



CONCENTRACIÓN DE FLUORUROS EN AGUAS VOLCÁNICAS PARA CONSUMO HUMANO

FLUORIDE CONCENTRATION IN VOLCANIC WATERS FOR HUMAN INTAKE

Oscar Stivel Jojoa Nieto

Odontólogo

Estudiante de especialización en estadística aplicada

Facultad de ingeniería y ciencias básicas

Fundación Universitaria Los Libertadores - Bogotá

Correspondencia:

Calle 18 # 47 – 150 Pasto – Nariño – Colombia

Teléfono: +57 2 7336706

osjojoan@libertadores.edu.co

Andrés Salas Zambrano

Odontólogo

Magister en epidemiología – Escuela de Salud Pública -Universidad del Valle

Profesor Facultad de odontología - Universidad Cooperativa de Colombia – Pasto



Resumen:

Objetivo: Cuantificar la concentración de fluoruros de aguas nacientes en el volcán Galeras - Pasto - Colombia y determinar el riesgo para su consumo.

Materiales y métodos: Estudio ecológico exploratorio de corte longitudinal. Se analizaron 673 muestras de agua durante 30 días calendario, por potenciometría de ion selectivo para flúor con el equipo 692/pH ion Metrohm®. Se seleccionaron 8 conglomerados con dos puntos de medición en cada uno de ellos, el tanque de acueducto y una llave de cocina. Un conglomerado control, no se abastecía de agua del volcán. Se reportaron medianas ante la no distribución normal de los datos, y estadística no paramétrica para determinar diferencias entre grupos (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis) con significancia estadística $p < 0.05$.

Resultados: En los 16 puntos evaluados las concentraciones de fluoruros oscilaron entre 0.06 ppm y 0.25 ppm. Los conglomerados a excepción del acueducto urbano mantuvieron similaridad de concentraciones entre el tanque de acueducto y su llave de salida. No se encontraron diferencias en las concentraciones de fluoruros entre días secos y lluviosos. Se encontraron disminuidas las concentraciones fluoruros de aguas cloradas en comparación con no tratadas. **Conclusión:** Las aguas volcánicas que abastecen acueductos de la ciudad de Pasto, no representan riesgo para patologías asociadas a ingesta de fluoruros, aunque no alcanzan la concentración mínima para prevenir caries dental.

Palabras clave: Fluoruros, Abastecimiento de agua, Fluorosis dental, Agua potable, Volcanes, Potenciometria.



Abstract:

Objective: To quantify the concentration of fluorides in waters of the Galeras Volcano - Pasto – Colombia, and to establish the risk for its consumption.

Materials and methods: Ecological exploratory longitudinal study. 673 water samples were analyzed during 30 calendar days, by ion selective potentiometry for fluorides with 692 / pH ion Metrohm ® equipment. 8 clusters were selected with two measurement points in each of them, water supply and kitchen tap. A control cluster was established, for not supplied with water from the volcano. Medians were reported due to the non-normal distribution of the data, and non-parametric statistics to determine differences between groups (Mann-Whitney and Kruskal-Wallis) with statistical significance $p = <0.05$. **Results:** In the 16 points evaluated, fluoride concentrations ranged between 0.06 ppm and 0.25 ppm. The clusters, with exception of the urban area, maintained similar concentrations between the water supply and its kitchen tap. No differences were found in fluoride concentrations between dry and rainy days. The fluoride concentrations of chlorinated waters were found to be decreased compared to untreated waters. **Conclusion:** The volcanic waters that water supply in Pasto – Colombia, do not represent a risk for pathologies associated with fluoride intake, although they do not reach the minimum concentration to prevent dental caries.

Key words: Fluorides, Water Supply, Dental Fluorosis, Drinking-water, Volcanoes, Potentiometry



Introducción:

Pensando en salud pública, una dieta con crónicas y elevadas concentraciones de fluoruros ([F-]), está asociada con alteraciones de tiroides, retardos del crecimiento, y cambios comportamentales.^{1 2 3} Con exposición en la gestación, puede generar un disminuido coeficiente intelectual y bajas puntuaciones en test de funciones cognitivas, según estudios realizados en infantes.^{4 5} Ingesta a edades tempranas, está relacionada a fluorosis dental y/o esquelética y fracturas de cadera.⁶ En el mundo 200 millones de personas están expuestas a altas [F-]

¹ Carton RJ (2006) Revisión del Informe del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos de 2006: fluoruro en el agua potable. Opinión editorial invitada Fluoride 39 (3): 163–172

² Dhar V, Bhatnagar M (2009) Fisiología y toxicidad del fluoruro. Indian J Dent Res 20 (3): 350–355

³ Das K, Mondal NK (2016) Fluorosis dental y concentración de fluoruro urinario como un reflejo de la exposición al fluoruro y su impacto en el nivel de CI y el IMC de niños de Laxmisagar, Simlapal Block of Bankura District, WB, India. Environ Monit Assessment 188 (4): 218

⁴ Green R, Lanphear B, Hornung R, Flora D, Martínez-Mier A, Neufeld R, Ayotte P, Muckel G, Till C (2019) Asociación entre la exposición materna al fluoruro durante el embarazo y las puntuaciones de CI en la descendencia en Canadá. JAMA Ped 173 (10): 940–948

⁵ Bashash M, Thomas D, Hu H, Martínez-Mier EA, Sanchez BN, Basu N, Peterson KE, Ettinger AS, Wright R, Zhang Z, Liu Y, Schnaas L, Mercado-García A, Téllez-Rojo MM, Hernández- Avila M (2017) Exposición prenatal al fluoruro y resultados cognitivos en niños de 4 y 6-12 años en México. Perspectiva de salud ambiental 125 (9): 097017

⁶ Bulnes-López, RM, Ramón-Frías, Teresa, Bermudez-Ocaña, D., Juárez-Rojop, Isela, Borbolla-Sala, Manuel E., Piña-Gutiérrez, Olga E., Identificación de fluorosis dental en una población estudiantil universitaria en el Estado de Tabasco, México. Salud en Tabasco [Internet]. 2008;14(3):776-781. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711373003>



por fuentes naturales, distribuidas en al menos 25 países de todos los continentes, sobresaliendo regiones en India ^{7 8 9} y China ¹⁰ donde la exposición se relaciona al consumo de agua.

Si bien las fuentes de agua para consumo se pueden contaminar por fluoruros antropogenicamente por actividades industriales y agrícolas, ^{11 12 13 14 15 16} la

⁷ Gupta, S.K., Deshpande, R.D., Agarwal, M., Raval, B.R., 2005. Origin of high fluoride in groundwater in the North Gujarat-Cambay region, India. *Hydrogeol. J.* 13, 596–605.

⁸ Kundu, M.C., Mandal, B., Hazra, G.C., 2009. Nitrate and fluoride contamination in groundwater of an intensively managed agroecosystem: a functional relationship. *Sci. Total Environ.* 407, 2771–2782.

⁹ Viswanathan, G., Jaswanth, A., Gopalakrishnan, S., Siva Ilango, S., Aditya, G., 2009. Determining the optimal fluoride concentration in drinking water for fluoride endemic regions in South India. *Sci. Total Environ.* 407, 5298–5307

¹⁰ Guo, H., Zhang, Y., Xing, L., Jia, Y., 2012. Spatial variation in arsenic and fluoride concentrations of shallow groundwater from the town of Shagai in the Hetao Basin, Inner Mongolia. *Appl. Geochem.* 27, 2187–2196

¹¹ Kut KMK, Sarswat A, Srivastava A, Pittman CU Jr, Mohan D (2016) Una revisión del fluoruro en las aguas subterráneas africanas y los métodos locales de remediación. *Ground Sustain Develop* 2: 190–212

¹² Gilbert, N., 2012. Water under pressure. *Nature* 483, 256–257

¹³ Meybeck, M., Helmer, R., 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 75 (4), 283–309.

¹⁴ Meybeck, M., 2002. Riverine quality at the Anthropocene: propositions for global space and time analysis, illustrated by the Seine River. *Aquat. Sci.* 64, 376–393

¹⁵ Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277 (5325), 494–499.

¹⁶ Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Reidy Liermann, C., Davies, P.M., 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467, 555–561



actividad volcánica y la erosión de suelos altamente ricos en fluoruros, son fuentes de contaminación naturales,^{17 18 19} razón por la cual se ha reportado altas [F-] en regiones con marcada actividad volcánica,^{20 21} donde el lavado de la roca y la alta electronegatividad de los fluoruros, los hacen presentes en quebradas, ríos y/o lagunas en concentraciones alrededor de 0.5 partes por millón (ppm), en el mar 1.0 ppm y en mayores concentraciones en aguas subterráneas.²² En el agua para consumo la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un valor

¹⁷ Hardisson A, Rodríguez MI, Burgos A (2003) Fluoruro. En: Caballero B, Trigo L, Finglas P (eds) Enciclopedia de ciencias de la alimentación y nutrición. Prensa académica, Massachusetts, EE. UU.

¹⁸ Rodríguez MI, De Bonis A, León M^a C, Hardisson A, Sierra A (1995) Estudio de la concentración de fluoruro en aguas de abastecimiento público en tres municipios de la isla de Tenerife. III Congreso Iberoamericano de Toxicología y XI Jornadas de Toxicológicas Españolas, Tenerife, España

¹⁹ Loganathan P, Vigneswaran S, Kandasamy J, Naidu R (2013) Defluoridación del agua potable mediante procesos de adsorción. *J Hazard Mater* 248-249: 1–19

²⁰ Stewart C, Johnston DM, Leonard GS, Horwell CJ, Thordarson T, Cronin SJ (2006) Contaminación de los suministros de agua por caída de ceniza volcánica: una revisión de la literatura y un modelo de impacto simple. *J Volcanol Geotherm Res* 158: 296–306

²¹ Death C, Coulson G, Kierdorf U, Kierdorf H, Morris WK, Hufschmid J (2015) Fluorosis dental y contenido de fluoruro esquelético como biomarcadores de exposición excesiva al fluoruro en marsupiales. *Sci Total Environ* 533: 528–541

²² Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., Fewtrell, L., Magara, Y., 2006. Fluoride in Drinking Water. World Health Organization, London.



máximo de [F-] de 1.5 ppm²³, recomendando entre 0.7 a 1.2 ppm la dosis óptima para prevenir caries dental.²⁴

En Colombia el volcán Galeras es uno de los más activos y sobre sus faldas se asienta la ciudad de Pasto con 392.589²⁵ habitantes en 2020, de ellos el 45% tienen servicio de agua con acueductos urbanos y rurales que se abastecen de nacimientos hídricos del volcán Galeras, razón que considero analizar la [F-] con el propósito de conocer el potencial riesgo al desarrollo de patologías asociadas con la ingesta crónica y aumentada de fluoruros por ruta oral.

Materiales y métodos:

Estudio ecológico exploratorio de corte longitudinal, donde se seleccionaron 6 clústeres de zona rural y 1 de zona urbana de la ciudad de Pasto – Colombia, los cuales abastecen sus acueductos de aguas nacientes en el volcán Galeras. A manera de control, se seleccionó un octavo clúster, que su acueducto no se abastece del volcán Galeras, pero se encuentra en la misma área geográfica estudiada.

²³ Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

²⁴ World Health Organization. Environmental Health Criteria 227 – Fluorides Ginebra 2002

²⁵ Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia – DANE -Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018.



Por corresponder a muestras ambientales de un estudio no probabilístico, se diseñó un plan de recolección de 704 muestras de agua por conveniencia durante 1 mes, tres semanas con una muestra diaria por cada punto y una semana donde se tomó una muestra a las 8:00 am, otra a las 12:00m y otra a las 4:00pm. Así, 673 muestras de agua hicieron parte del estudio, con un porcentaje de respuesta del 95.59%, 31 muestras no se recogieron (4.41%), por no suministro del servicio de acueducto.

Este estudio tuvo en cuenta la declaración de Helsinki, tramitó aval ante comité de ética de la Universidad del Valle como una investigación con riesgo mínimo y solicitó a fontaneros de los acueductos participación voluntaria mediante consentimiento informado. Se midieron las variables: Coordenadas geográficas con el GPS Oregon 550, Hora de toma de muestra, Día de toma de muestra, Condición de lluvia del día de toma de muestra, Cloración del acueducto, Método de cloración y [F-] en ppm.

Las muestras fueron recolectadas en recipiente plástico de 120 cc3 llenado en su totalidad, rotulado y conservado en cadena de frio por un tiempo máximo de 24 horas, para ser analizadas por el laboratorio de salud pública del Instituto Departamental de Salud de Nariño aplicando el siguiente protocolo: En vaso plástico desechable de 10ml de muestra, se adiciono 10ml de TISAB II y se leyó con electrodo específico para flúor, por agitación constante y con medición directa del equipo 692/pH ion Metrohm ®, previa calibración mediante curva para medición de fluoruros, preparando una solución patrón de [F-] de 1.000ppm.



Se construyó base de datos en Excel y se exportó a Stata versión 12 para su análisis así: *Análisis Exploratorio*: Describió el comportamiento de datos mediante tablas y gráficas, presentando frecuencias, dispersión y valores extremos. Se realizaron pruebas para conocer el comportamiento de datos frente a distribuciones de normalidad.

Se estimaron porcentajes para las variables categóricas y se reportó mediana debido a la no distribución normal de datos con relación a la variable dependiente, [F-]. Se describió la tendencia diaria de la [F-] durante el mes de seguimiento para los conglomerados estudiados y se establecieron medianas y rangos intercuartílicos para los conglomerados de acuerdo con sitio de muestreo y días de seguimiento mensual y semanal. Las variables día con y sin lluvia y agua tratada y no tratada, compararon medianas mediante la prueba no paramétrica de Mann Whitney, por ser dicotómicas y la variable tipo de tratamiento de agua, usando Kruskal Wallis por ser politómica.

Se realizó control de posibles confusores y análisis de interacción, mediante modelos de regresión lineal de la concentración de fluoruros de acuerdo con las variables de lluvia y tipo de tratamiento por cloración de agua. No se incluyó en el modelo de regresión la variable tipo de agua (Cruda o tratada) por la colinealidad existente con la variable tipo de tratamiento. Para dar cuenta de la falta de independencia de mediciones hechas en un mismo conglomerado, se utilizaron métodos robustos que castigan la varianza de las estimaciones hechas en observaciones repetidas en una misma unidad de análisis o en el tiempo. La significancia estadística se estableció con un valor de $p < 0.05$



Resultados

La tabla I presenta los conglomerados medidos, el total de muestras de cada uno desde su sumatoria entre el punto acueducto (A) y llave de cocina (C) , porcentaje de equivalencia frente al total de muestras de cada clúster, media e intervalo de confianza al 95% de [F-] de cada punto, mediana y correspondiente límite inferior y superior. (medidas de tendencia central muy similares entre sí) Sin embargo, las comparaciones entre grupos se midieron desde el valor de la mediana, ante la no distribución normal de la variable [F-]. En el conglomerado “Mapachico” se presentaron los valores más altos de las medianas de la [F-], tanto en el punto “A” como en el “C” 0.25 ppm y en Pasto, el punto “C” (único clúster urbano) se presentó la mediana más baja 0.06 ppm.

Tabla I. Distribución de muestras de agua y concentración de fluoruros en aguas volcánicas por conglomerados y puntos analizados

Nombre del Conglomerado	Clústeres		Punto A y C		Media	IC95%	Mediana	Límites
	#	%	#	%	[F-]		[F-]	
Catambuco (Rural)	86	12,8	42	6,2	0,109	(0,10-0,11)	0,11	(0,06-0,16)
			44	6,5	0,103	(0,09-0,11)	0,10	(0,06-0,15)
Genoy (Rural)	78	11,6	39	5,8	0,179	(0,17-0,18)	0,18	(0,11-0,24)
			39	5,8	0,192	(0,18-0,20)	0,19	(0,15-0,26)
Gualmatan (Rural)	88	13,1	44	6,5	0,102	(0,09-0,10)	0,105	(0,07-0,14)
			44	6,5	0,112	(0,10-0,12)	0,11	(0,06-0,29)
Jongovito (Rural)	87	12,9	43	6,4	0,151	(0,14-0,15)	0,15	(0,12-0,20)
			44	6,5	0,143	(0,13-0,14)	0,14	(0,10-0,19)
Mapachico (Rural)	86	12,8	43	6,4	0,254	(0,24-0,25)	* 0,25	(0,22-0,28)

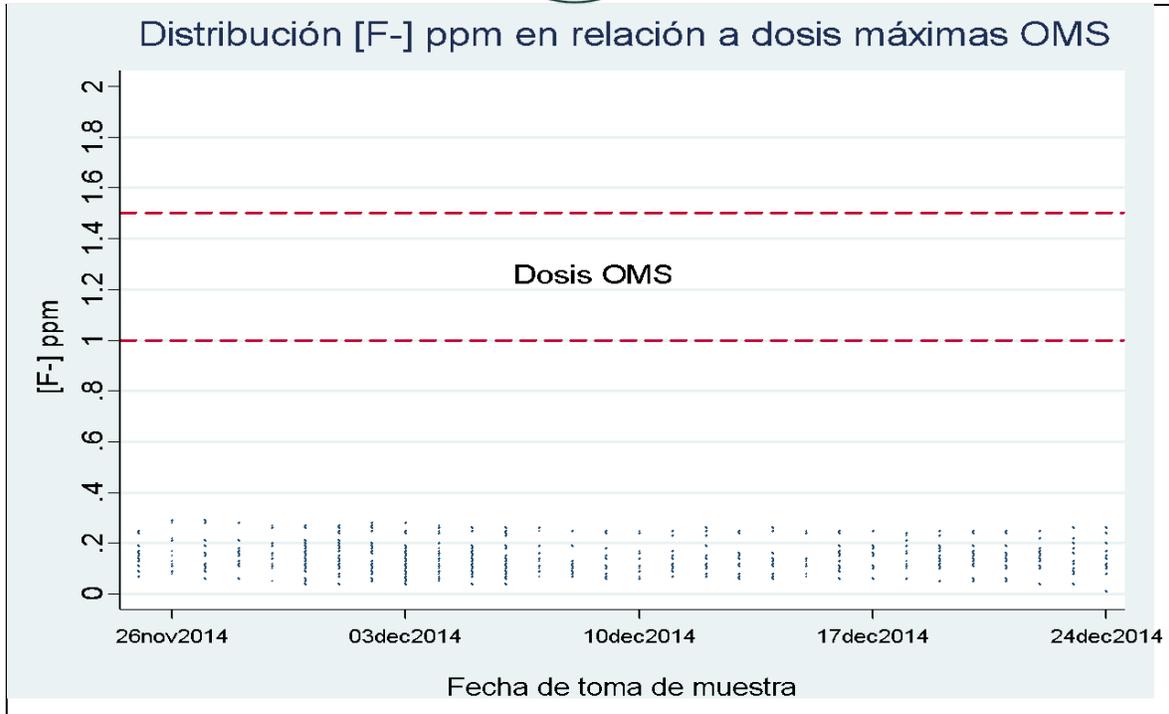


			43	6,4	0,251	(0,24-0,25)	* 0,25	(0,09-0,29)
Obonuco (Rural)	86	12,8	43	6,4	0,123	(0,11-0,12)	0,12	(0,08-0,19)
			43	6,4	0,116	(0,11-0,12)	0,12	(0,06-0,17)
Pasto (Urbano)	79	11,7	36	5,4	0,147	(0,13-0,15)	0,16	(0,06-0,20)
			43	6,4	0,061	(0,05-0,06)	** 0,06	(0,04-0,10)
Control (Rural)	83	12,3	43	6,4	0,106	(0,09-0,11)	0,10	(0,01-0,15)
			40	5,9	0,117	(0,11-0,12)	0,105	(0,08-0,16)
TOTAL	673	100					* Máxima	[F-]
							** Mínima	[F-]

La gráfica I presenta para cada uno de los treinta días de seguimiento, las [F-] de cada punto medido, mismas que en ningún momento presentaron valores superiores a 0.3 ppm. De esta manera, ninguna muestra de agua superó la dosis máxima permitida por la OMS, no significando riesgo a fluorosis dental y/o esquelética. (Ver gráfica I)

Gráfica I

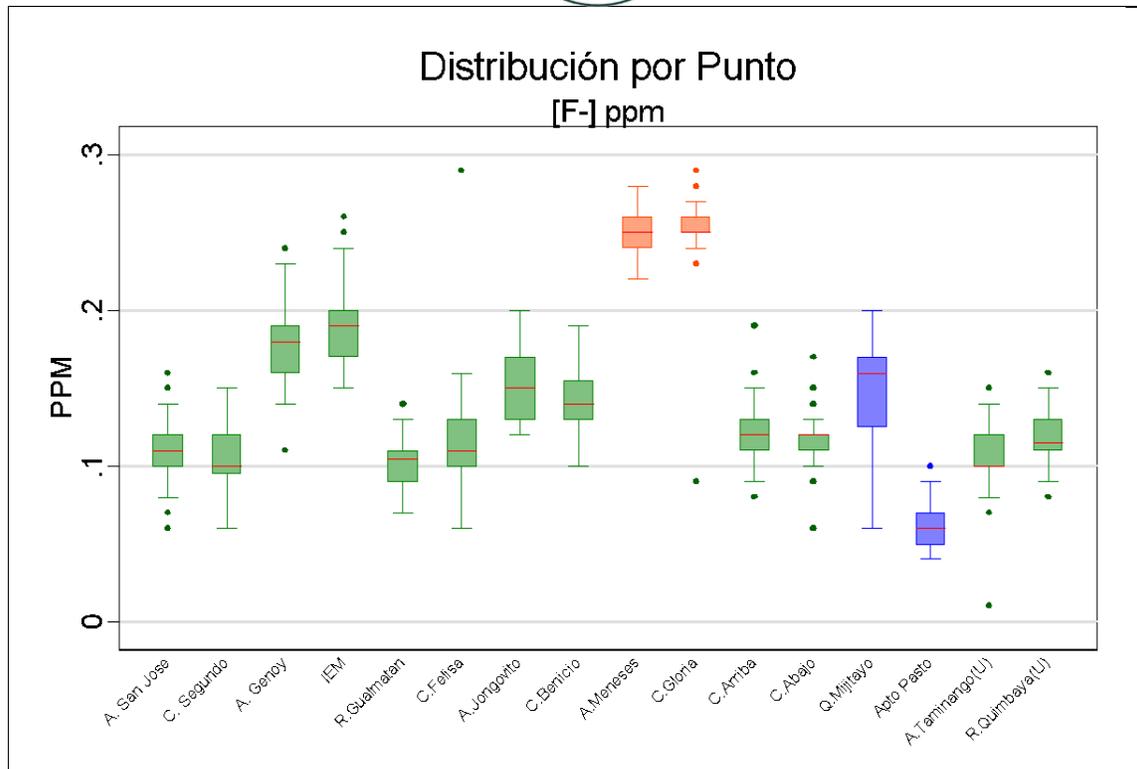
Concentración de fluoruros con relación a dosis permitidas por la OMS



La gráfica II muestra las oscilaciones de las [F-] durante los 30 días de seguimiento de los puntos “A” y “C” en los 16 puntos de los 8 clústeres. Con pequeñas oscilaciones se observan valores atípicos tanto superiores como inferiores en la mayoría de los puntos medidos, manteniendo entre ellos medianas similares, a excepción del clúster correspondiente a la única zona urbana del área estudiada, el cual no solo presentó la mayor variación de mediana de [F-] entre el punto “A” y “C”, sino que también fue el que presentó la menor [F-] durante todo el tiempo del estudio. El clúster que presentó la mayor [F-] denominado “Mapachico”, mantuvo este comportamiento en comparación con los otros 7 clústeres, como también presento una oscilación constante y similitud entre sus dos puntos de medición. (Ver gráfica II)

Gráfica II

Concentración de fluoruros por puntos dentro de cada clúster



Kruskal-Wallis: $p = 0.001$

La tabla II presenta la comparación de medianas de [F-] en agua de origen volcánico entre días de lluvia y secos, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre estas observaciones. (Ver tabla II)

Tabla II

Concentración de fluoruros según clima.

Clima	#	%	Mediana [F-]	Limites	p
Lluvia	338	50,2	0,13	(0,04-0,26)	0.54*
Seco	335	49,8	0,12	(0,04-0,28)	
TOTAL	673	100			

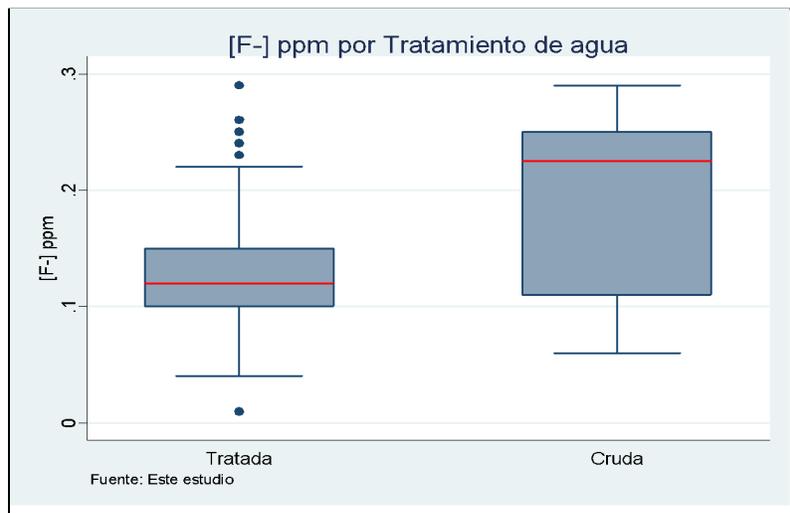
* Mann – Whitney



La gráfica III muestra la comparación de medianas de [F⁻] entre aguas que reciben cloro para potabilizarse y aquellas que se distribuyen sin tratamiento para su consumo (crudas). Se encontró diferencias estadísticamente significativas entre estas observaciones, siendo las aguas tratadas con algún sistema de cloración (granulado, goteo o gaseoso) las que presentaron una menor [F⁻] en comparación con las no tratadas. (Ver gráfica III)

Gráfica III

Concentración de fluoruros por tratamiento de cloración o no de agua



* Mann-Whitney: $p = 0.0000$

Discusión:

Los hallazgos de este estudio muestran que [F⁻] en agua con nacimiento volcánico no excedieron los límites de la OMS, considerándose seguras para consumo humano, en contraste a estudios en Asia, África y unos pocos en América, donde han mostrado [F⁻] que oscilan entre valores seguros y no, indistintamente a estar en suelos volcánicos o haberse medido en pozos subterráneos.



En este sentido y con detalle en aguas subterráneas, se observan tres estudios en India, un primero que presenta variaciones de 0.04 a 8.2 ppm, donde el 85% de las muestras presentaron valores por encima del límite permisible ²⁶ un segundo estudio con valores de 0.10 a 3.3 ppm donde el 26% de las muestras no eran aptas para consumo ²⁷ y un tercer estudio entre 0.08 a 4.79 ppm, excediendo el límite de la OMS en el 50% de las muestras.²⁸ Así mismo, un estudio en Etiopia, con variaciones de 0.2 a 5.60 ppm y una media de 2.10 ppm, donde el 51,72% de los pozos estaban altamente contaminados por fluoruros, ²⁹ como también un

²⁶ Keesari T, Pant D, Roy A, Sinha UK, Jaryal A, Singh M, Jain SK. Fluoride Geochemistry and Exposure Risk Through Groundwater Sources in Northeastern Parts of Rajasthan, India. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2021 Jan;80(1):294-307. doi: 10.1007/s00244-020-00794-z. Epub 2021 Jan 3. PMID: 33388840.

²⁷ Karunanidhi D, Aravinthasamy P, Subramani T, Muthusankar G. Revealing drinking water quality issues and possible health risks based on water quality index (WQI) method in the Shanmuganadhi River basin of South India. *Environ Geochem Health*. 2021 Feb;43(2):931-948. doi: 10.1007/s10653-020-00613-3. Epub 2020 Jun 15. PMID: 32557129.

²⁸ Kumar R, Mittal S, Sahoo PK, Sahoo SK. Source apportionment, chemometric pattern recognition and health risk assessment of groundwater from southwestern Punjab, India. *Environ Geochem Health*. 2021 Feb;43(2):733-755. doi: 10.1007/s10653-020-00518-1. Epub 2020 Feb 6. PMID: 32026170.

²⁹ Haji M, Karuppanan S, Qin D, Shube H, Kawo NS. Potential Human Health Risks Due to Groundwater Fluoride Contamination: A Case Study Using Multi-techniques Approaches (GWQI, FPI, GIS, HHRA) in Bilate River Basin of Southern Main Ethiopian Rift, Ethiopia. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2021 Jan;80(1):277-293. doi: 10.1007/s00244-020-00802-2. Epub 2021 Jan 3. PMID: 33392776.



estudio en México, donde las oscilaciones fueron 0.20 a 3.50 ppm³⁰ medidas con potenciometría de ion selectivo, al igual que los datos del presente estudio.

Con detalle en mediciones de aguas volcánicas, se comparan los resultados de la presente investigación con un estudio en Tanzania, donde según el tipo de roca volcánica, se mostraron [F-] por debajo de 1.5 ppm, algunas extremadamente bajas como las del presente estudio, pero especificando diferentes tipos de suelo volcánico, donde el 96% de las muestras de agua superaban el 1.5 ppm³¹, sugiriendo caracterizar los entornos hidrogeológicos con precisión, al potencialmente estar contaminados naturalmente, lo que puede explicar diferencias en un mismo espacio volcánico. Mediciones en México, concluyen que las [F-] más altas están en acuíferos aluviales del árido norte Mexicano, donde la roca volcánica con alto contenido de sílice probablemente libera arsénico y fluoruro al agua subterránea.³² Por su parte en Irán, se presentan conclusiones

³⁰ 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 Monit Assess*. 2020 Oct 18;192(11):712. doi: 10.1007/s10661-020-08675-7. PMID: 33070268.

³¹ Ijumulana J, Ligate F, Bhattacharya P, Mtalo F, Zhang C. Spatial analysis and GIS mapping of regional hotspots and potential health risk of fluoride concentrations in groundwater of northern Tanzania. *Sci Total Environ*. 2020 Sep 15;735:139584. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139584. Epub 2020 May 21. PMID: 32485458.

³² Alarcón-Herrera MT, Martín-Alarcon DA, Gutiérrez M, Reynoso-Cuevas L, Martín-Domínguez A, Olmos-Márquez MA, Bundschuh J. 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 Jan 1;698:134168. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134168. Epub 2019 Aug 29. PMID: 31505353.



según variabilidad de actividad volcánica, donde las [F-] más altas se observaron en fuentes frías del volcán, mientras que fuentes termales mostraron contenidos mínimos de fluoruros.³³

La presente investigación no mostro diferencias significativas en [F-], según la estación climatológica de lluvia o tiempo seco, como también lo concluye un estudio realizado en Bangladesh, aunque presentó un 11,89% de muestras que excedieron 1.0 ppm y 3.9% superaron 1.5 ppm en estación de lluvia y el 24.50% excedieron 1.0 ppm y 7.28% superaron 1.5 ppm en época seca.³⁴

En relación a potabilización del agua usando cloro, esta investigación mostro diferencias estadísticamente significativas en relación a tener mas bajas [F-] cuando hay tratamiento del agua por este medio, dato comparable con un estudio realizado en Arabia Saudita, ³⁵ donde se observa que las muestras de agua filtrada, (sin especificar tratamiento con cloro) presentan menores concentraciones

³³ Naderi M, Jahanshahi R, Dehbandi R. Two distinct mechanisms of fluoride enrichment and associated health risk in springs' water near an inactive volcano, southeast Iran. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020 Jun 1;195:110503. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110503. Epub 2020 Mar 28. PMID: 32229352.

³⁴ Rahman MM, Bodrud-Doza M, Siddiqua MT, Zahid A, Islam ARMT. Spatiotemporal distribution of fluoride in drinking water and associated probabilistic human health risk appraisal in the coastal region, Bangladesh. *Sci Total Environ.* 2020 Jul 1;724:138316. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138316. Epub 2020 Mar 31. PMID: 32272415.

³⁵ Das G, Tirth V, Arora S, Algahtani A, Kafeel M, Alqarni AHG, Saluja P, Vij H, Bavabeedu SS, Tirth A. Effect of Fluoride Concentration in Drinking Water on Dental Fluorosis in Southwest Saudi Arabia. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Jun 1;17(11):3914. doi: 10.3390/ijerph17113914. PMID: 32492867; PMCID: PMC7312808.



que las aguas de pozos subterráneos (entendidas sin tratamiento); en similar análisis, un estudio en China, reportó agua potable de grifo con valores entre 0.100 a 0.503 ppm, y un promedio de 0.238 ± 0.045 ppm.³⁶

Como limitaciones de este estudio, a pesar de tener un seguimiento diario de acueductos nacientes en el volcán Galeras durante un mes, es posible que aun sea un periodo de tiempo corto para evaluar las [F-]. En consecuencia, se necesitaría hacer mediciones en otras épocas del año o incluso en otras circunstancias de mayor actividad volcánica, recomendando también hacer investigaciones a profundidad sobre el efecto de la cloración del agua en la potencial disminución de las [F-], como una alternativa de salud pública en zonas endémicas de fluorosis.

En conclusión, de mantener este comportamiento, las aguas nacientes en el volcán Galeras que abastecen acueductos de la ciudad de Pasto, no representan riesgo para patologías crónicas asociadas a ingesta de fluoruros, pero tampoco tienen la concentración mínima para prevenir caries dental.

Referencias

³⁶ Zheng D, Liu Y, Luo L, Shahid MZ, Hou D. Spatial variation and health risk assessment of fluoride in drinking water in the Chongqing urban areas, China. *Environ Geochem Health*. 2020 Sep;42(9):2925-2941. doi: 10.1007/s10653-020-00532-3. Epub 2020 Feb 15. PMID: 32062738.