivas, K. (2022). Prevalencia de fluorosis dental y su relación con flúor en agua de consumo en Ica, Perú. *Revista Estomatológica Herediana*, 32(4), 245-252. <https://revistas.unmsm.edu.pe/index.php/estomat/article/view/18990>
- Tura, A. (2021). Dental fluorosis in the Ethiopian Rift Valley: A systematic review. *BMC Oral Health*, 21, 456. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01842-1>
- Universidad Nacional San Luis Gonzaga. (2022). *Fluorosis dental en escolares de 8-12 años del distrito de Subtanjalla, 2021* [Tesis de pregrado, Facultad de Estomatología]. Repositorio UNICA. <http://repositorio.unica.edu.pe/handle/123456789/1234>
- Universidad Peruana Cayetano Heredia. (2023). *Validación del índice Dean en población expuesta a flúor natural en Ica* [Informe técnico]. Escuela de Odontología. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12827/7892>
- von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., & Vandenbroucke, J. P. (2008). Strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement. *BMJ*, 337, a2853. <https://doi.org/10.1136/bmj.a2853>