

Concentración de flúor en agua en parroquias rurales del cantón Cuenca – Ecuador

Fluorine concentration in water in rural parishes of canton Cuenca-Ecuador

Andrea Cabrera Andrade ^{(1)*}	andrea.cabrera@ucuenca.edu.ec
Angélica Ochoa Avilés ^(1, 2)	angelica.ochoa@ucuenca.edu.ec
Diana Astudillo ^(1, 2)	diana.astudillon@ucuenca.edu.ec
Janeth Parra ⁽³⁾	judith.parra@ucuenca.edu.ec
Fernanda Torres ⁽³⁾	mfernanda.torresc@ucuenca.edu.ec
Elizabeth Guzman ⁽¹⁾	elizabeth.guzman@ucuenca.edu.ec
Jessica Pineda ⁽¹⁾	jessica.pineda@ucuenca.edu.ec
Gisselle Soto ⁽²⁾	gisselle.soto@ucuenca.edu.ec
Susana Andrade ^(2, 4)	susana.andrade@ucuenca.edu.ec

(1) Carrera de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril, Código postal 010112, Cuenca, Ecuador

(2) Departamento de Biociencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril, Código postal 010112, Cuenca, Ecuador

(3) Facultad de Odontología, Universidad de Cuenca, Av. del Paraíso, Código postal 010112, Cuenca, Ecuador

(4) Carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, Facultad de Filosofía, letras y ciencias de la educación, Universidad de Cuenca, Av.12 de abril, Código postal 010112, Cuenca, Ecuador

Autora de correspondencia: Susana Andrade, Departamento de Biociencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril, Código postal 010112, Cuenca, Ecuador,

susana.andrade@ucuenca.edu.ec

» Declaración de conflicto de interés:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés que pueda afectar de manera adversa la integridad y fiabilidad de lo expresado en el manuscrito.

» Limitaciones de responsabilidad:

Todos los puntos de vista expresados en el manuscrito son de entera responsabilidad de los autores y no de

la institución en la que trabajan o de cual proviene su financiación.

» Fuentes de apoyo:

Este trabajo se ejecutó con fondos del XVII Concurso de Proyectos de Investigación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cuenca

RESUMEN

Introducción: El flúor en agua potable ha demostrado ser efectivo contra las caries, sin embargo, una alta exposición a fluoruros es una de las principales causas de fluorosis dental en niños. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de flúor en agua de consumo para conocer si constituye un factor de riesgo para la fluorosis dental en niños del sector rural de Cuenca-Ecuador. **Metodos:** El muestreo se realizó en nueve parroquias rurales del cantón, en tres puntos de red: (1) tanques de captación, (2) tanques de almacenamiento del sistema de potabilización, y (3) el sistema de distribución en escuelas, considerando el periodo estacional de verano (época seca) o invierno (época lluviosa). Las determinaciones de flúor se realizaron con la técnica del ion selectivo. **Resultados:** Los resultados indicaron que todas las muestras

estuvieron debajo de la concentración de 1.5 mg/L (límite OMS), en los rangos: 0,0–0,0565 mg/L en los tanques de captación; 0,0–0,0440 mg/L en los tanques de almacenamiento; y 0,0–0,0525 mg/L en los sistemas de distribución de las instituciones educativas. La prueba ANOVA indicó que las variables parroquias y estación influyen en la concentración de fluoruros (valor $p < 0.01$). **Conclusiones:** La concentración de flúor en el agua es menor a la concentración límites permitida, lo anterior permite descartar al agua potable como causa para el desarrollo de fluorosis dental. Los hallazgos presentados respaldan el investigar otros factores de riesgo como condiciones geográficas, alimentación, dentífricos, etc., debido a que la fluorosis dental constituye un problema multifactorial.

Palabras clave: Flúor, agua de consumo, fluorosis dental, técnica del ión selectivo.

ABSTRACT

Introduction: Fluoride in drinking water has been shown to be effective against cavities, however, high exposure to fluoride is one of the main causes of dental fluorosis in children. **Objective:** The objective of this study was to determine the concentration of fluoride in drinking water to determine if it constitutes a risk factor for dental fluorosis in children in the rural sector of Cuenca-Ecuador. **Methodology:** The sampling was carried out in nine rural parishes of the canton, at three network points: (1) catchment tanks, (2) storage tanks of the purification system, and (3) the distribution system in schools, considering the seasonal period summer (dry season) or winter (rainy season). Fluoride determinations were made with the selective ion technique. **Results:** The results indicated that all the samples were below the concentration of 1.5 mg/L (WHO limit), in the ranges: 0.0–0.0565 mg/L in the collection tanks; 0.0–0.0440 mg/L in storage tanks; and 0.0–0.0525 mg/L in the distribution systems of educational institutions. The ANOVA test indicated that the parish and season variables influence the concentration of fluorides (p value < 0.01). **Conclusion:** The result obtained in this study allowed drinking water to be ruled out as a cause for the development of dental fluorosis, a necessary result to investigate other reasons such as geographical conditions, diet, toothpaste, etc., since dental fluorosis constitutes a multifactorial problem.

Keyword: Fluor, drinking water, dental fluorosis, selective ion technique.

1. INTRODUCCIÓN

El flúor ha demostrado ser clave en disminuir la prevalencia de las caries dentales al reforzar la estructura mineral de los dientes, mantener el esmalte, otorgar resistencia a los ácidos e inhibir la formación de biofilm (1). Sin embargo, también se ha demostrado que una exposición excesiva a fluoruros de forma sistémica y tópica, puede ocasionar problemas de salud entre las que destaca principalmente la fluorosis dental (2). La fluorosis dental es una alteración en el desarrollo del esmalte dental a causa de la exposición frecuente y periódica a altas concentraciones de flúor en etapas de infancia donde se forma el esmalte dental (amelogénesis), resultando en dientes hipomineralizados, porosos y de menor dureza (3). Las manifestaciones clínicas suelen ser la aparición de manchas opacas, blancas, cafés y ruptura del diente, dependiendo de la severidad de la fluorosis (4). Se estima que existen más

de 200 millones de individuos a lo largo de 25 países (en vías de desarrollo) que padecen algún tipo de fluorosis (5). Las principales fuentes de exposición a flúor para la aparición de fluorosis dental han sido determinadas y son: productos dentífricos, sal de mesa, jugos, leche, suplementos, pero se cree que la fuente de mayor influencia es el agua de consumo, sea por la adición de flúor artificial o la presencia natural en las fuentes de agua (infiltraciones o disolución de rocas que contienen el elemento) (6). La fluoración del agua de consumo se ha usado como instrumento de profilaxis de las caries, a pesar de la evidencia que relaciona la fluorosis dental con la alta exposición de flúor (7).

En el Ecuador, la investigación sobre fluorosis se realizan desde los años 90, esto lo evidencia un estudio del Ministerio de Salud y Organización

Panamericana de la Salud (OPS) (8) en el cual se identificó a regiones de la sierra ecuatoriana como zonas de alto riesgo de fluorosis dental, y por este motivo la investigación sobre este tema se enfoca en ciudades andinas. También, los estudios en Ecuador son principalmente de tipo transversal y enfocados en las prevalencias de fluorosis y muy pocos se enfocan en sus factores de riesgo (9). Para el caso específico en la ciudad de Cuenca, situada en la sierra sur del país, de los pocos estudios realizados, en el año 2012 se estimó que en la población infantil la prevalencia de fluorosis dental moderada y severa fue seis veces superior en el área rural en comparación con el área urbana (27.1% vs 4.6%). En este estudio se valoró también la concentración de flúor en agua y se reportó que se encontraba dentro del rango permitido por la normativa INEN de requisitos para agua potable (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020 (10), que rige los requisitos para el agua de consumo humano y que se acoge a la recomendación de la OMS (límite máximo de 1.5mg/L de fluoruros en el agua) (9, 10). No obstante, el muestreo de flúor en agua se realizó sin la consideración de factores como el punto de red en la distribución de agua donde se muestreaba, la zona geográfica o las diferentes condiciones climáticas, consideraciones que se han comprobado influir en la concentración de flúor (11). En este contexto, es necesario reevaluar el consumo de agua con alta concentración de fluoruros como factor de riesgo para fluorosis (11). Una vez evaluado el agua de consumo, los hallazgos permitirán analizar la posible asociación con fluorosis y enfocarse en revertir este factor; o permitirán apoyar la investigación de otras fuentes de fluoruros responsables de las altas prevalencias de fluorosis en niños de las zonas rurales de Cuenca.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar la concentración de flúor en agua de consumo humano en nueve parroquias rurales del cantón Cuenca con muestreos en tres puntos de red: (1) tanques de captación, (2) tanques de almacenamiento del sistema de potabilización, y (3) el sistema de distribución en escuelas de las nueve parroquias rurales seleccionadas para el estudio, considerando además la época de verano (época de sequía) y en época de invierno (época lluviosa).

➤ 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Diseño, contexto y área de estudio*

Este manuscrito se deriva de una tesis de pregrado de la Carrera de Bioquímica y Farmacia de la Universidad de Cuenca – Ecuador (12) y para su realización se siguió las guías STROBE. El estudio utilizó un diseño de corte transversal de alcance descriptivo, y se aplicó en la zona rural del cantón Cuenca de la provincia del Azuay – Ecuador en el que se evaluó el nivel de flúor en las distintas etapas de potabilización de agua, en distintos puntos de red. El cantón Cuenca se sitúa al sur del Ecuador y está dividido en 21 parroquias rurales y 1 urbana (13); las parroquias rurales constituyen el 80% del área total del cantón que es de 3086 km².

2.2. *Marco muestral, muestra y muestreo*

El muestreo del agua se realizó de manera estratégica con la finalidad de abarcar la mayor cantidad de factores posibles, es decir abarcar las áreas geográficas de la zona de estudio (delimitadas por 9 parroquias), las condiciones climáticas (época lluviosa y de sequía) y puntos de red (tanques de captación, tanques de almacenamiento y puntos de distribución).

a) El marco muestral se compone:

Según las parroquias

Se seleccionaron las nueve parroquias rurales del cantón Cuenca que reportaron las más altas prevalencias de casos de fluorosis según el estudio de Parra y colaboradores (2012) las parroquias seleccionadas fueron Paccha, Cumbe, Quingeo, Octavio Cordero, Tarquí, Victoria del Portete, Baños, Nulti y Santa Ana. Estas parroquias rurales son abastecidas por seis plantas de tratamiento de agua potable de la empresa ETAPA EP (Planta Chullco-Soroche, Planta Irquis, Planta Tixán, Planta Quingeo-Pillachiquir, Planta Cumbe y Planta Santa Ana) y una de la Junta Administradora de Agua Potable Baños. Cabe recalcar que previo a la recolección de las muestras en las instituciones educativas se confirmó que las plantas de potabilización abastezcan a dichas instituciones mediante un mapa de la red de distribución que fue facilitada por ETAPA EP y la Junta Parroquial Administradora de Baños. En la Tabla 1 se muestran las parroquias seleccionadas y lugares de muestreo que fueron consideradas en el presente estudio.

Tabla 1. Parroquias seleccionadas y lugares de muestreo.

Parroquias	Planta potabilizadora	Escuelas
Octavio Cordero	Planta Chulco-Soroche	- Escuela de Educación Básica “Octavio Cordero Palacios”
Tarqui	Planta de Irquis	- Escuela de Educación Básica “Alfonso Moreno Mora”
Victoria del Portete	Planta de Irquis	- Unidad Educativa del Milenio “Victoria del Portete”
Paccha	Planta Tixán	- Escuela de Educación Básica “Elías Galarza Arteaga” - Unidad Educativa “Paccha”
Quingeo	Planta Quingeo – Pillachiquir	- Escuela de Educación Básica del Milenio “Quingeo”
Cumba	Planta de Cumbe	- Escuela Fiscal Mixta “Carlos Terán Zenteno” - Escuela de Educación Básica “Gabriel Arsenio Ullauri”
Santa Ana	Planta Santa Ana	- Escuela de Educación Básica “Alfonso María Borrero”
Nulti	Planta Tixán	- Unidad Educativa “Nulti” - Escuela de Educación Básica “Teresa Semeria”
Baños	Junta Administradora de Agua Potable de la Parroquia Baños	- Escuela de Educación Básica “Cornelio Crespo” - Escuela de Educación Básica “Enriqueta Cordero Dávila” - Escuela de Educación Básica “Alfonso Carrión Heredia”

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Patrones de crecimiento del niño 2006.

Según las condiciones climáticas

Se consideraron las condiciones climáticas en las cuales se encontraba la ciudad, dado que se han reportado diferentes concentraciones de flúor según la cantidad de lluvia y se ha sugerido muestrear el agua en diferentes temporadas. Se llevó a cabo el muestreo durante 3 semanas del mes de abril que corresponde al invierno o época lluviosa y 3 semanas del mes de junio que corresponde a verano o época de sequía (14).

Según el punto de red

La última consideración que se hizo fue evaluar el contenido de flúor dentro de los distintos puntos de la red de distribución de agua potable. De las plantas seleccionadas, se determinaron las concentraciones de flúor en los tanques de captación, tanques de almacenamiento y en el sistema de distribución de escuelas pertenecientes a las parroquias seleccionadas.

b) Tamaño de muestra

El número de muestras fue a conveniencia en línea con recomendaciones para el análisis de cuerpos de aguas (15), en los cuales el tamaño de muestra depende de las condiciones que se desea valorar, en nuestro caso de acuerdo a las condiciones climáticas (dos condiciones, época lluviosa y de sequía) y de acuerdo a los

puntos de muestreo (7 tanques de captación, 7 tanques de almacenamiento y 14 puntos de red). Es decir en las 9 parroquias se tomaron un total de 56 muestras de agua (500mL) las cuales corresponden a: 14 muestras de los tanques de captación (7 muestras en época lluviosa y 7 en época de sequía), 14 muestras de los tanques de almacenamiento (7 muestras en época lluviosa y 7 en época de sequía) y 28 muestras de la red de distribución (14 muestras en época lluviosa y 14 en época de sequía).

c) Toma de muestras

Respecto al muestreo para los tanques de almacenamiento y distribución se usó un muestreo simple (muestra tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual); y para el tanque de captación se empleó un muestreo compuesto (muestras formadas por la mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto en intervalos de una hora por el período de un día) (16). Al finalizar la toma de muestras por duplicado, los envases se cerraron herméticamente y se almacenaron a temperatura ambiente (25oC) para su análisis. Las muestras de agua fueron recolectadas en botellas de polipropileno etiquetadas, previamente lavadas con ácido nítrico y enjuagadas con agua destilada.

2.3. Variable: Concentración de Flúor en el agua

En cada una de las 56 muestras tomadas se determinó el flúor, para lo cual se utilizó la técnica del ion selectivo con el empleo del reactivo TISAB. El método por ion selectivo se basa en la medida de potencial de una solución que contiene iones fluoruro, cuando se sumerge dentro de ella un electrodo específico y uno de referencia, creándose una corriente eléctrica entre la muestra y la solución interna del electrodo ion específico, cuyo potencial será la medida de la concentración de fluoruro (15). Las determinaciones de concentración de ion fluoruro se llevan a cabo por comparación de las actividades del ion analito en la disolución muestra con disoluciones patrón de concentración conocidas. Esta comparación solo es válida si los coeficientes de actividad iónicos en los patrones de calibración y en las muestras son iguales. Para conseguir esta igualdad se ajusta la fuerza iónica de patrones y muestras a un valor fijo, utilizando una disolución de ajuste (TISAB), con la que se diluye y se enraza patrones y muestras (17).

En el presente estudio, la solución TISAB se preparó con 500mL de agua destilada a la que se agregaron 57mL de ácido acético glacial, 58g de cloruro de sodio, 4g de CDTA (ácido trans-1,2-diaminociclohexano N,N,N,N tetracético), 120mL de solución de NaOH 6M hasta alcanzar un pH entre 5 a 5.5; la solución se aforó a 1 litro de solución.

Para establecer la calibración en el equipo ORION 4 STAR PLUS pH/ISE #1112000 con electrodo ORION #9609 se prepararon los patrones de 0.05, 0.1, 0.5, 1 y 2 mg/L. Se mezclaron 10mL de cada uno de los estándares y se les añadió 10mL de TISAB (dilución 1:1) homogenizando por 3 minutos cada estándar. Se efectuó la lectura en el equipo, empezando por los estándares de menor a mayor concentración. Se verificó la linealidad para conocer el tipo de calibración: la curva tuvo una pendiente o *slope* de 59 ± 1 (valores aceptables 54 a 60) (18).

Para determinar la concentración de flúor en las muestras de agua, se realizó el mismo procedimiento que los estándares. En caso de una lectura incorrecta se efectuó por

segunda vez la lectura, de esta manera se evita la existencia de datos perdidos en este tipo de estudios. Se determinó la concentración de flúor por interpolación en la curva de calibración, tomando como referencia los rangos de 0.0 mg/L a 0.39 mg/L= bajo; de 0.4 mg/L a 0.69 mg/L= medio; de 0.7 mg/L a 1.49 mg/L= óptimo; y de 1.5 mg/L y más = alto (19).

2.4. Control del sesgo

En el presente estudio los sesgos relevantes son los relacionados al muestreo y a la determinación de la variable de interés, en este sentido para controlar el muestreo se realizó acorde a literatura para el análisis de agua y la medición de la concentración de flúor en el agua por la técnica del ion selectivo garantizan una lectura objetiva en las muestras recolectas y la medición de flúor en el agua.

2.5. Análisis estadísticos

Se elaboró una base de datos en Excel y el análisis estadístico se efectuó mediante el programa IBM SPSS 25. Se determinó el comportamiento de las concentraciones de flúor promedio y por parroquias con el uso de los estadísticos descriptivos, medidas de tendencia central y dispersión. Se aplicó una prueba ANOVA para evaluar la diferencia en la concentración de flúor por temporada (lluviosa y poca lluvia) y por parroquias, según el punto de la red que se analizaba. Todos los análisis se realizaron con nivel de significancia del 5%.

3. RESULTADOS

En primer lugar se determinaron las concentraciones de flúor en agua y se encontró que todas las concentraciones, por punto de red, por periodo seco/lluvioso y por ubicación geográfica, estuvieron todos dentro del rango recomendado por la OMS, debajo de la concentración de 1.5 mg/L. Incluso el 67.86% de las muestras (n=38) se encontraban dentro de una concentración debajo de los 0.02mg/L, siendo el nivel óptimo para la prevención de caries y muy bajo para incidir un posible riesgo de fluorosis dental, encontrándose lejos del límite superior. Las Tablas 2, 3 y 4 presentan los resultados de la concentración de fluoruros en los tanques de captación, almacenamiento y distribución (instituciones educativas) respectivamente.

Tabla 2. Concentración de fluoruros (mg/L) en el tanque de captación por parroquias en periodo seco y lluvioso

Parroquias	Periodo lluvioso		Periodo seco		Total	
	Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango
Cumbe	0.0095±0.0002	0.0093-0.0098	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0048±0.0055	0.0-0.0098
Tarqui & Victoria del Portete	0.015±0.0012	0.014-0.016	0.0164±0.0011	0.0150-0.0175	0.0157±0.0012	0.014-0.175
Octavio Cordero	0.0320±0.0008	0.031-0.033	0.0245±0.0013	0.023-0.026	0.0283±0.0043	0.023-0.033
Quingeo	0.0298±0.0022	0.027-0.032	0.0263±0.0021	0.024-0.028	0.028±0.0029	0.024-0.032
Nulti & Paccha	0.0275±0.0017	0.026-0.029	0.011±0.0	0.011-0.011	0.0193±0.0096	0.011-0.029
Baños	0.0203±0.0005	0.02-0.021	0.0348±0.0017	0.033-0.037	0.0275±0.0084	0.02-0.037
Santa Ana	0.0558±0.001	0.055-0.057	0.049±0.0008	0.048-0.05	0.0524±0.004	0.048-0.057

Nota: DS = desviación estándar; las parroquias de Tarqui/Victoria del Portete y Nulti/Paccha comparten la misma planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 3. Concentración de fluoruros (mg/L) en el tanque de almacenamiento por parroquias en periodo seco y lluvioso

Parroquias	Punto de red: tanque de almacenamiento					
	Periodo lluvioso		Periodo seco		Total	
	Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango
Cumbe	0.0087±0.0004	0.0082-0.0091	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0044±0.005	0.0-0.0091
Tarqui & Victoria del Portete	0.015±0.0012	0.014-0.016	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0075±0.0087	0.0-0.016
Octavio Cordero	0.0233±0.0005	0.023-0.024	0.025±0.0008	0.024-0.026	0.0241±0.0011	0.023-0.026
Quingeo	0.0155±0.0006	0.015-0.016	0.0097±0.0002	0.0095-0.01	0.0126±0.0034	0.0095-0.016
Nulti & Paccha	0.0275±0.0006	0.027-0.028	0.0002±0.0002	0.0-0.0004	0.0138±0.0158	0.0-0.028
Baños	0.016±0.0012	0.015-0.017	0.0±0.0	0.0-0.0	0.008±0.0093	0.0-0.017
Santa Ana	0.042±0.0012	0.041-0.043	0.0425±0.0017	0.041-0.044	0.0423±0.0015	0.041-0.044

Nota: DS = desviación estándar; las parroquias de Tarqui/Victoria del Portete y Nulti/Paccha comparten la misma planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 4. Concentración de fluoruros (mg/L) por instituciones educativas en periodo seco y lluvioso.

Parroquias	Institución	Punto de red: instituciones educativas					
		Periodo lluvioso		Periodo seco		Total	
		Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango	Promedio ± DE	Rango
Cumbe	Escuela Fiscal Mixta “Carlos Terán Zenteno”	0.0085±0.0002	0.0082-0.0087	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0042±0.0049	0.0-0.0086
	Escuela de Educación Básica “Gabriel Arsenio Ullauri”	0.0087±0.0002	0.0084-0.0089	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0043±0.005	0.0-0.0087

Tarqui	Escuela "Alfonso Moreno Mora"	0.0518±0.0017	0.05-0.054	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0259±0.0299	0.0-0.0
Victoria del Portete	Escuela del Milenio "Victoria del Portete"	0.2680±0.0015	0.025-0.028	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0134±0.0155	0.0-0.0
Octavio Cordero	Escuela de Educación Básica "Octavio Cordero Palacios"	0.0158±0.0005	0.015-0.016	0.0148±0.0013	0.013-0.016	0.0153±0.0009	0.013-0.0
Quingeo	Escuela de Educación Básica del Milenio "Quingeo"	0.0573±0.001	0.056-0.058	0.115±0.0058	0.11-0.12	0.0861±0.00336	0.056-0.12
Nulti	Unidad Educativa "Nulti"	0.0163±0.003	0.012-0.019	0.0056±0.0005	0.0051-0.006	0.0109±0.0062	0.0051-0.019
	Escuela de Educación Básica "Teresa Semeria"	0.011±0.0	0.011-0.011	0.01±0.0018	0.0084-0.012	0.0105±0.0014	0.0084-0.012
Paccha	Escuela de Educación Básica "Elías Galarza Arteaga"	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0±0.0	0.0-0.0
	Unidad Educativa "Paccha"	0.0078±0.0003	0.0073-0.0081	0.0088±0.0014	0.0075-0.01	0.0083±0.0011	0.0073-0.01
Baños	Escuela de Educación Básica "Cornelio Crespo"	0.0037±0.0008	0.0028-0.0048	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0019±0.0022	0.0-0.0048
	Escuela de Educación Básica "Enriqueta Cordero Dávila"	0.0083±0.0003	0.0079-0.0086	0.0±0.0	0.0-0.0	0.0042±0.0048	0.0-0.0086
	Escuela de Educación Básica "Alfonso Carrión Heredia"	0.002±0.0001	0.0019-0.0021	0.0±0.0	0.0-0.0	0.001±0.0012	0.0-0.0021
Santa Ana	Escuela de Educación Básica "Alfonso María Borrero"	0.036±0.0041	0.03-0.039	0.0388±0.0005	0.038-0.039	0.0374±0.002	0.036-0.039

Nota: DS = desviación estándar.

Los resultados de la prueba ANOVA de dos factores (Tabla 5) determinó que las variables parroquias y estación sí son significativas en la concentración de fluoruros, y, además, existe una interacción entre las mismas ($p < 0.01$). En otras palabras, la concentración de flúor estará en función de la interacción de las diferentes parroquias rurales muestreadas y las condiciones climáticas en las cuales la ciudad esté. Esto demuestra que no todas las características del agua potable son iguales entre los sectores rurales. Además,

indica que las condiciones climáticas poseen una influencia significativa sobre las concentraciones de flúor en agua (Tablas 2, 3 y 4). Específicamente, en cuanto a las concentraciones de flúor por parroquia según la estación climática, el promedio general de la concentración de fluoruros en todas las parroquias era mayor en el periodo lluvioso comparado al periodo de sequía. Respecto a las parroquias, se encontró que las parroquias de Santa Ana y Quingeo fueron las localidades con mayor concentración de flúor

en agua, comparado a las otras parroquias. Finalmente, no se encontraron diferencias en cuanto al punto de red; si bien la concentración de fluoruros en el tanque de almacenamiento era mayor a la concentración en el tanque de captación, la distribución en las escuelas volvía a los rangos iniciales en el tanque de captación. Es importante recalcar que a pesar de todos los fenómenos observados, ningún valor obtenido supera lo recomendado por la OMS.

Tabla 5. Resultados de la prueba ANOVA.

Variable dependiente: concentración de flúor	
Componentes del modelo ^a	Significancia ^c
Punto de red: tanque de captación	
Parroquias	$p < 0.01$
Estación	$p < 0.01$
Parroquias * Estación ^b	$p < 0.01$
Punto de red: tanque de almacenamiento	
Parroquias	$p < 0.01$
Estación	$p < 0.01$
Parroquias * Estación ^b	$p < 0.01$
Punto de red: instituciones educativas	
Parroquias	$p < 0.01$
Estación	$p < 0.01$
Parroquias * Estación ^b	$p < 0.01$

^a Modelo aplicado de concentración de fluoruro = parroquia + estación + interacción; ^b Interacción entre variables parroquias y estación climática; ^c Diferencia estadísticamente significativa $p < 0.05$

► 4. DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo el analizar la concentración de flúor en agua de consumo en nueve parroquias rurales del cantón Cuenca, en tres puntos importantes: tanques de captación del sistema de potabilización, tanques de almacenamiento del sistema de potabilización y el sistema de distribución en escuelas. Además, se analizó la diferencia entre los niveles de flúor entre épocas de verano o invierno. Los resultados obtenidos en este trabajo demostraron que los rangos de flúor en todas las parroquias analizadas comprendieron los siguientes rangos: 0.0–0.0565 mg/L en los tanques de captación; 0.0–0.0440 mg/L en los tanques de almacenamiento; y 0.0–0.0525 mg/L en los sistemas de distribución de las instituciones educativas. En otras palabras,

ninguna de las concentraciones en las muestras superó el límite máximo de flúor en agua potable sugerido por la OMS (5) de 0.7-1.5mg/L, límite con el cual se cumple con la suplementación de flúor para la salud dental, sin ser excesivo ni llegar a niveles tóxicos. Específicamente, las concentraciones reportadas se encuentran en la categoría “baja”, según los valores guías establecidos por la OMS (20) con valores comprendidos entre 0.0–0.39 mg/L. Esto significa que el agua de consumo en humano de Cuenca cumple con los rangos permitidos de flúor en agua; además, estos rangos determinados permiten descartar a la alta concentración de flúor en agua de consumo como posible factor de riesgo para la fluorosis dental en Cuenca, Ecuador (5,21). Adicionalmente, el presente estudio determinó que sí existió una influencia del periodo climático de verano (época de sequía) o invierno (época de precipitaciones) en la concentración de flúor. Este hallazgo coincide con los resultados de una revisión sistemática que recopila los efectos de la estación climática en concentración de flúor en agua (22) Este fenómeno se puede explicar porque a mayor temperatura y cantidad de lluvias en una fuente de agua, se produce una mayor disolución de fluoruros que se encuentran conformando minerales que rodean la fuente de agua y los fluoruros migran al agua, por lo que se generan una mayor concentración de flúor de manera natural (23). Se resalta que aunque se encontró una relación significativa entre estación climática con concentración de flúor, los niveles se siguen manteniendo en concentraciones “bajas” según los límites de la OMS (5).

Los presentes resultados coinciden y están en línea con estudios sobre la determinación de flúor realizadas en el Ecuador, específicamente en las provincias de la región sierra como Pichincha (24) Chimborazo (25), Imbabura (21), y Cotopaxi (26): los niveles de flúor se encuentran dentro del rango permitido por la OMS. Estos resultados similares de concentración de flúor en agua en las regiones de la sierra ecuatoriana se podrían explicar con el hecho que estas áreas y sus fuentes de agua se encuentran generalmente asentadas sobre zonas volcánicas (25). Estas zonas presentan complejos rocosos de origen volcánico-sedimentario que son de carácter intrusivo ya que se ha probado que son donadores de flúor al agua, en especial las rocas de tipo carbonatadas (23,27,28). Como se explicó anteriormente, a mayor temperatura y

lluvia en una fuente de agua, mayor concentración natural de flúor, influenciado por las condiciones climáticas las que son similares en la región serrana (23). Esto coincide con nuestro estudio, dado que las parroquias de Quingeo y Santa Ana presentaron los más altos índices de flúor y son zonas de la ciudad de Cuenca que se encuentran asentadas en la formación de Chinchín, brecha volcánica (28,29). Por este motivo las principales fuentes de abastecimiento de agua de la sierra ecuatoriana contienen flúor natural (30).

La literatura evidencia que el 60% de los casos de fluorosis se atribuye a un consumo de agua con excesivo contenido de flúor, por lo que es necesario explorar en primer lugar este factor de riesgo en el agua de consumo (31). La evidencia del presente estudio permitiría descartar al agua como causante de la patología dental, y por lo tanto es necesario discutir otras posibles fuentes de alta exposición a flúor, y recordar que la fluorosis dental es un problema multifactorial con el fin de evaluar en el futuro otros factores de riesgo (20,24). Dentro de posibles fuentes de alta exposición a flúor relacionados a la fluorosis, Ecuador, están primero los productos dentífricos (21). El uso no controlado de estos productos en edades tempranas constituye un factor de riesgo (32,33) debido que los niños menores a los 6 años aún no poseen el control absoluto sobre sus reflejos de deglución lo que les lleva a ingerir estos productos que contienen una alta concentración de fluoruros para este grupo etario (34). Lo anterior es alarmante considerando que hasta los 7 años de vida se presenta el desarrollo dental pre-eruptivo y es una etapa sensible para el desarrollo de fluorosis (34). Otro factor de riesgo que puede estar relacionado con la fluorosis en niños en el contexto ecuatoriano es el alto consumo de sal fluorada, la cual es usada como medida de profilaxis de caries en el Ecuador por las normas INEN (21,35). En el caso de la alimentación de los niños ecuatorianos existe una amplia cantidad de productos ultra procesados que son excesivos en sal (36), y un patrón cultural generalizado de añadir sal a frutas cítricas tales como mango, limón y grosellas (37). Otro factor de riesgo de la fluorosis, son las características ambientales e individuales que presenta la ciudad de Cuenca y la sierra ecuatoriana en general (38). En estas regiones se considera a la fluorosis como una enfermedad "endémica" (30), especialmente en ciudades con una altura como en Cuenca (2560 m.s.n.m).

Lo anterior se explica por el hecho que en estas ciudades el agua hierve a temperaturas menores a los 100°C (normal a nivel de mar), generándose una rápida evaporación del agua, implicando el uso de mayores cantidades de agua (39) por lo tanto una mayor acumulación y consumo de flúor en los alimentos (39,40). En el caso de las características de los individuos, la exposición a las alturas grandes conlleva un respiración más rápida y profunda dada la menor oxigenación, acelerando la formación y evaporación de sudor y llevando a mayores micciones urinarias; a su vez este tipo de respiración adaptada a las alturas promueve la deshidratación, lo que finalmente causa que las personas beban más agua y se genere una alta acumulación de fluoruros (38). Finalmente, el estado nutricional es determinante para la aparición de fluorosis (41); estudios determinan que un factor de riesgo era un estado nutricional inadecuado (22,42). Micronutrientes como el calcio y la vitamina D han probado ser efectivos en reducir la absorción de flúor; los productos lácteos también han presentado evidencia de reducir la absorción de flúor en el tracto gastrointestinal (43).

Limitaciones y fortalezas: Dentro de las limitaciones que el presente trabajo tuvo fue la cantidad de parroquias que se consideraron dentro del estudio ya que la ciudad cuenta con 21 parroquias rurales. Sin embargo, se trabajó de manera estratégica con las zonas rurales que han reportado prevalencia de fluorosis dental moderada y severa mayor al 20% (9) Otra limitación fue el no contar con datos actualizados de la prevalencia de fluorosis por lo que se sugiere correlacionar los resultados de este estudio con futuras investigaciones sobre la fluorosis actualizado. Entre las fortalezas del estudio están la aplicación del método de ion selectivo para cuantificar fluoruros, la cual se considera como la técnica de oro en determinación de flúor (35). Otra fortaleza del estudio a destacar fue el tipo de muestreo realizado, dado que se consideraron múltiples condiciones como la época climática (época lluviosa y época no lluviosa), los puntos de muestreo en las distintas etapas antes de su consumo y los métodos de muestreo, consideraciones que no se tuvieron en cuenta en estudios previos (11). Finalmente, si bien dentro de la discusión se exploran posibles causas de fluorosis, se sugiere realizar estudios que puedan establecer cuáles son las razones concretas por la que la ciudad presenta esta prevalencia alta de fluorosis, y continuar actualizando los datos

de incidencia para conocer cómo se modifica a lo largo del tiempo.

» 5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y su análisis, se concluye que la concentración de flúor en agua de consumo de Cuenca-Ecuador, se encuentra debajo de los niveles sugeridos por la OMS e INEN. Esto permite descartar al agua de consumo como una fuente excesiva de fluoruros. No obstante, se determinó que la concentración de flúor en agua estará en función de la ubicación geográfica, la cantidad de precipitaciones y la interacción entre estos dos factores. Es necesario que se sigan realizando investigaciones sobre la fluorosis dental, dado que su prevalencia sigue siendo alta en los sectores rurales de la ciudad de Cuenca-Ecuador.

» 6. AGRADECIMIENTO

Agradecemos la apertura y apoyo de ETAPA, Empresa de telefonía, alcantarillado y agua potable de Cuenca y a la Junta de Agua Parroquial de Baños. El presente estudio fue financiado por la Universidad de Cuenca por medio del fondo del XVII Concurso de Proyectos de Investigación.

» 7. REFERENCIAS

- Núñez DP, Lourdes L, Bacallao G. Bioquímica de la caries dental. Revista Habanera de Ciencias Médicas [Internet]. 2010 [cited 2022 Oct 18];9(2):156–66. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2010000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Montero M, Rojas-Sanchez F, Socorro M, Torres J, Acevedo A. Experiencia de caries y fluorosis dental en escolares que consumen agua con diferentes concentraciones de fluoruro en Maiquetía, Estado Vargas, Venezuela. Invest Clin. 2007;48(1):5–19.
- Castiblanco-Rubio G, Martignon S, Castellanos-Parra J, Mejía-Naranjo W. Pathogenesis Of Dental Fluorosis: Biochemical And Cellular Mechanisms. Revista Facultad de Odontología. 2017 Jan;28(2):408–21.
- Kurdi M. Chronic fluorosis: The disease and its anaesthetic implications. Indian J Anaesth. 2016;60(3):157.
- Boischio A. Flúor en el agua de consumo. Criterios de Salud Ambiental 227 - Fluoruro - Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 2002. 2013.
- Olivares-Keller D, Arellano-Valeria MJ, Cortés J, Cantín M. Prevalencia y Severidad de Fluorosis Dental y su Asociación con Historia de Caries en Escolares que Consumen Agua Potable Fluorurada en Temuco, Chile. International journal of odontostomatology. 2013 Dec;7(3):447–54.
- Vitoria I. Oral Fluoride Including Drinking Water in Prevention of Tooth Decay. Int J Food Sci Nutr Diet. 2015 May 21;197–201.
- Ministerio de Salud del Ecuador, Organización Panamericana de la Salud. Programa de Fluoruración de la sal de consumo humano. Quito; 1997.
- Parra J, Astudillo D, Cedillo N, Ordoñez G, Sempértegui F. Fluorosis dental: Prevalencia, grados de severidad y factores de riesgo en niños de 7 a 13 años del Cantón Cuenca. MASKANA. 2012 Jun 26;3(1):41–9.
- INEN. Agua para Consumo Humano. Requisitos. NTE INEN 1108. Quito; 2020.
- Barros J, Troncoso A. Atlas Climatológico del Ecuador [Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil]. [Quito]: Escuela Politécnica Nacional; 2010.
- Guzmán E, Pineda J. Determinación de flúor en agua en plantas potabilizadoras y escuelas de las parroquias rurales: Paccha, Cumbe, Quingueo, Octavio Cordero, Tarquí, Victoria del Portete, Baños, Nulti y Santa Ana del cantón Cuenca [Trabajo previo a la obtención del título de Bioquímica Farmacéutica]. [Cuenca]: Universidad de Cuenca; 2019.
- Municipalidad de Cuenca. Diagnóstico ambiental parcial de las 21 Parroquias Rurales del Cantón Cuenca. Cuenca; 2012.
- Salazar M. Prevalencia de fluorosis dental y determinación del grado de severidad en niños de 6 a 15 años en la Florícola Valleflor ubicada en el Valle de Tumbaco [Tesis del Pregrado presentada como requisito para la obtención del título de Odontóloga]. [Quito]: Universidad San Francisco de Quito; 2012.

15. Baird R, Eaton A, Rice E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington: American Public Health Association; 2017.
16. Instituto de Toxicología de la Defensa. PROTOCOLO DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL . España: https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf; Nov, 2016.
17. Rigalli A, Puche R. Determinación de la concentración de flúor en muestras biológicas. Actualizaciones en Osteología. 2007;3(1):27–34.
18. Cruz-Jaramillo M. Ingesta de sodio en una muestra de 800 ecuatorianos en el período de septiembre 2014 a marzo de 2015 [Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Licenciada en Nutrición Humana]. [Quito]: Universidad San Francisco de Quito; 2016.
19. Aguilar P. Validación del método Potenciométrico por Ión Selectivo para la determinación de Flúor en sal, agua y orina. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2001;18(1–2):21–3.
20. Diener E, Lucas RE, Schimmack U, Helliwell JF. Chapter 8 Health and Well-Being: Policy Examples. In: Well-Being for Public Policy. Oxford University Press New York; 2009. p. 133–46.
21. Rivera-Martínez M, Vélez E, Carrera-Robalino A, Mena P, Armas-Vega A. Factores asociados a fluorosis dental en niños de 10 a 12 años del cantón Pimampiro, provincia de Imbabura, Ecuador 2016-2017. Odontología Vital. 2019;51–8.
22. Akuno MH, Nocella G, Milia EP, Gutierrez L. Factors influencing the relationship between fluoride in drinking water and dental fluorosis: a ten-year systematic review and meta-analysis. J Water Health. 2019 Dec 1;17(6):845–62.
23. Sebastian S, Soman R, Sunitha S. Prevalence of dental fluorosis among primary school children in association with different water fluoride levels in Mysore district, Karnataka. Indian Journal of Dental Research. 2016;27(2):151.
24. Arroyo-Bonilla D, Viteri-García A, Guevara-Cabrera O, Carmen-Armas A, Arévalo P. Fluor Level in Water and Fluorosis in 6 To 12 Years Old Children, Quito, Ecuador. Kiru. 2016;13(1):60–4.
25. Yautibug E. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FLÚOR EN EL AGUA DE CONSUMO Y OTROS FACTORES ASOCIADOS CON LA PREVALENCIA DE FLUOROSIS EN NIÑOS DE 10-12 AÑOS DEL CANTÓN COLTA PROVINCIA CHIMBORAZO [Proyecto de investigación presentado como requisito previo a la obtención del título de Odontólogo]. [Quito]: Universidad Central del Ecuador; 2017.
26. Masabanda-Olivares J, Cabrera-Arias A, Armas-Vega A.). Prevalencia de fluorosis en menores de 4 a 15 años, según índice de Dean y su asociación con el nivel de flúor presente en el agua de consumo. Odontología Vital. 2021;35:56–64.
27. Jara D, Gonzáles G, Rodrigo E, Ruiz S. Concentración de fluoruro en agua potable, aguas termales y manantiales de 6 distritos de Santiago de Chuco, Perú. Revista “Ciencia y Tecnología”, Escuela de Postgrado - UNT. 2013;9(2):39–48.
28. Cuellar-Luna L, Molina-Esquivel E, del Puerto-Rodríguez A, Maldonado-Cantillo G, Gonzáles-Aguilar I, Sosa-Rosales M. Distribución espacial de los fluoruros en fuentes de abasto de aguas subterráneas en cuatro provincias de Cuba. Rev Cubana Hig Epidemiol. 2012;50(3):365–79.
29. Mera-Andrade J, Mera-Bustos J. ESTUDIO LITOESTRATIGRÁFICO Y EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE QUINGEO - LUDO - SIGSIG PROVINCIA DE AZUAY [Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Geólogo]. [Quito]: Escuela Politécnica Nacional; 2016.
30. Ruíz O, Narváez E, Pinto G, Raza X. Estudio del contenido natural del flúor en el agua de consumo humano en los abastecimiento del Ecuador. Ecuador; 1996.
31. Abanto-Alvarez J, Rezende K, Marocho S, Alves F, Celiberti P, Ciamponi A. Dental fluorosis: exposure, prevention and management. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2009 Feb 1;14(2):E103-7.

32. Azevedo MS, Goettems ML, Torriani DD, Demarco FF. Factors associated with dental fluorosis in school children in southern Brazil: a cross-sectional study. *Braz Oral Res.* 2014 May 16;28(1):1–7.
33. Borysewicz-Lewicka M, Opydo-Szymaczek J. Fluoride in Polish Drinking Water and the Possible Risk of Dental Fluorosis. *Pol J Environ Stud.* 2016;25(1):9–15.
34. Ekambaram M, Itthagarun A, King NM. Ingestion of Fluoride from Dentifrices by Young Children and Fluorosis of the Teeth - A Literature Review. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2011 Dec 1;36(2):111–22.
35. INEN. Sal para Consumo Humano. Requisitos. NTE INEN 57. Quito; 2015.
36. Chambers SA, Freeman R, Anderson AS, MacGillivray S. Reducing the volume, exposure and negative impacts of advertising for foods high in fat, sugar and salt to children: A systematic review of the evidence from statutory and self-regulatory actions and educational measures. *Prev Med (Baltim).* 2015 Jun;75:32–43.
37. Sánchez G, Peña L, Varea S, Mogrovejo P, Goetschel M, Montero-Campos M, et al. Conocimientos, percepciones y comportamientos relacionados con el consumo de sal, la salud y el etiquetado nutricional en Argentina, Costa Rica y Ecuador. *Revista Panamericana de Salud Pública.* 2012;32:259–64.
38. Viswanathan G, Raja PB, Thirumoorthy K, Deepa R, Siva Ilango S. Pathways of factors exacerbating dental fluorosis risk at high altitude regions — A review. *Environ Technol Innov.* 2020 Nov;20:101115.
39. USDA. Food safety information. High Altitude Cooking and Food Safety. Food safety information. High Altitude Cooking and Food Safety.; 2011.
40. Aguilar-Díaz FDC, Morales-Corona F, Cintra-Viveiro AC, de la Fuente-Hernández J. Prevalence of dental fluorosis in Mexico 2005-2015: a literature review. *Salud Publica Mex.* 2017 May 31;59(3, may-jun):306.
41. Mohammed SH, Habtewold TD, Abdi DD, Alizadeh S, Larijani B, Esmailzadeh A. The relationship between residential altitude and stunting: evidence from >26 000 children living in highlands and lowlands of Ethiopia. *British Journal of Nutrition.* 2020 Apr 28;123(8):934–41.
42. Vasant RA, Amaravadi V.R.L. N. A multigrain protein enriched diet mitigates fluoride toxicity. *J Food Sci Technol.* 2013 Jun 5;50(3):528–34.
43. Whitford G. The metabolism and toxicity of fluoride. Karger Publishers. Estados Unidos; 1996.