

**FLUORUROS EN AGUAS DE ORIGEN VOLCÁNICO QUE ABASTECEN
ACUEDUCTOS DE LA CIUDAD DE PASTO – COLOMBIA – 2014: UNA
EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN PARA DETERMINAR RIESGOS A LA SALUD.**

**LUIS ANDRES SALAS ZAMBRANO
AUTOR**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA
CALI 2016**

**FLUORUROS EN AGUAS DE ORIGEN VOLCÁNICO QUE ABASTECEN
ACUEDUCTOS DE LA CIUDAD DE PASTO – COLOMBIA – 2014: UNA
EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN PARA DETERMINAR RIESGOS A LA SALUD.**

**LUIS ANDRES SALAS ZAMBRANO
AUTOR**

**FABIAN MENDEZ PAZ MD PhD
TUTOR**

**TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR EL TITULO DE MAGISTER EN EPIDEMIOLOGIA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA
MAESTRIA EN EPIDEMIOLOGIA
CALI 2016**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de alcanzar un logro más.

A Luis y Mery, de quienes aprendí la perseverancia y paciencia.

A Mónica y David, para mostrarles un ejemplo y que pronto me superen.

A Oscar, por su valentía, entusiasmo y enseñarme a creer.

A mi abuelita Cecilia y mi hermano Francisco, quienes desde su descanso en paz,
velan por mí.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Fabián Méndez Paz, por compartir sus conocimientos, instruirme en el desarrollo de esta investigación, motivarme en una sola clase a trabajar en epidemiología ambiental y seguir trabajando en ella.

A la Universidad Cooperativa de Colombia y directivas de la sede Pasto doctora Tania Bolaños y doctor Diego Díaz, por el apoyo económico y de tiempo para el desarrollo de la maestría.

Al doctor Víctor Hugo Villota, decano de la facultad de odontología de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Pasto, por el impulso y apoyo permanente para mi cualificación profesional.

Al Doctor Alfredo Rigalli en la Universidad Nacional de Rosario en Argentina, por permitirme la pasantía en el laboratorio de biología ósea, donde me entrené en la medición de fluoruros y me acerque al apasionante mundo de la química del flúor.

A la doctora Lucy Bravo en el laboratorio de salud pública y en su nombre a las directivas del instituto departamental de salud de Nariño, por el apoyo y su trabajo en la lectura de las muestras de agua de este estudio.

A la enfermera Ruth Cecilia de la Cruz como directora de salud pública del municipio de Pasto y en su nombre a la secretaria de salud de la alcaldía municipal de Pasto, por su apoyo en logística para la recolección de muestras de esta investigación y al Ingeniero Harold Zamora en la oficina de saneamiento ambiental por los permisos y ubicación de los puntos de recolección de muestras.

A mis estudiantes del semillero de investigación “Estomodeo” Lorena Zambrano, Oscar Jojoa, Luis Alberto Carlosama, Esteban Arciniegas, Fernanda Viteri, Margarita Solarte y Fabián Cerón, por acompañarme durante más de cuatro semestres en el desarrollo de esta investigación.

Al doctor Franco Andrés Montenegro y la doctora Karol Rosero, en la Universidad Cooperativa de Colombia sede Pasto, quienes desde su experiencia en biología y química, me apoyaron en las fases iniciales de este estudio.

A los geógrafos Daniel Cuartas en la Universidad del Valle y Carlos Torres en la Universidad de Nariño, por el apoyo y sus enseñanzas en los mapeos de esta investigación.

A los presidentes de las juntas administradoras de acueductos, fontaneros, propietarios de predios y directivas de instituciones educativas, quienes permitieron y colaboraron en la recolección de muestras de esta investigación.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, _____
Día – Mes – Año

TABLA DE CONTENIDO

1	FORMULACION DEL PROBLEMA	16
1.1	Planteamiento del problema.....	16
1.2	Pregunta de investigación	18
2	MARCO TEORICO	19
3	ESTADO DEL ARTE	21
3.1	Fluorosis dental	21
3.1.1	Definición	21
3.1.2	Patogénesis.....	21
3.1.3	Características clínicas	22
3.1.4	Epidemiología	22
3.1.5	Consecuencias	25
3.2	Fuentes de fluoruros en la naturaleza	25
3.2.1	Química del flúor.....	25
3.2.2	Producción de flúor en la naturaleza	25
3.3	Movilización del flúor en el ambiente.....	26
3.3.1	Flúor en las aguas	27
3.3.2	Flúor en el aire.....	27
3.3.3	Flúor en el suelo	28
3.3.4	Flúor en los alimentos.....	29
3.3.5	Flúor en productos no dietarios	30
3.3.6	Biomagnificación.....	30

3.4	Exposición de los individuos a fluoruros.....	30
3.5	Metabolismo del flúor	31
3.5.1	Absorción.....	31
3.5.2	Distribución	33
3.5.3	Eliminación	34
3.6	Biomarcadores	35
3.7	Medición de Flúor en matrices ambientales	35
3.7.1	Métodos colorimétricos:	35
3.7.2	Métodos potenciométricos:	36
3.7.3	Medición de Fluoruros en el agua.....	37
3.8	Aspectos de las dosis de flúor en los individuos	38
3.9	Vigilancia epidemiológica del flúor en Colombia	38
3.10	Marco geográfico	39
3.11	Estudios de relacionados	41
4	OBJETIVOS	43
4.1	Objetivo general	43
4.2	Objetivos específicos	43
5	JUSTIFICACION	43
6	METODOLOGIA	44
	Tipo de estudio	44
	Recolección de la información	44
	Área de estudio	47
	Conglomerados (Población).....	47
	Criterios de inclusión.....	48
	Criterios de exclusión.....	48

Muestra	48
Análisis de datos	48
Consideraciones éticas	50
7 RESULTADOS	51
8 DISCUSION.....	68
8.1 <i>Hallazgos principales:</i>	68
8.2 <i>Fortalezas y Debilidades:</i>	73
8.3 <i>Implicaciones en salud pública:</i>	74
8.4 <i>Futuros estudios:</i>	75
9 RECOMENDACIONES.....	76
10 BIBLIOGRAFÍA.....	77

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema # 1. Modelo de riesgo completo.....	13
Esquema # 2. Modelo de evaluación de riesgos.....	14
Esquema # 3. Flujos de flúor y fluoruros en la atmosfera.....	20
Esquema # 4. Vías y rutas de exposición a fluoruros para los individuos.....	25

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración #1. Vista exterior y corte longitudinal de un electrodo.....	30
--	----

LISTA DE FOTOS

Foto # 1. Equipo potenciométrico para fluoruros 692/pH Metrohm®.....	31
Foto # 2. Procedimientos para recolección y rotulado – Tanque inmersión.....	39
Foto # 3. Procedimientos para recolección y rotulado – Tanque llenado.....	39
Foto # 4. Procedimientos para recolección y rotulado – Salida.....	39
Foto # 5. Procedimientos para recolección y rotulado – Rotulado.....	39
Foto # 6. Preparación de la muestra – Buffer.....	40
Foto # 7. Preparación de la muestra para lectura.....	40
Foto # 8. Lectura de la muestra.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla # 1. Relación de estudios sobre fluorosis dental en Colombia.....	18
Tabla # 2. Conglomerados objeto de estudio.....	42
Tabla # 3. Distribución de las muestras de agua y concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según puntos y conglomerados.....	45
Tabla # 4. Distribución de las muestras de agua y concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según clima.....	46
Tabla # 5. Regresión de las variables lluvia y tipo de tratamiento de agua, para aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014.....	56

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica # 1.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, frente a dosis OMS.....	46
Gráfica # 2.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según conglomerados	47
Gráfica # 3.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según puntos de toma de muestra.....	48
Gráfica # 4.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según fecha de la toma de muestra.....	48
Gráfica # 5.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según seguimiento semanal por día y jornada de medición	48
Gráfica # 6.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado control – Catambuco urbano (U).....	50
Gráfica # 7.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Catambuco versus el control.....	51
Gráfica # 8.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Gualmatan versus el control.....	51

Gráfica # 9.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Obonuco versus el control.....	52
Gráfica # 10.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Jongovito versus el control.....	52
Gráfica # 11.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Genoy versus el control.....	53
Gráfica # 12.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Pasto versus el control.....	53
Gráfica # 13.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según lluvia.....	54
Gráfica # 14.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tipo de agua.....	55
Gráfica # 15.Distribución de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tipo de tratamiento de agua.....	56

LISTA DE MAPAS

Mapa # 1. Países endémicos de fluorosis por altas concentraciones de flúor en agua de consumo.....	17
Mapa # 2. Corregimientos del municipio de Pasto.....	34
Mapa # 3. Puntos de muestreo para concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto - 2014.....	57
Mapa # 4. Kriging de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen tanques de acueductos de Pasto - 2014.....	58
Mapa # 5. Distribución espacial de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen tanques de acueductos Pasto – 2014.....	59
Mapa # 6. Kriging de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico de llaves de salida de acueductos de Pasto - 2014.....	60
Mapa # 7. Distribución espacial de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico en llaves de salida de acueductos Pasto – 2014.....	61

1 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Los fluoruros en cantidades adecuadas son elementos importantes en la disminución de la caries dental, sin embargo su ingestión excesiva por periodos prolongados a edades tempranas causan toxicidad, manifestándose con el desarrollo de fluorosis esquelética, fracturas de cadera y fluorosis dental, siendo esta última patología, un indicador de sobreexposición a fluoruros.¹

La fluorosis dental (FD) es un importante problema de salud pública y se ha definido como el cambio en la apariencia del esmalte dental a causa de un largo periodo de ingestión de fluoruros durante el tiempo de formación dental.² Esta patología se ha clasificado como una enfermedad endémica en al menos 25 países del mundo, aunque el número de individuos afectados con fluorosis dental en el mundo es desconocido, se ha estimado que alrededor de 10 millones de personas padecen esta condición.³ La mayoría de estudios sobre fluorosis dental se han realizado en la India y han mostrado una prevalencia que oscila entre un 70% a un 100% en poblaciones donde los niveles de fluoruros en agua se encontraron entre 0.4 a 29 mg/L.⁴ Aunque pocos estudios sobre prevalencia de fluorosis se han realizado en Colombia, el tercer estudio nacional de salud bucal (ENSAB III) reportó que la prevalencia de fluorosis dental en la población menor de 19 años, fue 11.5%, la mayoría de afectados presentaban fluorosis muy leve y leve y solo el 0.8% moderada y severa.⁵

Para establecer las causas de la fluorosis dental se deben evaluar diferentes vías de ingreso de los fluoruros al organismo: la tópica, la inhalación y la ingestión; aunque las dos primeras generalmente no revisten mayor relevancia en la toxicidad, por su bajo poder de asimilación.⁶ En consecuencia, la ruta oral es la de mayor importancia para la etiología de la fluorosis, debido al sistema de transporte pasivo del fluoruro, que es absorbido por la mucosa gástrica y depositado en dientes y huesos. De esta manera, la ingesta crónica de agua con concentración aumentada de fluoruro, se ha relacionado como la principal causa para la ocurrencia de la fluorosis dental.⁷ Para el control de esta patología, la organización mundial de la salud (OMS) ha recomendado que el límite máximo de concentración de fluoruros en el agua de consumo sea de 1.5 mg/L. Sin embargo este valor puede ser menor lugares cálidos, debido al mayor consumo de agua donde una concentración segura para evitar fluorosis es de 1.0 mg/L.⁸ Se debe tener en cuenta, además, que la concentración de fluoruros en el agua puede depender de su contenido natural o de su contaminación por fuentes externas. Así, se ha referenciado que el consumo de aguas nacientes o cercanas a volcanes

o algunas industrias tiene una fuerte correlación con la prevalencia de fluorosis dental.⁹

Dentro de los efectos adversos de exponerse a concentraciones elevadas de fluoruros por fuentes hídricas, se ha descrito la presencia de bandas amarillas o cafés, esmalte moteado o pérdida de la continuidad del mismo, lo que produce afectaciones estéticas y discontinuidad en la superficie del esmalte haciéndolo más susceptible al desarrollo de caries dental¹⁰ y al mismo tiempo generando problemas psicológicos y mayor gasto en la atención de tratamientos odontológicos. Al mismo tiempo, la cronicidad ante la exposición a fluoruros en agua genera fluorosis esquelética con discapacidad, con lesiones y deformidades óseas, artropatías, fibrilación muscular, dolores retroesternales, trastornos neurológicos y gastrointestinales.¹¹ La enfermedad se ha asociado también a otosclerosis, efectos adversos en las células hepáticas,¹² y a mutaciones en células humanas en estudios *in vitro*.¹³

La fluorosis dental puede ser prevenida mediante monitoreo de las concentraciones de fluoruros en el agua, como también con educación a padres y cuidadores de la población expuesta. Estas son las mejores medidas para evitar la ocurrencia de la enfermedad, debido a que la eliminación del exceso de fluoruros del agua potable puede resultar difícil y costosa. Sin embargo existen soluciones de bajo costo que se pueden aplicar a nivel local, siendo importante que las autoridades estudien detenidamente las causas de fluorosis y elijan los medios más idóneos para corregir la exposición excesiva al fluoruro.¹⁴

En Colombia, desde 1970 están disponibles en el mercado productos cosméticos dentales que contienen fluoruros para la prevención de caries, y desde 1989 existe el programa de fluoración de la sal de consumo humano, como una medida de cobertura pública para la prevención de caries, manteniendo concentraciones de fluoruros entre 180 a 220 partes por millón (ppm) de F/kg sal. La norma técnica para la prevención de caries¹⁵ incluye el uso de fluoruros en gel y recientemente en barnices de flúor para aplicación profesional. No obstante, aunque las aplicaciones de flúor existen como metas de coberturas de promoción y prevención en salud bucal, no hay análisis de la indicación o no para el uso de los mismos en los individuos. En particular, si los individuos que viven en zonas cercanas a los volcanes o a fábricas que en sus procesos utilizan fluoruros, se necesitan investigaciones en salud pública que den cuenta del potencial riesgo de exposiciones excesivas a estos elementos químicos.

A finales del año 2011 el Instituto Nacional de Salud (INS) aplicó el protocolo de vigilancia y control centinela de la exposición a flúor¹⁶ el cual contempla dentro de otros objetivos: “Evaluar el cumplimiento de las concentraciones de flúor establecidas para el agua y la sal, identificar la presencia de riesgo en la exposición al flúor, mediante la confrontación de la prevalencia de caries y fluorosis y el cumplimiento de las concentraciones de flúor normadas.” Sin embargo, dado que este protocolo aún se encuentra dentro de la estrategia de vigilancia centinela pasiva rutinaria, es difícil que las unidades primarias

generadoras de datos, soliciten, tomen o conozcan la concentración de fluoruros provenientes de las aguas utilizadas para consumo por parte de las poblaciones que clínicamente muestran casos de fluorosis dental; más exactamente en lo relacionado al monitoreo químico, contemplado en el protocolo del INS, y a la luz del decreto 1575 y Resolución 2115 de 2007 ¹⁷

Teniendo en cuenta que un 45% de los 434.486 habitantes¹⁸ (tanto en sector urbano como el rural) de la ciudad de Pasto consumen diariamente el agua que proviene de los acueductos de las faldas del volcán Galeras, es necesario desarrollar una investigación que evalúe el peligro que ofrecen los fluoruros en diferentes matrices ambientales. En particular, se debe conocer si las concentraciones de fluoruros de origen natural provenientes del volcán Galeras y que abastecen algunos acueductos urbanos y rurales de la ciudad de Pasto, son una fuente potencial de sobreexposición a fluoruros en la población del área de influencia, con el fin de aportar a la toma de decisiones.

1.2 Pregunta de investigación

En consecuencia y para conocer si las poblaciones de un sector del área urbana y de la zona rural occidental de la ciudad Pasto, (correspondiente a los corregimientos de Catambuco, Jongovito, Gualmatan, Obonuco, Mapachico, y Genoy) consumen agua que sobrepasa las concentraciones óptimas de fluoruros, se formularon las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué niveles de concentración de fluoruros tienen las aguas de consumo utilizadas por la población residente en el área de influencia del volcán Galeras, y dichas concentraciones sobrepasan lo establecido como niveles seguros por la OMS?

¿Qué factores de las condiciones del clima y del tratamiento del agua se asocian a la concentración de fluoruros de los acueductos?

2 MARCO TEORICO

La epidemiología ambiental estudia los efectos de las exposiciones ambientales en la salud de la población. Para ello debe caracterizar las fuentes de los agentes externos y las rutas y vías potenciales que deben recorrer esos agentes para llegar a un individuo, teniendo en cuenta cómo las prácticas hacen posible o no la exposición.¹⁹

Para el desarrollo de esta investigación se tomó el modelo del riesgo completo,²⁰ debido a la importancia que revisten variables ambientales en la etiología de la fluorosis dental, este último modelo fue adaptado con un nuevo constructo que indagó y analizó a la luz del actual estado del arte las más influyentes variables ambientales que pueden modificar la concentración de fluoruros, disponibles para ser ingeridos por ruta oral.

Para establecer el vínculo entre fuentes de contaminantes y sus efectos en la población se requiere el conocimiento de los cinco componentes fundamentales que conforman el modelo de riesgo completo.

Esquema 1. Modelo del Riesgo Completo



Esta investigación abordó el constructo relacionado con la “exposición” el cual se define como el contacto entre un agente y un receptor. En este contexto “agente” es un elemento químico, biológico o físico que puede causar efectos nocivos en un receptor después de ponerse en contacto con él, para este caso, son los fluoruros disueltos en el agua de consumo. Para los fines de una evaluación de la exposición, el origen de un agente se llama “fuente” y para este caso es el volcán Galeras, ubicado en las coordenadas 1° 13' 43,8" de latitud norte y 77° 21' 33,0" de longitud oeste.

El curso que hace un “agente” desde la “fuente” al “receptor” se denomina “vía de exposición”, y la forma como un “agente” entra en un “receptor” después del contacto es la “ruta de exposición”. Esta investigación también se aproximó a la vía de exposición, esquematizando el movimiento del agente contaminante en el ambiente desde el volcán a los acueductos, como también a conocer a que dosis del mismo están expuestos los individuos residentes en la zona de estudio. Estos

límites en la investigación, proponen seguir haciendo estudios que abarquen temáticas relacionadas con las rutas que los fluoruros toman en el receptor como también los efectos a corto y largo plazo que estos ocasionan en una población geográficamente naturalmente expuesta.

Adicionalmente para esta investigación se relacionó el modelo de la exposición a riesgos.²¹ En esta evaluación se determina si existe una amenaza potencial que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a todos los productos tóxicos presentes en un sitio. Este modelo incluye los siguientes constructos:

Esquema 2. Modelo de Evaluación de Riesgos



La identificación de peligros: Es determinación si un producto químico en particular está o no causalmente vinculado a efectos salud. Incluye la identificación de fuentes del contaminante.

La evaluación de peligros: También llamado evaluación de la dosis respuesta. Permite determinar la relación entre la magnitud de la exposición y la probabilidad de la ocurrencia del efecto de salud en cuestión.

La evaluación de la exposición: Es la determinación del grado de exposición de las personas antes o después de los controles reglamentarios establecidos.

Caracterización de riesgos: Es la descripción de la naturaleza y magnitud de los riesgos incluyendo su incertidumbre.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Fluorosis dental

3.1.1 Definición

La fluorosis dental es una condición irreversible caracterizada por un defecto cualitativo del esmalte (hipomineralización) debido a la exposición crónica de altos niveles de fluoruro durante el desarrollo del diente,^{22 23} que resulta por el aumento en la concentración de fluoruro en el microambiente de los ameloblastos durante la formación del esmalte. En las formas más graves, la fluorosis dental puede manifestarse también como un defecto cuantitativo (hipoplasia).²⁴

El fluoruro interactúa con los tejidos en el proceso de mineralización y cuando está presente en exceso, trastorna el desarrollo del esmalte dental. A medida que aumenta la gravedad de la fluorosis, los cambios en la porosidad del esmalte de la sub-superficie se extienden con más profundidad en el tejido produciendo áreas hipomineralizadas cubiertas por una zona de tejido altamente mineralizado, llegando a afectar la superficie completa del esmalte.²⁵

3.1.2 Patogénesis

Durante el desarrollo del esmalte, los ameloblastos producen grandes cantidades de proteínas que sirven de soporte para el depósito organizado de los cristales de fosfato de calcio en forma de hidroxiapatita. El esmalte que se desarrolla en presencia de altas concentraciones de fluoruro tiene como característica mayores niveles de proteínas y menor contenido de minerales. Existe una relación directa entre altas concentraciones de fluoruro en el medio y la cantidad de proteínas residuales en el esmalte dando origen al esmalte hipomineralizado fluorótico. Se ha evidenciado que la administración de fluoruro produce una disminución de la síntesis y secreción de proteínas del esmalte como amelogenina, ameloblastina y enamulina, lo cual desfavorece el depósito correcto de la hidroxiapatita. Adicionalmente, a causa de los altos niveles de fluoruro ocurre, ya sea una disminución de la síntesis y secreción de KLK-4 o una inhibición de su actividad que conduce a la retención de la amelogenina en la matriz, lo cual retrasa la mineralización final del esmalte y contribuye a la hipomineralización sub-superficial característica de la fluorosis. En el mismo sentido, se ha propuesto que la mayor afinidad de las amelogeninas por la fluorapatita, podría ser responsable de su baja tasa de hidrólisis y reabsorción durante el estado de maduración del esmalte o que la disminución del pH por exceso de protones, retrasa la secreción de la KLK-4 disminuyendo la tasa de proteólisis y reabsorción de los fragmentos de proteínas del esmalte. La controversia sobre cuáles son las vías implicadas en la

hipomineralización durante la fluorosis, no impide resaltar la consecuencia cierta de que altos niveles de fluoruro, inducen un esmalte con mayor contenido de material orgánico, con menor dureza y con mayor susceptibilidad a la caries, pero además con un aspecto diferente e indeseable en relación con el esmalte normal.²⁶

3.1.3 Características clínicas

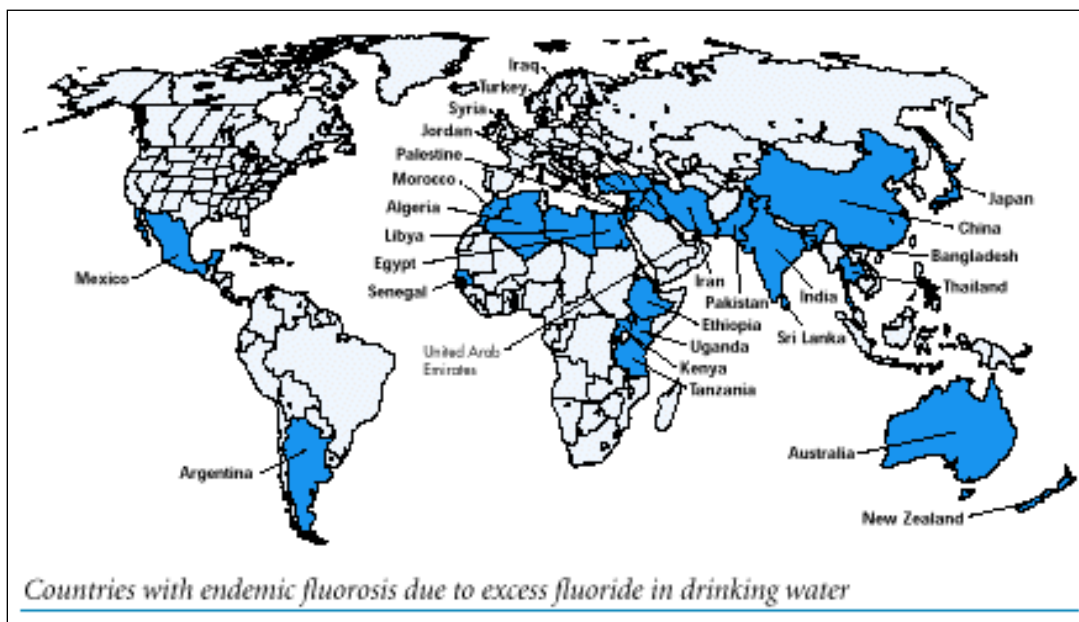
La fluorosis dental aparece como finas estrías blancas en las superficies de los dientes, siguiendo el patrón de las periquematías. Las cúspides, los bordes incisales y las crestas marginales pueden parecer completamente opacas o “nevadas”. En casos moderados, estas líneas blancas son más grandes y pueden combinarse para producir áreas que parecen “nubladas”; estas áreas pueden estar distribuidas por toda la superficie de esmalte. En casos severos, toda la superficie del diente es opaca y puede presentar áreas de decoloración marrón. En los casos más graves, se produce pérdida del tejido del esmalte. La fluorosis en dientes primarios generalmente parece menos opaca que en dientes permanentes. Dado que el esmalte de los dientes primarios es más delgado y normalmente más blanco que el esmalte de los dientes permanentes, la distinción entre las zonas afectadas y no afectadas puede ser más difícil de discernir. Además, la ubicación de esmalte fluorótico tiende a ser diferente en los dientes primarios.²⁷

La distribución, color, presencia de placa, forma, patrón y posible pérdida de estructura dental, son útiles para diferenciar la fluorosis del esmalte de las lesiones cariosas y otras opacidades. Teniendo en cuenta la simultaneidad en la formación dental, se puede utilizar el patrón de imagen en espejo que siguen los dientes homólogos de los cuadrantes derechos e izquierdos, evidenciándose alteraciones similares en la estructura del esmalte en un primer patrón de lesión que cursan al mismo tiempo los centrales, laterales y primeros molares y un segundo patrón con los caninos, premolares y segundos molares.²⁸

3.1.4 Epidemiología

El más reciente mapa de fluorosis dental publicado por la UNICEF en 2004, muestra que al menos 25 países en el mundo son endémicos para fluorosis dental y aunque se desconoce el total de personas afectadas por la enfermedad, se estima que 10 millones de habitantes en el mundo la padecen.²⁹ La epidemiología de la fluorosis muestra que es una enfermedad que se comporta según la disponibilidad de las fuentes de fluoruros en cada región. Cuando principalmente se parte de la exposición a fluoruros por el agua de consumo, se puede observar que Australia y los países del sur de Asia y el norte y este de África, son los principalmente reportados como endémicos para fluorosis dental.

**Mapa 1. Países endémicos de fluorosis
por altas concentraciones de Flúor en el agua de consumo**



Fuente: http://www.nofluoride.com/Unicef_fluor.cfm

En América, solo son visibles en el mapa de UNICEF, México y Argentina como países endémicos de fluorosis dental, sin embargo aunque Colombia no está reportada en él, la norma técnica para la prevención de caries y enfermedad gingival, que hace parte de la resolución 00412 de 2000, relaciona que 13 municipios de 8 departamentos en Colombia, tienen altas concentraciones de flúor en agua y se declaran como endémicos en el País, estos son: Luruaco y Usiacurí en Atlántico, Margarita en Bolívar, San Martín en Cesar, San Juan del Cesar en la Guajira, Gigante (Potrerillos), Hobo, Rivera y Suaza en Huila, Puerto López en Meta, Arboledas y Salazar en Norte de Santander y Cepitá en Santander.

Los reportes de fluorosis dental a nivel mundial se han obtenido con indicadores específicos para fluorosis dental como principalmente los son los índices de Deán y el TFI (Índice de Thylstrup y Fejerskov).³⁰

La presencia de la Fluorosis dental comenzó a ser evidente en Colombia en la pasada década de los años noventa. El primer reporte de la enfermedad como tal fue en 1996 en Yondó (Antioquia), una población considerada endémica para fluorosis por la concentración de flúor en sus aguas naturales, donde se encontró una prevalencia de fluorosis dental del 86.7% en la población mayor de 5 años, según el índice de Deán. A este estudio lo siguieron estudios regionales en ciudades como Medellín 1998 (10.2%, Deán), y luego el III estudio Nacional de Salud Bucal (ENSAB III) el cual reportó una prevalencia de fluorosis de 26% en la población infantil de 6-7 años también medida con el índice de Deán.

Aunque son pocos los estudios que sobre fluorosis dental se han hecho en Colombia, fuera de los anteriores, la tabla 1 presenta la prevalencia de la enfermedad, el índice utilizado para su medición, el grado de severidad de la enfermedad, el autor y la ciudad donde fueron realizados los estudios.

Tabla 1. Relación de estudios sobre fluorosis dental en Colombia

PREVALENCIA	ÍNDICE	SEVERIDAD	AUTOR / AÑO	LUGAR
81%	TFI	LEVE 46,6%	RAMÍREZ 2009	MEDELLÍN
79,1%	TFI	LEVE 50,8%	MARTIGNON 2008	MEDELLÍN
51%	DEAN	LEVE 20%	BERMÚDEZ 2000	MEDELLÍN
81,2%	TFI	1 – 3 45,6%	REV SALUD PÚBLICAMED. 1998	MEDELLÍN
67%	TFI	1 – 4 96,6%	RAMÍREZ 2003	FONTINO ANTIOQUIA
42,3%	NO SE EVALUÓ SEVERIDAD	NO SE EVALUÓ	SIERRA 1995	ANTIOQUIA
48,1%	TFI	21% PRIVADOS 15% PÚBLICOS	MARTIGNON 2008	BOGOTÁ
63,3%	DEAN	MUY LEVE – LEVE 56,3%	SÁNCHEZ 2000	CALDAS
41,9%	DEAN	MUY LEVE – LEVE 37,3%	GONZALES 2009	CARTAGENA
0%	-----	-----	TRIANA 2005	AMAZONAS
29,5%	DEAN	DUDOSO 39,9%	ARANGO 2003	VALLE DEL CAUCA

3.1.5 Consecuencias

Todas las formas de fluorosis dental, incluso las más leves, no son adversas para la salud pero son declaradas estéticamente desagradables y aunque no afectan la función del diente, aumentan su susceptibilidad ante la caries dental y hacen que el individuo afronte problemas psicológicos o de comportamiento.³¹ Lo anterior impacta en costos de atención en salud, por parte del estado o personales.

Cuando la exposición al fluoruro es crónica y excesiva se aumenta la probabilidad de padecer fracturas óseas, dolor y limitación de movimiento de las articulaciones, por su asociación con la fluorosis esquelética, incremento en el riesgo de cáncer, síndrome de Down, enfermedades del corazón, osteoporosis, baja inteligencia, Alzheimer, y reacciones alérgicas.³²

Con lo anterior se puede concluir que la presencia de fluorosis dental es un reflejo de la ingesta crónica del fluoruro, convirtiéndose en un predictor de la fluorosis esquelética, en el caso de que no se suspenda la exposición al ion.

3.2 Fuentes de fluoruros en la naturaleza

3.2.1 Química del flúor

El flúor es un elemento de la familia de los halógenos, que en estado puro tiene el aspecto de un gas débilmente amarillo, químicamente se caracteriza por presentar altos valores de electronegatividad, por lo cual tiene una fuerte disposición a combinarse con otros elementos y por esta razón es muy difícil encontrarlo en estado elemental en la naturaleza.

3.2.2 Producción de flúor en la naturaleza

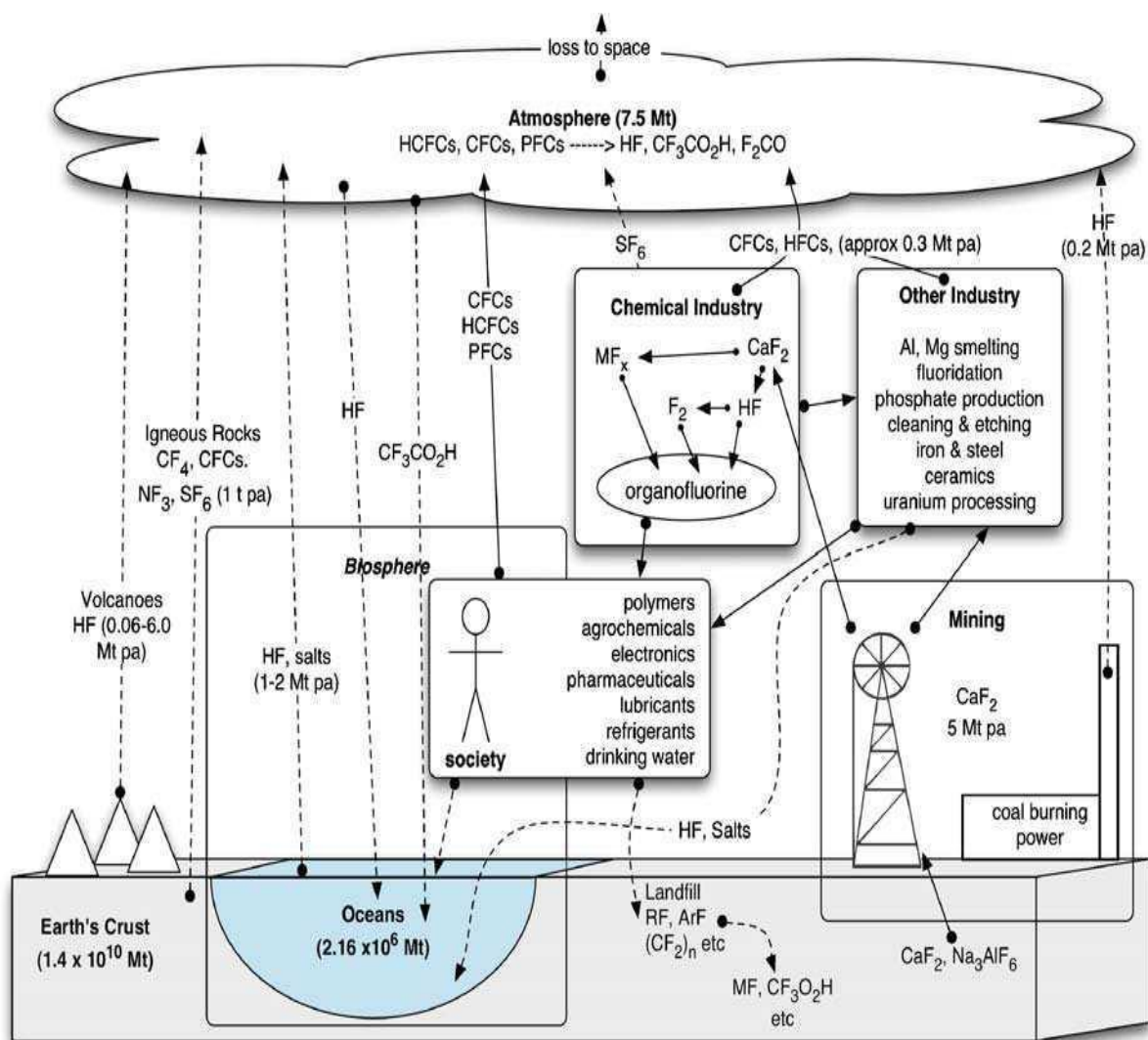
El flúor, con una abundancia de 0,65% en la corteza terrestre, se encuentra en más de 300 minerales y está ampliamente distribuido en la biosfera (flora y fauna). Por su pequeño tamaño, peso y distribución electrónica, se utiliza ampliamente en la cerámica, farmacéutica, salud, y varias otras industrias.

Los fluoruros, en forma de fluoruro de hidrógeno, partículas de fluoruros o flúor en gas, son liberados a la atmósfera por fuentes naturales como los volcanes o también por muchas fuentes antropogénicas. La actividad volcánica históricamente ha sido la mayor contribución de fluoruro de hidrógeno y otros contaminantes para la atmósfera.^{33 34} Dentro de las fuentes antropogénicas se

listan: la quema del carbón, plantas productoras de aluminio, de fertilizantes, de acero, magnesio, arcilla y ladrillo.³⁵

La alta solubilidad de los fluoruros en el agua promueve su dispersión en las demás matrices ambientales en consonancia con el ciclo biogeoquímico del elemento, los flujos de flúor y los depósitos en la atmósfera y en la Tierra son ilustrados así:

Esquema 3. Flujos de flúor y fluoruros en la atmósfera



Fuente: Fluorine and the environment:

Atmospheric Chemistry, Emission & Lithosphere (Tressaud, 2006).

3.3 Movilización del flúor en el ambiente

El ciclo biogeoquímico del flúor presenta cierta fragilidad, ya que si bien es verdad que los procesos de meteorización de las rocas provocan la eliminación de grandes cantidades de Cl y F, el primero es arrastrado por las aguas continentales hasta el mar. Pero la afinidad del F por el Ca para formar el fluoruro de calcio disminuye la cantidad de fluoruros que llegan al mar.³⁶

3.3.1 Flúor en las aguas

Por su alta solubilidad en agua, este recurso se constituye en la principal fuente de este elemento. La proporción de flúor que ingresa en los recursos hídricos procedente del mar o por la contaminación atmosférica es extremadamente pequeña en comparación con la procedente de rocas y suelos. El agua del mar tiene una concentración de flúor relativamente constante que oscila entre 0,8 y 1,4 ppm. Las aguas dulces presentan grandes oscilaciones, generalmente en forma de fluoruros alcalinos. Las de mayor contenido, corresponden a recursos hídricos localizados en zonas montañosas. Los niveles de flúor varían considerablemente de una localización a otra, dependiendo del material parental de la fuente de agua, de las actividades industriales que circunden el cuerpo de agua y de la existencia o no emisiones volcánicas que puedan disolver sus gases en estos.³⁷

En muchos casos las concentraciones de flúor en el agua son inferiores a 0,5 ppm, aunque pueden alcanzar valores muy elevados como ocurre en zonas del Valle del Rift en África, donde existen lagunas con concentraciones superiores a 2500 ppm. En general, las aguas superficiales contienen bajos porcentajes de fluoruros; en cambio las subterráneas pueden adquirir concentraciones más altas. Sin embargo desde 1945 el fluoruro ha sido adicionado intencionalmente a los acueductos, como una práctica de salud pública, en lo relacionado con la prevención de la caries dental. La concentración optima de fluoruro en el agua de consumo establecida en los Estados Unidos para la prevención de caries y no desarrollo de fluorosis dental, ha sido establecida entre 0.7 a 1.2 mg/L. o ppm.³⁸

3.3.2 Flúor en el aire

Los átomos de flúor emitidos por la fotodisociación de las fuentes emisoras son rápidamente secuestrados por compuestos carbonílicos y posteriormente se sintetiza el fluoruro de hidrógeno, que es muy estable en la estratosfera. Las emisiones de flúor de los volcanes se han medido por análisis de laboratorio de muestras recolectadas in situ, demostrando abundancia en comparación con otras especies de gas para inferir procesos magmáticos e hidrotermales que ocurren en las profundidades. Estas mediciones pueden dar información valiosa sobre la

desgasificación de flúor de magmas y contribuyen a la comprensión de los impactos ambientales de origen volcánico.³⁹

El fluoruro de hidrógeno se enlista como un contaminante peligroso del aire en documento "Clean Air Act Amendments" de 1990, revisado por la ATSDR, 2003 y, como tal, sus emisiones están sujetas al control basado en el "control máximo alcanzable de los estándares de tecnología de las emisiones."⁴⁰

Suponiendo una tasa de inhalación de 10 m³/día para los niños y 20 m³/día para los adultos, la exposición a la inhalación de fluoruro en las zonas rurales (<0,2 mg / fluoruro m³) sería menos de 2 g / día (0.0001 a 0.0002 mg / kg / día) para un niño y 4 g / día (0.000,06 mg / kg / día) para un adulto. En las zonas urbanas (<2 mg/m³), las exposiciones de fluoruro sería inferior a 20 mg / día (0,0001 hasta 0.002 mg / kg / día) para un niño y 40 g / día (0,0006 mg / kg / día) para un adulto.

La exposición ocupacional en el Trabajo Administración de Seguridad y Salud Ocupacional dice limitar la exposición de 2,5 mg/m³, lo cual se traduciría en una ingesta de flúor de 16,8 mg / día para un día de trabajo 8-h (0,24 mg / kg / día para una persona de 70 kg).⁴¹ Fumar mucho podría contribuir a tanto como 0,8 mg de fluoruro por día para un individuo (0,01 mg / kg / día para una persona de 70 kg)⁴²

3.3.3 Flúor en el suelo

El suelo es una fuente de fluoruro para plantas y animales, y actúa como un sumidero para la deposición atmosférica por lo que desempeña un papel central en el ciclo biogeoquímico del elemento. El flúor se detectó por primera vez en los minerales en el siglo XVIII y se midió en una variedad de rocas en el siglo XIX. Una investigación más detallada sobre el fluoruro del suelo se inició en los años 1930 y 1940 debido a preocupaciones sobre el creciente uso de flúor contenido en fertilizantes fosfatados y pesticidas inorgánicos. Se pensó que su uso puede aumentar el contenido de fluoruro de forraje o cultivos a niveles inaceptables. El resultado de la investigación arrojó que hay una relación entre el contenido mineralógico del suelo, los tipos de suelo, y las especies químicas presentes. Sin embargo, todavía no existe información suficiente acerca de la biodisponibilidad de flúor a las plantas y la movilidad de fluoruro en los horizontes orgánicos. En los horizontes minerales de los suelos, la concentración de flúor oscila entre menos de 100 a varios miles de partes por millón, (ppm) de peso seco⁴³

Debido a que el fluoruro del suelo está asociado con minerales de arcilla, suelos más pesados tienden a tener concentraciones sustancialmente más altas que suelos arenosos. A un pH del suelo por encima de 5,5, el fluoruro existe principalmente en estado aniónico (F⁻) y cuando se difunde pasivamente en las raíces que se limita principalmente a la región extracelular.⁴⁴

La biodisponibilidad de los fluoruros aumenta abruptamente con una disminución del pH, por ello las plantas que crecen en suelos ácidos se esperaría que tienen mayores concentraciones de fluoruro foliares que las plantas en suelos neutros. Sin embargo, hay una complicación adicional debido a los suelos ácidos por lo general tienen un contenido orgánico importante y que también afecta a la biodisponibilidad de fluoruro.

El contenido de fluoruro del suelo puede ser mayor en algunas zonas debido al uso de fluoruro de fosfato que contienen los fertilizantes o para la deposición de fluoruro en el aire liberado de las operaciones industriales de las fuentes naturales.⁴⁵

Los valores estimados para el suelo debido a una inadvertida ingestión por los niños, es de 100 mg / días (media) y 400 mg / día (límite superior) (EPA, 1997), el valor estimado promedio de ingestión de suelo por parte de adultos es de 50 mg / día (EPA 1997). Para una concentración de fluoruro en el suelo típico de 400 ppm, por lo tanto, se estima que la ingesta de fluoruro por los niños sería 0,04 (media) a 0,16 mg / día (límite superior) y por adultos, 0,02 mg / día. Para un niño de 20 kg, la masa normalizada ingesta sería 0.002-0.008 mg / kg / día; para un adulto de 70 kg, el valor correspondiente sería 0,0003 mg / kg / día. Se estima que la ingesta de 0.0025-0.01 mg / kg / día para los niños (3-5 años), basados en una concentración de fluoruro en el suelo de 430 ppm, equivaldría a una ingesta de fluoruro a partir de suelo de 5 a 9 veces menor que la de la bebida por el consumo de agua fluorada.⁴⁶

El fluoruro de aluminio y sodio (Criolita) y el fluoruro de sulfurilo son los dos pesticidas que son regulados por su contribución a la presencia de fluoruro en los alimentos. Para los plaguicidas de uso en los alimentos, la EPA establece un límite de tolerancia que se permite utilizar para cada producto.

3.3.4 Flúor en los alimentos

Las fuentes de mayor aporte natural de flúor son el té y el pescado de mar consumido con espinas, estando también presente en carnes, huevos, frutas, y cereales. Sin embargo, las grandes diferencias en las ingestas valoradas en distintas comunidades se deben al agua y a las bebidas, ya que los alimentos no aportan cantidades significativas a no ser que en el proceso de elaboración se empleen aguas ricas en flúor.

En la leche materna, las concentraciones de flúor son muy poco importantes, aún en el caso de que la madre ingiera agua fluorada. Cuando los niños son alimentados con leche en polvo diluida con agua fluorada, las cantidades de flúor ingeridas pueden llegar a ser 150 veces superiores a la de los niños con lactancia materna.

3.3.5 Flúor en productos no dietarios

Aunque en Colombia no se usan los suplementos de flúor, la deglución involuntaria o voluntaria de la crema dental y enjuagues bucales, se suman a las posibles vías de exposición del fluoruro.

3.3.6 Biomagnificación

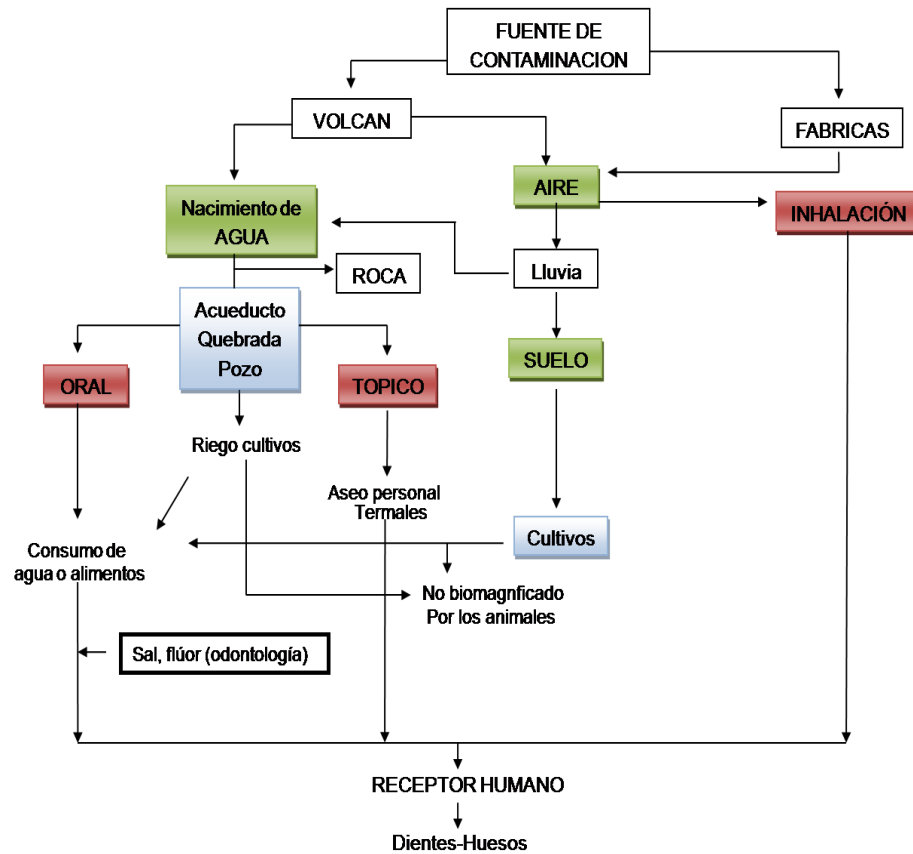
En el medio ambiente el flúor no puede ser destruido; solamente puede cambiar de forma y puede acumularse en las plantas. La cantidad de flúor que éstas toman depende del tipo de planta, del tipo de suelo y de la cantidad y tipo de flúor que se encuentre en el suelo. Los animales que ingieren plantas que contienen flúor pueden acumular grandes cantidades de flúor en su organismo, principalmente en los huesos y dientes.

Sin embargo y debido a que el flúor no es un metal pesado, el organismo humano es capaz de hacer un metabolismo del mismo, dejando solamente la forma inerte del ion (fluorapatita) en dientes y huesos, razón por la cual cuando los humanos se alimentan de animales altamente expuestos al flúor, este no es biomagnificado. La bioacumulación de los residuos de fluoruro no se espera que ocurra de manera significativa en organismos acuáticos y terrestres, en primer lugar, el fluoruro no se prevé que sea biodisponible en cantidades grandes teniendo en cuenta su concentración traza y potencial de sólo a la exposición aguda. En segundo lugar, el modo de acción sugiere que el fluoruro sea de rápida degradación en el tejido hidratado.

3.4 Exposición de los individuos a fluoruros

El siguiente esquema ilustra el movimiento del contaminante en el ambiente, identificando claramente la diferencia entre las vías y rutas que cursan los fluoruros en la naturaleza y como los mismos ingresan al organismo y potencialmente desarrollan la fluorosis dental y/o esquelética.

Esquema 4. Vías y Rutas de exposición a fluoruros para los individuos



Diseño: Andrés Salas Zambrano

3.5 Metabolismo del flúor

3.5.1 Absorción

La incorporación de los fluoruros al organismo puede ser por tres rutas:

- Ruta tópica: Sólo en condiciones bastante especiales, como al estar en contacto directo con ácido fluorhídrico.
- Ruta inhalatoria: La inhalación de gases de ácido fluorhídrico o de partículas de polvo finas que son el resultado de procesos industriales como la fundición de aluminio (en la cual se utiliza criolita, Na_3AlF_6), la fabricación de ladrillos /cerámica o la explotación minera de rocas de fosfatos (sobretudo fluorapatita), o gases procedentes de erupciones volcánicas. Esta puerta de entrada, de todas formas, sólo ofrece un

pequeño aporte diario (0.01 mg de fluoruros por día) Una variante sería el caso de ciertos anestésicos como el halotano, el cual se transforma en el organismo liberando flúor.

- Ruta oral: Tanto el agua como los alimentos. El contenido de flúor de la mayoría de los alimentos es conocido, pero existen otros, como los vegetales, en los que se hace imposible generalizar su contenido ya que depende de la cantidad de flúor que contenga el agua usada para regar.

Por lo que se refiere al agua, según su procedencia tendrá diferentes niveles de flúor:

El agua de pozos y ríos presenta 0.1-10ppm (0.1-10mg/l) de flúor o más. Las aguas superficiales no suelen superar las 0.1 ppm mientras que las aguas profundas suelen tener 10 ppm aunque pueden llegar a las 67 ppm. Las concentraciones están lógicamente en relación con la constante de disociación y solubilidad de los propios minerales, la porosidad de las rocas y suelos que atraviesa el agua con presencia de elementos que tengan afinidad por el flúor. El agua de mar tiene 0,8 – 1,4 ppm de flúor. El agua comunitaria, si está fluorada, suele tener niveles de 0.7-1.2 ppm y, si no lo está, dependerá de donde se la obtenga. El agua embotellada de ciertos manantiales contienen elevadas cantidades de flúor de hasta 7 - 8 ppm

Dentro de los alimentos que son fuentes importantes de flúor los pescados, los mariscos y el té (100-300ppm de flúor). Además, como valores orientativos de vegetales y frutas tenemos las espinacas con 3.8 ppm, la patatas con 3 ppm, ciertos cereales con 7 ppm o las cerezas con 6 ppm. De forma global, los alimentos sólidos aportan una dosis muy reducida de flúor, como máximo 0.27 mg. También hay ciertos medicamentos que contienen flúor en su formulación y, una vez ingeridos, pueden dejar libre dicho ión (inhibidores de la colinesterasa o ciertos diuréticos).

No se debe olvidar que la ingestión de pasta dentífrica fluorada puede contribuir significativamente al incremento diario de flúor. Se ha encontrado que los niños ingieren 0.30 gr de dentífrico cada vez que se cepillan los dientes. Si la pasta contiene 400 ppm de flúor, la ingesta de este ión será algo superior a 0.10 mg. Los dentífricos para adultos suelen contener una concentración mayor de flúor, por lo que la cantidad de flúor ingerida también será mayor. Por ello será aconsejable que los niños utilicen dentífrico para niños, se les enseñe a no digerirlo y coloquen una cantidad del mismo en el cepillo equivalente a una lenteja.

En cuanto a la absorción a nivel digestivo cabe decir que los fluoruros son absorbidos a través de las paredes del tracto gastrointestinal en poco tiempo (50% del flúor ingerido en 30 minutos) alcanzándose las mayores concentraciones dentro de la primera hora y recuperando los valores normales (0.01-0.02 ppm) en

unas 8 horas. Tanto los experimentos in vivo como in vitro han demostrado la participación del intestino delgado y en menor proporción la del estómago. A continuación pasan a la sangre, y son distribuidos a los tejidos por difusión simple y directa, más que por transporte activo.

El flúor se absorbe en forma de ácido fluorhídrico débil no disociado. El flúor iónico en el ambiente ácido del estómago se convierte en FH que atraviesa las barreras biológicas. Esto implica que cambios en la acidez del estómago influirán en la mayor o menor absorción de flúor. Si el PH se sitúa por encima de 3.45 la mayor parte del flúor se encontrará en forma disociada y como iones fluoruro.

La presencia de fósforo, magnesio (ambos presentes en la leche o en alimentos de la primera infancia), aluminio (que está presente en agua pero en cantidades muy bajas y que no alteran la absorción del flúor) o calcio (también presente en la leche; forma compuestos de fluoruro de calcio y fluorapatita que tiene baja solubilidad y se excretan a través de las heces) disminuyen la absorción siempre y cuando se hallen en concentraciones elevadas. Se ha visto que la absorción de flúor desde la leche o desde preparados infantiles se reduce a un 60-70%. Este es el motivo por el que se realizan lavados gástricos con soluciones que contienen calcio en aquellos casos de intoxicación aguda por flúor.

Una vez absorbido el flúor aportado por las diferentes rutas de la ingesta, dos mecanismos reducen la concentración de flúor en los fluidos circundantes del organismo: El depósito en el esqueleto, dientes y tejidos blandos y la excreción a través de la orina. De hecho, la explicación de la baja concentración en plasma y el bajo grado de aumento después de la ingestión de flúor es que el esqueleto lo incorpora mediante intercambio iónico y el riñón lo excreta con mucha rapidez.

3.5.2 Distribución

La cantidad de flúor que existe en el cuerpo humano es de alrededor de 2.6 gr. Una de las características del flúor es su gran afinidad por el fosfato cálcico, esto explica por qué se acumula con preferencia en los tejidos calcificados, de hecho, el 99% del flúor ingerido se acumula en los huesos y los dientes.

Como cifras orientativas de la distribución del flúor en los fluidos del cuerpo, en los tejidos blandos y en las estructuras mineralizadas veamos las siguientes:

- Fluidos corporales: En sangre 0.01 - 0.1ppm (80-90% unido a la albúmina) es flúor no iónico. La saliva contiene 0.01-0.05 ppm de fluoruro).
- Tejidos blandos: 1 ppm, excepto la aorta y placenta con 10 ppm
- Estructuras mineralizadas: Huesos: 500 ppm (huesos fetales 20 ppm), Cartílago: 30 ppm y en dientes: esmalte 100 ppm, dentina 300 ppm, cemento 1000 ppm

Hay una serie de factores biológicos que influyen en la deposición de flúor:

- Edad: La concentración de fluoruro en el esqueleto aumenta con la edad y tiende a llegar a un equilibrio con las concentraciones del plasma.
- Dieta: Dependiendo de la solubilidad del compuesto de flúor la absorción será mayor o menor.
- Actividad metabólica ósea: Se produce un incremento de los niveles de flúor cuando el hueso experimenta un proceso de intercambio rápido o aumenta la vascularización.
- Ciertos procesos patológicos: Se han descrito modificaciones de la concentración de flúor en ciertas alteraciones como el raquitismo, la diabetes y los enfermos renales, así como en los estados de inanición.

3.5.3 Eliminación

El flúor que no se fija en el organismo es eliminado principalmente por la orina (60-70% del flúor ingerido) y, de forma menos importante, por las heces (10-15%) o incluso en pequeñas cantidades por el sudor o la saliva.

El riñón permite tanto la eliminación del exceso de flúor que se ingiere a diario como del procedente de los procesos de remodelación ósea presentes a lo largo de toda la vida. La excreción renal se realiza de forma relativamente rápida ya que una tercera parte del flúor absorbido se encuentra en orina en 3 - 4 horas, eliminándose casi totalmente en las 9 horas siguientes. El flúor iónico libre que se encuentra en plasma, es el que se va a encontrar en el filtrado glomerular, pero parte de él, será absorbido en los túbulos renales y retornará al sistema circulatorio excretándose el resto. Las concentraciones que se registran en la orina dependen principalmente de las cantidades presentes en el agua potable (al aumentar el flúor en agua bebida aumentará el flúor en orina) y de la edad del individuo (dependiendo del metabolismo óseo y teniendo en cuenta que con los años disminuye la absorción del flúor por parte de los huesos o los dientes). Otros factores que pueden influir en la excreción renal son:

- PH: Cuando el fluido tubular tiene un PH bajo, el ion flúor se convierte en FH y al contrario. Entre los factores que pueden modificar el PH de orina está la dieta. En este sentido se ha visto que una dieta vegetariana incrementa el PH en mayor magnitud que una dieta rica en carne.
- Función renal: Cuando se deteriora, la habilidad de excretar fluoruro tiene una marcada disminución que posiblemente resulta en una mayor retención de fluoruro en el cuerpo.
- Patología previa: En la diabetes mellitus se da una mayor retención de fluoruros.

El flúor eliminado por las heces, se trata de una pequeña porción que no se ha absorbido dada su forma insoluble. En la saliva las concentraciones se sitúan un 30% por debajo de las concentraciones plasmáticas, registrando escasas oscilaciones que son rápidamente neutralizadas. Además, tampoco se puede considerar excreción en el sentido estricto ya que vuelve a absorberse; por lo tanto, tiene un escaso papel en la excreción de flúor. La eliminación a través del sudor es muy pequeña y está sometida a grandes variaciones en función del clima y las condiciones individuales por lo que se considera prácticamente despreciable.

Es importante considerar el papel de la placenta, actualmente se considera que no actúa como una barrera y que existe una relación directa entre las concentraciones de flúor en el suero de la madre y del feto, especialmente cuando el nivel de flúor de plasma de la madre se incrementa súbitamente. A pesar de ello, los ensayos clínicos no han demostrado ningún defecto.

Por lo que se refiere a la leche materna se ha visto que hay una limitación en la transferencia del flúor del plasma a la leche (la concentración suele ser menor de 0.05 ppm) y que la absorción de flúor por los niños a través de la leche de sus madres es despreciable comparado con la alta absorción del flúor de sus madres a través de la dieta y la bebida. Aun así, otros estudios demuestran la mayor probabilidad de los lactantes de pecho de estar libres de caries sobre los lactantes de leche artificial.

3.6 Biomarcadores

Dentro de los biomarcadores para la exposición a los fluoruros y teniendo en cuenta que sus concentraciones pueden estar presentes en tejidos o fluidos están: dientes, huesos, uñas, cabello, orina y plasma sanguíneo.⁴⁷ Este concepto es compartido por Vine en 1994, Whitford en 1996 y la ATSDR en 2003.

3.7 Medición de Flúor en matrices ambientales

3.7.1 Métodos colorimétricos:

Las sales de circonio con alizarin sulfonato de sodio en solución ácida, forman una laca de color rosa. La determinación de fluoruro se fundamenta en la acción decolorante que este ejerce sobre la laca. La coloración rosada original se va tornando amarilla a medida que aumenta la concentración de fluoruro, por formación del complejo hexafluorcirconato.

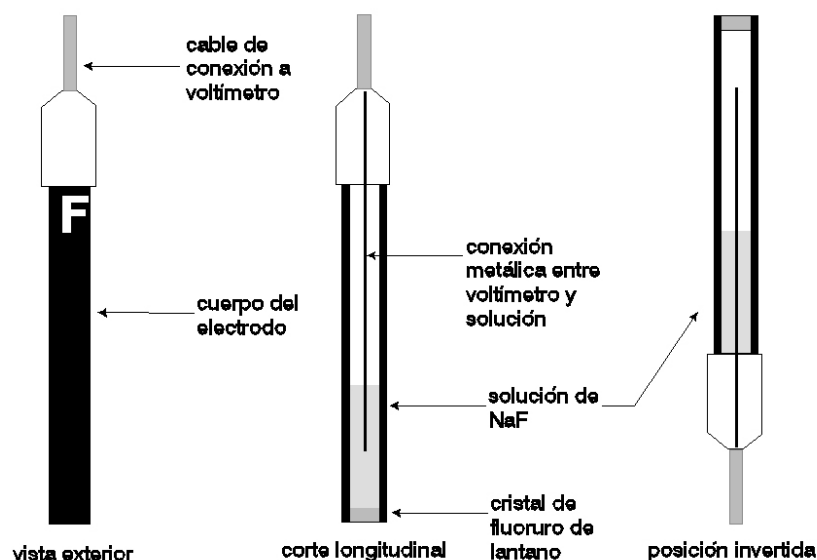
Otro método que se aplica en la medición del flúor con el método colorimétrico, consiste en la reacción del flúor presente en la muestra, previamente acidificada

con nitrato de torio, para formar un complejo que se colorea con el indicador rojo de alizarina; luego, la determinación se realiza por comparación del color obtenido en la muestra frente a un estándar de flúor de concentración conocida. Esta técnica semicuantitativa requiere que la cantidad adicionada de nitrato de torio sea exactamente la misma tanto en la muestra como en el estándar y que la comparación del color se realice en el punto final de la reacción. Cuando se aplica este método en alimentos, suelos y otras matrices sólidas, éstos deben ser llevados previamente a cenizas y luego destiladas.⁴⁸

3.7.2 Métodos potenciométricos:

La concentración de fluoruro puede ser determinada mediante potenciometría directa utilizando un electrodo de ion específico. Este electrodo consiste en un cristal de fluoruro de lantano (LaF_3) con 0.3% de europio. Este cristal actúa como una membrana conductora iónica en la cual solo el fluoruro puede actuar como ion móvil^{49, 50}. El cristal separa una solución de NaF de referencia (habitualmente 0.001 mol/L) que se encuentra en el interior del electrodo, de la solución en la que se desea medir la concentración. En la solución de referencia se sumerge un alambre de plata cubierto de AgCl , que hace contacto con el cable coaxil que conectara al voltímetro, lectura que finalmente se registra para convertir a ppm.

Ilustración 1: Vista exterior y corte longitudinal de un electrodo.



Diseño: Alfredo Rigalli.⁵¹

3.7.3 Medición de Fluoruros en el agua

El electrodo selectivo se basa en una potenciometría, calculándose la diferencia de potencial entre el electrodo de referencia y el específico (de fluoruro de lantano)

Las condiciones experimentales necesarias para la determinación de Fluoruro mediante un electrodo en muestras de agua natural son:

Rango útil de pH : 5 – 8

pH óptimo = 5.50 donde la relación molar de la especie F^-/FH tiene un valor de > 99%

Procedimiento Analítico para la determinación de Fluoruros

- Preparar por dilución distintas soluciones patrones o calibradores de fluoruro de sodio de concentraciones conocidas, a partir de una solución patrón de fluoruro.
- Tomar un volumen de cada una de las soluciones calibradoras y adicionarle el mismo volumen de la solución TISAB. Los componentes de la TISAB son una solución de NaCl 1 mol /L (electrolito inerte), un buffer de pH 5.50 (ácido acético 0.25 mol /L y acetato de sodio 0.75 mol /L) y una solución de citrato de sodio 0.001 mol /L (enmascarante de interferencias).
- Medir la ΔE para cada una de las soluciones calibradoras
- Graficar sobre papel semilogarítmico (ΔE CELDA mV vs. C) o sobre papel milimetrado (ΔE CELDA MEDIDA mV vs. pF- CELDA MEDIDA o $-\log F^-$) y también utilizando un graficador electrónico.

Equipos computarizados hacen todo el proceso de medición basados potenciometria. La medición tarda 2 minutos entre el montaje y la lectura de la muestra, la cual se muestra directamente en ppm. Como ejemplos de estos equipos se encuentra el 692 pH / Ion meter de la casa Metrohm de Suiza.

Foto 1. Equipo potenciométrico para fluoruros 692/pH Metrohm ®



3.8 Aspectos de las dosis de flúor en los individuos

La agencia para la protección del ambiente de los Estados Unidos de Norte América (EPA), estableció la dosis de referencia oral (RfD) como una dosis de referencia para una exposición diaria en poblaciones humanas, con la cual es probable que no se conlleven efectos deletéreos para la vida. Esta dosis se expresa en unidades de mg/kg-día y para el caso de los fluoruros, corresponde a: 6×10^{-2} , con lo cual el NOAEL es de 1ppm (0.06 mg/kg-día) y el LOAEL es de 2ppm.

Hodge (1950) estudió niños que consumen de fluoruro en el agua potable. Se investigaron los niveles de fluoruro de 0-14 ppm y moteado dental fue el parámetro de interés. Los niveles de fluoruro de 2-10 ppm producen una curva de dosis-respuesta lineal (el aumento de moteado con el aumento de dosis). Los niveles de fluoruro de 0,1 a 1,0 ppm no produjeron ningún efecto observable. Se utilizó un supuesto de 20 kg de peso corporal y el consumo de agua 1 L / día para los niños, ya que los niños estudiados fueron 12-14 años de edad. Se supone, además, que un niño de 20 kg consume 0,01 mg de fluoruro / kg de peso corporal / día en la dieta. Por lo tanto, una ingesta total sería de aproximadamente 0,06 mg/kg-día.⁵²

3.9 Vigilancia epidemiológica del flúor en Colombia

Bajo el marco legal de la resolución 3577 de 2006 que estableció el Plan Nacional de Salud Bucal y ante la necesidad de valorar las acciones de fluoración en lo relacionado a la adición del flúor a la sal de consumo humano y las acciones de aplicación individual de flúor, y dando cumplimiento al objetivo de definir y desarrollar estrategias para el uso de la información en salud bucal y de modelos de vigilancia, el Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS) desarrolló la estrategia de vigilancia centinela para fluorosis. Para lo anterior, el INS ejecutó una prueba piloto para concluir sobre el protocolo de vigilancia para fluorosis en 6 departamentos del País: Huila, Risaralda, Boyacá, Nariño, San Andrés y Valle.

Bajo el objetivo de Implementar la vigilancia centinela de la exposición a flúor, el protocolo de vigilancia centinela⁵³ propone como objetivos específicos: 1) Estimar la prevalencia de fluorosis dental en las unidades centinelas, 2) Determinar la proporción de pacientes con factores de riesgo para fluorosis dental, en agua, sal y hábitos de higiene oral. 3) Evaluar el cumplimiento de las concentraciones de flúor establecidas para el agua y la sal. 4) Proponer acciones de información, educación y comunicación (IEC) que permitan el abordaje del evento desde la promoción de la salud 5) Generar datos epidemiológicos que sean insumo para los tomadores de decisiones y que a su vez soporten las estrategias de prevención y control de la enfermedad.

El protocolo establece el monitoreo biológico que incluye la identificación de las fuentes de flúor y de los factores protectores para fluorosis, y el monitoreo químico que incluye las concentraciones de flúor en agua 0,5 a 1ppm y en sal 180 a 220 ppm.

En lo referente al monitoreo químico en el agua, este se rige por el decreto 1575 ⁵⁴ y la resolución 2115 de 2007 ⁵⁵, responsabilizando a las direcciones territoriales de salud como autoridades sanitarias de los departamentos, distritos y municipios, quienes ejercerán la vigilancia sobre la calidad del agua para consumo humano, estableciendo que los datos de la misma deben ingresar por el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano- (SIVICAP)

3.10 Marco geográfico

El volcán Galeras se localiza en el Departamento de Nariño - Colombia, aproximadamente a 9 km al occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto, capital de este departamento, en las coordenadas 1° 13' 43,8" de latitud norte y 77° 21' 33,0" de longitud oeste y con una altura de 4276 msnm, el diámetro del cráter principal es de 320 m, la elevación de la cima es de 4,276 msnm, el tipo de volcán es estratovolcán – calderico y con una antigüedad mayor a 5.000 años. ⁵⁶ Sobre su vía circunvalar se ubican los municipios de Pasto, Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá, Yacuanquer y Tangua.

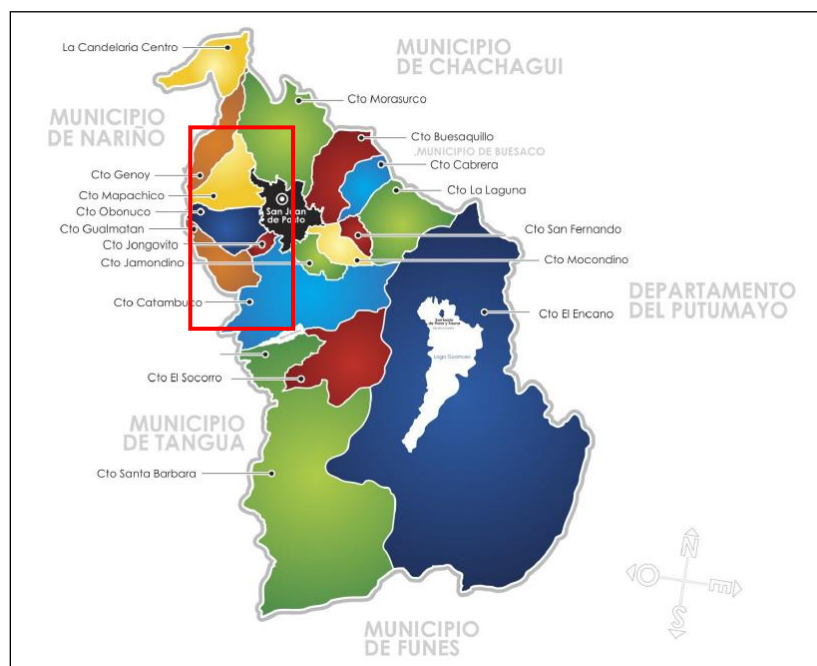
El volcán Galeras da origen a múltiples ecosistemas acuáticos que se usan como afluentes para acueductos que abastecen de agua de consumo a los municipios de su zona de influencia, estos ecosistemas, están sometidos a perturbaciones naturales o antrópicas que modifican su valor funcional. Entre las perturbaciones de tipo natural se puede mencionar la contaminación y polución originada por las emisiones de ceniza del complejo volcánico activo, lo cual lleva a una eutrofización y modificación de las condiciones físicas y químicas del agua. ⁵⁷

Los cuerpos de agua que nacen y recorren el complejo volcánico Galeras, no son ajenos a esta situación, por lo que constantemente están recibiendo contribuciones de material volcánico debido a la actividad del Volcán, el cual aporta material particulado a la atmósfera, que termina depositándose en suelos y cuerpos de agua, como también se hace con el lavado de la roca madre, cuando las corrientes de agua cursan su camino hacia depósitos, bocatomas o cuencas. Se ha documentado que los distintos eventos eruptivos presentados durante los últimos veinte años, han producido grandes cantidades de cenizas, gases y material piroclástico que han sido esparcidos en un radio de 100 kilómetros a la redonda del cono volcánico. ⁵⁸

Las emisiones de ceniza volcánica y material piroclástico producen contaminación y alteración sobre la calidad del agua de ríos, quebradas, estanques y sistemas lagunares, de esta manera, la ceniza emanada en las sucesivas erupciones se deposita en los cuerpos de agua ocasionando el aumento de la turbidez del agua, produciendo cambios en los parámetros físicos y químicos del agua y afectando los procesos biológicos, respiratorios, fotosintéticos y alimenticios de las comunidades acuáticas.^{59 60}

Circundante al complejo volcánico Galeras, se encuentra ubicado el municipio de Pasto, capital del departamento de Nariño y que según el censo DANE 2005, en el año 2014 cuenta con una población 434.486 habitantes, de los cuales 360.238 (83%) se asientan en la zona urbana y 74.248 (17%) en la zona rural. La zona urbana de Pasto se divide en 12 comunas, de las cuales 5 (42%) son servidas por el acueducto de Mijitayo, el cual se abastece de la quebrada Mijitayo, la cual nace en las faldas del volcán Galeras. La zona rural de Pasto se conforma por 17 corregimientos, de los cuales 7 (41%) se ubican en las faldas del volcán Galeras y el 100% de los acueductos que abastecen de agua a sus poblaciones, toman el agua proveniente del volcán Galeras, ya sea desde nacimientos subterráneos o superficiales. Estos corregimientos son: Catambuco, Jongovito, Gualmatan, Obonuco, Mapachico, y Genoy. El área de estudio se representa en el recuadro rojo del mapa 2.

Mapa 2. Corregimientos del municipio de Pasto.



Fuente: Alcaldía municipal de Pasto.

<http://www.pasto.gov.co/index.php/nuestro-municipio/mapas-de-pasto>

3.11 Estudios de relacionados

La historia de la relación entre flúor y la caries Comienza en el siglo XX, cuando Frederick Mckai en colorado (USA), observo que la mayoría de sus pacientes tenían opacidades o manchas en sus diente conocidas como manchas marrón de colorado. En 1909 realizó una encuesta epidemiológica en escolares de la zona con la cual dedujo el carácter intrínseco de las manchas y que solo aparecían en niños que habían nacido en la zona o que se trasladaron a ella cuando tenían corta edad, siendo infrecuente en personas que se trasladaron en edad adulta, además se pudo observar que en aquellos individuos con esmalte moteado parecían presentar menos caries.⁶¹

Más adelante en Oakley Idaho se sugirió la hipótesis de la relación del esmalte moteado con el agua potable y se confirmó al observar la desaparición del moteado cuando se cambió el suministro de agua; tras diferentes estudios se pudo observar hallazgos similares en diferentes zonas sin identificarse el agente causal.⁶²

En 1931 un químico conocido como Churchil identifica en el agua una elevada concentración de fluor: 13.7 ppm, afirmando que el esmalte moteado se trataba de fluorosis, hipótesis que confirmaría la relación entre flúor en el agua y la aparición de fluorosis mediante experimentos en animales. Treandley Dean establecieron la relación dosis respuesta, clasificando además el grado y la severidad de la lesión, planeando que una concentración de 1 ppm no representa riesgo; igualmente determino la asociación entre nivel de flúor en el agua, nivel de caries y de fluorosis dental; estableciendo un intervalo de flúor en el agua dentro del cual resulta ser preventivo (1.0 a 1.2ppm) ⁶³

Sin embargo fue después de varias intervenciones e investigaciones que se añadió flúor en el agua como medida de prevención de caries, en el año de 1945, en Rapids Norte America, se demostró que una concentración de fluor de 1.4 ppm en el agua, conseguía reducciones del 50% en las lesiones de caries.⁶⁴

En el caso de la fluorización del agua como medida de salud pública, esta hace sus inicios a finales del siglo XIX, cuando observaciones de esmalte moteado hicieron creciente la necesidad de investigaciones que mostrara la causa de dicho evento; solo hasta el siglo XX se muestra la asociación del moteado con el flúor presente en el agua y a su vez con la disminución de la prevalencia de la caries, es entonces en la década de los 50 cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda el uso de flúor para la prevención de la caries, al reconocer al flúor como elemento de la naturaleza que aumenta la resistencia del esmalte e inhibe el proceso de caries por disminución de la producción de ácido de los microorganismos fermentadores.⁶⁵

Es así como tras múltiples investigaciones que asociaran el flúor con la disminución de caries se toma la iniciativa de modificar la concentración en el agua potable, por lo que entre 1944 y 1947 se adopta inicialmente esta medida en Grand Rapids , Michigan y Newburgh , Nueva York en Estados Unidos además de Brantford y Ontario en Canadá, con una dosis de 1,0mg/l (ppm) como dosis óptima y que se mantiene en la actualidad para países con climas cálidos y hasta 1,5mg/l (ppm) para países con climas fríos.⁶⁶

En Colombia se inicia la fluorización del agua con aprobación por parte de la Federación Odontológica Colombiana (FOC) y el servicio interamericano de salud pública en 1953 en Girardot Cundinamarca, en 1959 se fluorizó el acueducto de Manizales en 1962 los de Bogotá y Cali y en 1969 se implementó dicha política para Medellín. Para el año de 1969 se pone en marcha el programa nacional de fluorización de acueductos en convenio con el ministerio de salud y/o con empresas públicas municipales, el cual fue suspendido en 1987 por razones políticas y económicas dando paso a la fluorización de la sal por ser una medida más económica, de mayor cobertura, menor requerimiento de procesos y mecanismos y así mismo por la difusión más amplia del mecanismo público.⁶⁷

Para el cumplimiento de la estrategia se empleó como sal de flúor, el silico fluoruro de sodio y fluoruro de sodio en 1ppm, teniendo en cuenta la concentración que tienen todas las aguas de la corteza terrestre que oscilan entre 0.3 a 0.6 mg/l, en aguas asociadas a depósito minerales y volcánicas. Dado la necesidad de conocer la concentración de flúor en aguas colombianas de consumo, se realizó un estudio por parte de la división de salud oral del ministerio de salud y la división de investigaciones del instituto nacional de salud, concluyendo que las aguas de consumo mantenían concentraciones bajas de flúor alrededor de 0.000 y 0.890 ppm. Los municipios con las concentraciones más elevadas, 0.5 a 0.8, son los que se reportan hasta hoy en la norma técnica de prevención de caries y enfermedad gingival,⁶⁸ sin relacionarse ningún municipio del departamento de Nariño en dicha norma.

Las políticas de salud públicas actuales muestran la tendencia no solo a la fluorización del agua sino también a su desfluorización , el uso de suplementos fluorados y las investigaciones locales, manteniendo la búsqueda de mejores alternativas que conlleven al dominio exacto del flúor como mecanismo de control y prevención de caries, evitando el riesgo de efectos tales como la fluorosis, por lo que se concluye que si una población ingiere altas dosis de flúor disuelto en aguas de consumo tiene como alternativas cambiar la fuente de agua por una con menor dosis de flúor, desfluorar el agua pasándola por lechadas de cal o de lo contrario deberá continuar con su exposición al flúor.⁶⁹

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la exposición a fluoruros para la población de la zona urbana y rural de Pasto – Colombia que consume agua de los acueductos de las faldas del volcán Galeras.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de fluoruros en las aguas de origen volcánico que abastecen los acueductos de la ciudad de Pasto.
- Evaluar los efectos de factores climatológicos y de la cloración del agua en la concentración de fluoruros para los conglomerados objeto de estudio.
- Caracterizar la distribución espacial de la concentración de fluoruros en el área de estudio.

5 JUSTIFICACION

El Inventario de aguas para consumo público con contenido natural de flúor,⁷⁰ no incluye ningún municipio del departamento de Nariño a pesar de que existe, sin documentar oficialmente ni mediante evidencia científica, el diagnóstico de fluorosis dental en poblaciones infantiles y adolescentes en diferentes áreas del departamento, incluyendo algunos corregimientos ubicados en las laderas del volcán Galeras.

La posibilidad de incluir esta área de la geografía nacional en mencionado inventario, podría ayudar a direccionar las acciones de promoción y prevención en salud bucal contempladas en la norma técnica respectiva y avalada por la resolución 00412 de 2000.

Adicionalmente, este estudio serviría para definir la importancia de una de las principales rutas de exposición a los fluoruros en los individuos de estas localidades. De confirmarse que las concentraciones de agua provenientes del volcán Galeras no exceden los límites de fluoruros, se despejaría el principal interrogante en lo relacionado a la presencia de fluorosis dental en sus poblaciones, continuando de esta manera una línea de investigación que ahonde en el abordaje de esta problemática poco estudiada en el país y sin datos contundentes y con validez científica en la región.

6 METODOLOGIA

Tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo longitudinal de tipo ecológico exploratorio, para evaluar la exposición a fluoruros vía consumo de agua proveniente de acueductos.

Recolección de la información

Para la recolección de datos de esta investigación se contó con 8 estudiantes de odontología de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Pasto, en cada uno de los conglomerados del área de estudio. Los estudiantes recibieron calibración de operadores en el diligenciamiento de los instrumentos de recolección de datos, conservación y manejo de las muestras de agua y en la lectura de equipos de medición de variables. Después de realizar estandarización de procesos con el equipo de trabajo de campo, se midió entre ellos el coeficiente de concordancia Kappa y se obtuvo un valor calificable como excelente ($\kappa = 0.98$).

Se diseñaron dos fichas de recolección de datos, (anexo 1 y 2) las cuales contenían las variables a medir y fueron separadas según el carácter de información; de única medida (fuentes) o de varias medidas (lecturas). Se realizó la prueba piloto de las fichas de recolección, con datos pertenecientes al acueducto del municipio de Chachagui.

Tanto en la prueba piloto como en la fase de recolección de datos de la investigación, las variables que se registraron mediante encuesta fueron dirigidas con preguntas a los fontaneros responsables de cada uno de los acueductos. Las coordenadas fueron tomadas con el GPS Oregon 550, la hora, fue tomada con reloj digital.

Se tomaron datos de las variables denominadas “lecturas” en cada uno de los conglomerados en dos fases de recolección, llamadas seguimiento de semana consecutiva y seguimiento diario por un mes.

- Los datos de la fase de semana consecutiva, incluyeron la medición del tanque y llave de salida, durante 1 semana consecutiva comprendida del 30 de noviembre al 6 de diciembre de 2014.
- Los datos de la fase seguimiento diario por un mes, incluyeron la medición del tanque y llave de salida, durante los días 25 de noviembre al 24 de diciembre de 2014.

Las encuestas fueron dirigidas a los fontaneros responsables de cada uno de los acueductos seleccionados, la toma de muestra denominada “tanque” se realizó en el acueducto de mayor cobertura de población en cada corregimiento y la muestra denominada “salida” se tomó en la llave de la cocina del centro educativo de mayor número de estudiantes matriculados o en la llave de cocina de la casa de una familia del corregimiento. Para el procedimiento anterior se solicitó permiso para la entrega de información y la toma de la muestra de agua, utilizando un consentimiento informado escrito, que firmó un miembro o trabajador de la junta administradora del acueducto, el fontanero que suministraba la información, un profesor del centro educativo o un adulto residente en la casa donde se tomó la muestra de agua. Este consentimiento llevó adicionalmente la firma de dos testigos y se acompañó de la lectura de la carta de apoyo institucional para el desarrollo de esta investigación, otorgado por el laboratorio de salud pública del Instituto Departamental de Salud de Nariño, la carta de la alcaldía municipal de Pasto desde la dirección local de salud en su oficina de salud pública y el aval del comité de ética de la Universidad del Valle.

Las muestras fueron recolectadas en un recipiente plástico, con capacidad de contenido de 120 cc³ que fue llenado en su totalidad. Cada recipiente que contenía la muestra, fue rotulado posteriormente a la toma de muestra, con un adhesivo donde se registró, el conglomerado, la fuente, fecha, cloración, y hora de la recolección.

Fotos 2 a 5 - Procedimientos para recolección y rotulado



Foto 2
Tanque agua superficie
Inmersión



Foto 3
Tanque agua ingresando
Llenado



Foto 4
Salida – Llave cocina



Foto 5
Rotulado

Para mayor control de calidad, las muestras fueron almacenadas en contenedor de icopor con pilas congeladas, conservadas en esas condiciones durante un tiempo máximo de 4 horas y posteriormente llevadas a nevera con una temperatura entre 3 y 4 grados centígrados. Diariamente o a más tardar cada dos días, la totalidad de muestras recolectadas en los conglomerados, fueron llevadas al laboratorio de salud pública del Instituto Departamental de Salud de Nariño para su procesamiento, análisis y obtención del reporte oficial de la concentración de fluoruros en partes por millón (ppm) del agua recolectada.

Las muestras llevadas al laboratorio departamental de salud pública, fueron recibidas por el personal auxiliar del laboratorio y se refrigeraron en las neveras de conservación para ser procesadas mediante el siguiente protocolo:

En un vaso plástico desechable de 10ml de muestra, se adiciono 10ml de TISAB II y se lee con los electrodos específicos para flúor, por agitación constante y con medición directa del equipo 692/pH ion Metrohm ®. El equipo digitalizo en su pantalla principal el valor de la concentración de fluoruros de la muestra de agua, expresada en partes por millón (ppm).

Fotos 6 y 7 - Preparación de la muestra para su lectura



El TISAB añadido estabiliza el pH de la muestra para garantizar la correcta lectura de la muestra. Para la preparación del TISAB, en un vaso de precipitados de 1L, se toman 600ml de agua destilada y desionizada, 58g de cloruro de sodio, 0,3g de citrato de sodio, se disuelve y se agregan 57ml de ácido acético glacial, se mezcla y añade hidróxido de sodio hasta que el pH resultante este entre 5.0 y 5.2. Se afora el matraz volumétrico de 1L con agua destilada y desionizada.

El equipo 692/pH ion Metrohm ®, fue calibrado mediante la curva para medición de fluoruros, preparando una solución patrón de concentración de fluoruros de 1.000ppm. Se preparó la solución intermedia y la de trabajo para programar con ellas el equipo con mencionada curva de calibración.

Foto 8 - Lectura de la muestra



Área de estudio

Volcán Galeras en el municipio de Pasto, sector correspondiente a la zona urbana y sus zonas rurales, que corresponden a las faldas del volcán Galeras.

Conglomerados (Población)

Las zonas rurales de Pasto que se ubican en las faldas del volcán Galeras, corresponden a los corregimientos de: Catambuco, Jongovito, Gualmatan, Obonuco, Mapachico, y Genoy . La zona urbana de Pasto, estuvo representada por el sector geográfico de la quebrada Mijitayo y corresponde a un área ubicada al occidente de la ciudad de Pasto.

Se estableció un conglomerado adicional a manera de control, el cual comparte las características de proximidad al volcán Galeras, se encuentra dentro de los rangos de altura sobre el nivel medio del mar de los demás acueductos, adicionalmente se ubica en el perímetro de uno de los corregimientos seleccionados, pero a diferencia de los otros conglomerados este acueducto no se abastece de agua del volcán Galeras. Este último conglomerado corresponde a la zona urbana del corregimiento de Catambuco.

Tabla 2. Conglomerados objeto de estudio

CLUSTER	ACUEDUCTO	NACIMIENTOS
Catambuco	Acueducto San José	Quebrada Piquisiqui
Jongovito	Acueducto Cruz Loma	Quebrada la Loma y Quebrada las Collas
Gualmatan	Acueducto Alto Sinaí	Quebrada Sinaí
Obonuco	Acueducto de Obonuco	Quebrada Mideros y Quebrada Juanambú
Mapachico	Acueducto Familia M	Nacimiento en predios de la familia M
Genoy	Acueducto de Genoy Centro	Quebrada Pachamama y Tomates
Pasto	Empopasto	Quebrada Mijitayo
Catambuco(U)*	Acueducto Taminango *Acueducto control	Cerros de la Represa del Rio Bobo

Criterios de inclusión

- Acueducto con la mayor cobertura poblacional dentro de cada conglomerado.
- Agua proveniente del nacimiento de mayor recorrido y caudal sobre las faldas del volcán Galeras

Criterios de exclusión

- Acueducto con un nacimiento compartido con otro acueducto ya seleccionado en otro clúster

Muestra

Por corresponder a muestras ambientales de un estudio no probabilístico, se diseñó un plan de recolección de 704 muestras por conveniencia, de las cuales 673 hicieron parte de este estudio, obteniendo así un porcentaje de respuesta del 95.59%. 31 muestras de las programadas no se recogieron, por motivos que se relacionaron con no suministro del servicio de acueducto y/o cierre de la quebrada por deslizamiento terrestre, dato que estableció un porcentaje de no respuesta del 4.41%.

Análisis de datos

Se construyó una base de datos con la información de los instrumentos de recolección en el programa Epiinfo versión 7, y luego se exportaron al programa Stata versión 12 para su análisis en tres fases:

Análisis Exploratorio: Se realizó este análisis para establecer el porcentaje de no respuesta a los instrumentos, describir el comportamiento de los datos mediante tablas y gráficas, y conocer frecuencia, dispersión y valores perdidos y/o extremos.

Se realizaron pruebas de bondad de ajuste para conocer el comportamiento de los datos frente a distribuciones normales y no normales.

Para el objetivo específico 1: *“Determinar la concentración de fluoruros en las aguas de origen volcánico que abastecen los acueductos de la ciudad de Pasto”*. Se contó con 673 datos de las mediciones de fluoruros en los diferentes conglomerados, información con la cual se procedió a realizar métodos de estadística descriptiva como análisis univariados. Se estimaron porcentajes para las variables categóricas y se reporta la mediana debido a la no distribución normal de los datos en relación a la variable dependiente, “concentración de fluoruros”

Se describió la tendencia diaria de la concentración de fluoruros durante el mes de seguimiento para los conglomerados estudiados y se establecieron medianas y rangos intercuartílicos para los conglomerados de acuerdo a sitio de muestreo y días de seguimiento mensual y semanal.

Para el objetivo específico 2: *“Evaluar los efectos de factores climatológicos y de la cloración del agua en la concentración de fluoruros para los conglomerados objeto de estudio”*. Se caracterizaron las variables climatológicas durante el periodo de estudio para determinar variaciones entre días con y sin lluvia y dependiendo de las variaciones en el clima, se compararon medianas mediante la prueba no paramétrica de Mann Whitney, en el caso de variables dicotómicas, y usando Kruskal Wallis en las politómicas.

Se realizó el control de posibles confusores y el análisis de interacción, mediante modelos de regresión lineal de la concentración de fluoruros de acuerdo a 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 $p < 0.05$

No se realizó la regresión logística propuesta en el protocolo de esta investigación, ante el no establecimiento de valores de la concentración de fluoruros que se encontraran por encima y por debajo del umbral establecido por la OMS. (Este punto de corte fue 1.0 ppm de fluoruros en el agua) debido a que ninguno de los valores medidos supero dicho umbral.

Para el objetivo específico 3: *Caracterizar la distribución espacial de la concentración de fluoruros en el área de estudio*. Mediante métodos descriptivos de la geografía estadística y con el fin de identificar agregación espacial y temporal se utilizaron métodos Kriging. El software ArcGis fue empleado para el análisis y el mapeo.

Consideraciones éticas

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el aval del comité de ética de la Universidad del Valle. Teniendo en cuenta que esta investigación no fue realizada en seres humanos ni animales, se contó con el aval institucional de la alcaldía de Pasto y el laboratorio de salud pública del instituto departamental de salud de Nariño, quienes administran y son los responsables del control de acueductos en la zona.

Esta investigación tuvo un riesgo menor que el mínimo, debido a que recopiló y manejó información de la concentración de fluoruros en el agua de los acueductos seleccionados, la cual se trató con la obligación de ser custodiada y utilizada en forma adecuada por el grupo de investigadores, quienes también garantizaron la reserva de la misma.

La información recolectada fue utilizada con fines de docencia e investigación, con la responsabilidad que sobre salud pública impacta en los riesgos o beneficios poblacionales, razón por la cual se expresa el compromiso de socializar los resultados del estudio a las autoridades locales de salud pública, pertenecientes a la alcaldía de Pasto y el Instituto Departamental de Salud de Nariño.

El investigador principal de este estudio se comprometió con el comité de ética antes mencionado a seguir estrictamente el protocolo de esta investigación, informando oportunamente los inconvenientes que se llegasen a presentar y, en el caso de ser necesario, generar la o las enmiendas al protocolo para su autorización por el Comité.

El investigador principal de este estudio se comprometió a usar los resultados de la investigación solamente para los fines aprobados, a no hacer publicación de datos que no correspondan a las conclusiones del estudio, a no ocultar aspectos negativos, a dar crédito a todos los participantes y a no incluir en la autoría a personas que no participen de la investigación. El investigador principal de este estudio declaró que no posee ningún conflicto de intereses con las instituciones y localidades participantes en este estudio

7 RESULTADOS

Para el análisis exploratorio de los datos, se construyó una tabla con medidas de frecuencia absoluta y relativa de la cantidad de muestras de agua que fueron recolectadas en cada uno de los conglomerados objeto de estudio, discriminando las mismas medidas para cada uno de los puntos que hicieron parte de dichos conglomerados.

Para el objetivo específico # 1: “Determinar la concentración de fluoruros en las aguas de origen volcánico que abastecen los acueductos de la ciudad de Pasto.” se obtuvo el promedio de la variable dependiente [F-], para cada uno de los puntos analizados.

Tabla 3. Distribución de las muestras de agua y concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según puntos y conglomerados.

Conglomerado	#	%	Punto	#	%	Media [F-]	IC95%	Mediana [F-]	Límites
Catambuco	86	12,8	Acueducto San José	42	6,2	0,109	(0,10-0,11)	0,11	(0,06-0,16)
			Casa fontanero Catambuco	44	6,5	0,103	(0,09-0,11)	0,10	(0,06-0,15)
Genoy	78	11,6	Acueducto Pachamama	39	5,8	0,179	(0,17-0,18)	0,18	(0,11-0,24)
			Colegio Francisco de la Villota	39	5,8	0,192	(0,18-0,20)	0,19	(0,15-0,26)
Gualmatan	88	13,1	Rebose Acueducto Gualmatan	44	6,5	0,102	(0,09-0,10)	0,105	(0,07-0,14)
			Casa Familia MM.	44	6,5	0,112	(0,10-0,12)	0,11	(0,06-0,29)
Jongovito	87	12,9	Acueducto Cruz Loma	43	6,4	0,151	(0,14-0,15)	0,15	(0,12-0,20)
			Casa fontanero Jongovito	44	6,5	0,143	(0,13-0,14)	0,14	(0,10-0,19)
Mapachico	86	12,8	Acueducto Familia M.	43	6,4	0,254	(0,24-0,25)	0,25	(0,22-0,28)
			Casa familia M.	43	6,4	0,251	(0,24-0,25)	0,25	(0,09-0,29)
Obonuco	86	12,8	Casa familia EP.	43	6,4	0,123	(0,11-0,12)	0,12	(0,08-0,19)
			Casa familia JN.	43	6,4	0,116	(0,11-0,12)	0,12	(0,06-0,17)
Pasto	79	11,7	Quebrada Mijitayo	36	5,4	0,147	(0,13-0,15)	0,16	(0,06-0,20)
			Apartamento B/ La Colina	43	6,4	0,061	(0,05-0,06)	0,06	(0,04-0,10)
Control	83	12,3	Acueducto Taminango	43	6,4	0,106	(0,09-0,11)	0,10	(0,01-0,15)
			Restaurante Q.	40	5,9	0,117	(0,11-0,12)	0,105	(0,08-0,16)
TOTAL	673	100	TOTAL	673	100				

En la tabla 3 se observa que ninguno de los puntos evaluados tuvo una concentración de fluoruros superior a la dosis establecida por la OMS como medida de riesgo para el desarrollo de fluorosis dental. Sin embargo, se observa que los dos puntos de Mapachico (tanque y salida) son los de mayor concentración de fluoruros y el punto (salida) del conglomerado Pasto fue el de menor concentración.

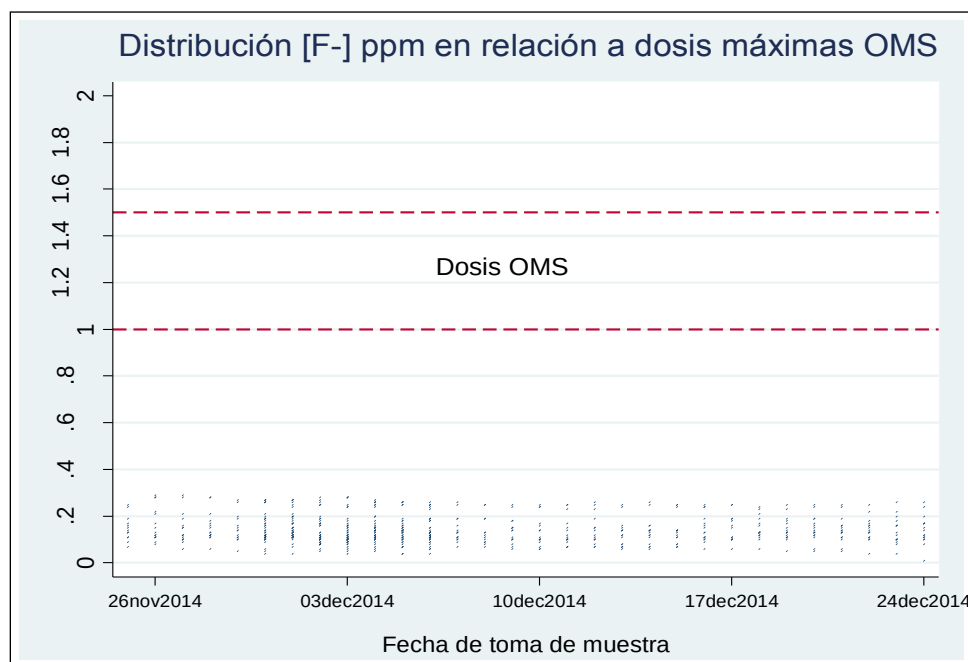
Tabla 4. Distribución de las muestras de agua y concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según clima.

Clima	#	%	Media [F-]	IC95%	Mediana [F-]	Limites	p
Lluvia	338	50,2	0,139	(0,133-0,145)	0,13	(0,04-0,26)	0.54*
Seco	335	49,8	0,143	(0,137-0,149)	0,12	(0,04-0,28)	
TOTAL	673	100					

* (Mann-Whitney)

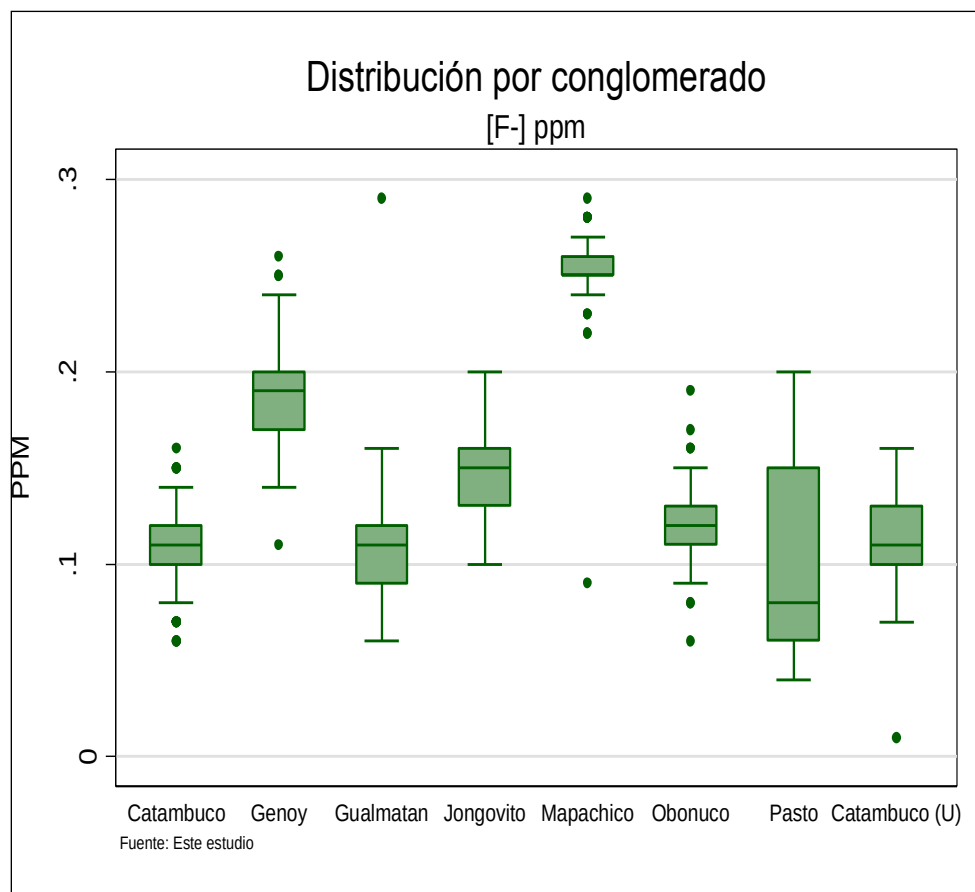
En la tabla 4 se puede observar que la mitad de las muestras de este estudio fueron tomadas en tiempo seco y la otra mitad en época de lluvia. La prueba de comparación de grupos no mostró diferencias estadísticamente significativas.

Gráfica 1. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, frente a dosis OMS.



La gráfica No.1 representa los valores de las concentraciones de fluoruros de los acueductos estudiados, las cuales se encuentran en su totalidad distantes de las dosis establecidas como seguras para fluorosis dental según la OMS.

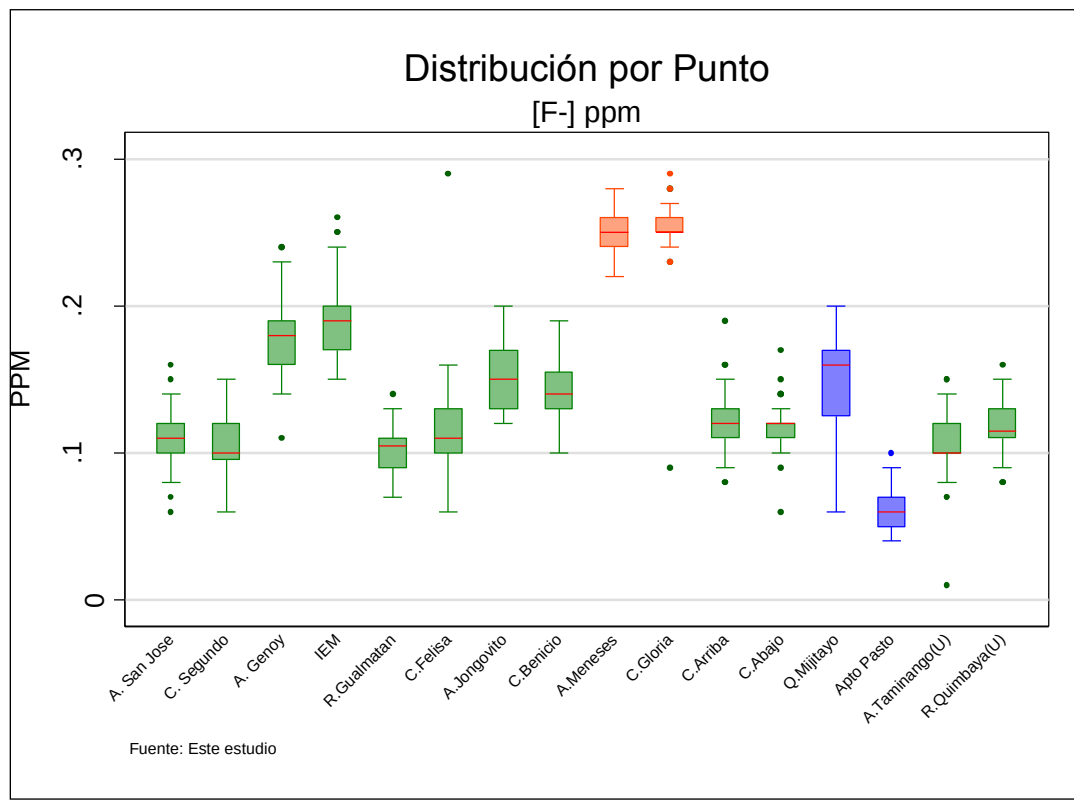
Gráfica 2. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según conglomerados.



**Kruskal-Wallis: $p=0.001$*

Los datos anteriores representan valores aceptables de concentración de fluoruros para el agua de consumo humano, debido a que ninguna muestra sobrepasó el límite establecido para el riesgo de fluorosis dental y / o esquelética según la OMS (1.0ppm). La prueba de comparación de grupos indica que existen diferencias estadísticamente significativas de la concentración de fluoruros entre los diferentes conglomerados estudiados siendo las medidas de Mapachico, las que presentan un comportamiento superior al ser comparadas con los otros conglomerados.

Gráfica 3. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según puntos de toma de muestra.

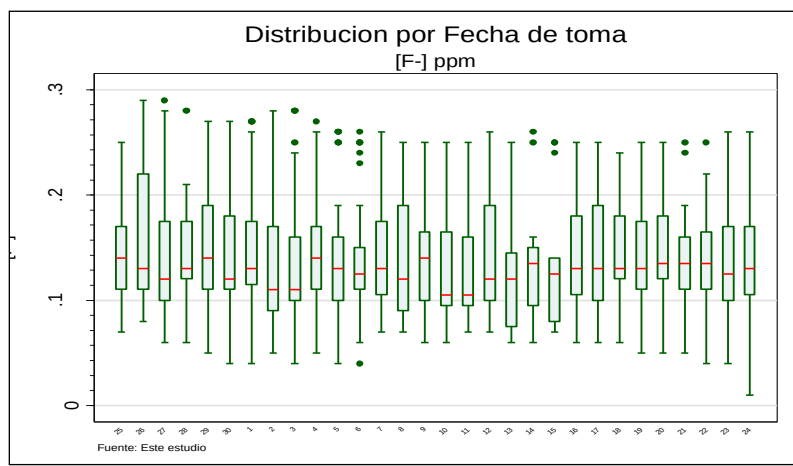


**Kruskal-Wallis: $p=0.001$*

La mediana de los puntos estudiados, presentan una dosis segura de consumo de fluoruros en poblaciones humanas, la mayoría de estos valores oscilan entre el 0,1 y el 0,2 ppm. Los puntos de mayor concentración fueron el tanque del acueducto M y la llave de cocina de la casa de la familia M. (correspondientes al conglomerado de Mapachico). El punto de menor concentración fue la llave de cocina del apartamento del barrio La Colina en la ciudad de Pasto.

Es de anotar que a diferencia de la similitud de la mediana entre los puntos Tanque y la llave de Salida de cada uno de los conglomerados, solamente el conglomerado Pasto tiene una diferencia que muestra la disminución de esta medida resumen entre el primero (Quebrada) con el segundo punto (Apartamento).

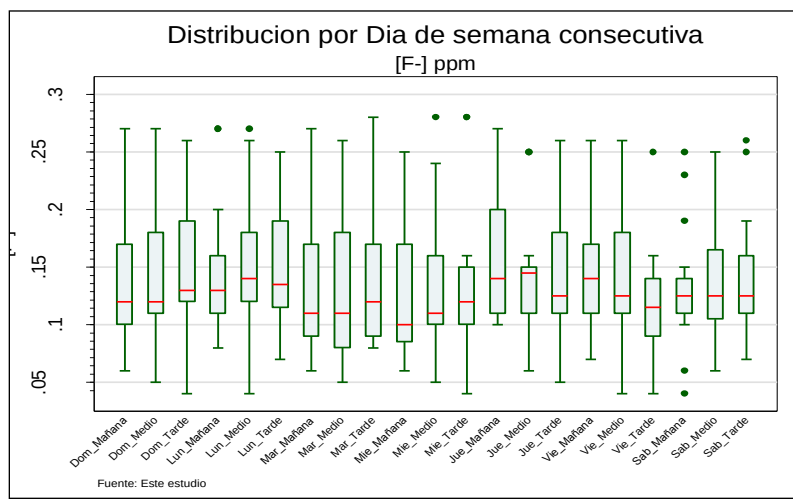
Gráfica 4. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según fecha de la toma de muestra.



**Kruskal-Wallis: $p=0.928$*

En el mes de seguimiento comprendido entre el 25 de noviembre y el 24 de diciembre de 2014 se determinó la mediana de la concentración por día para los 16 puntos de seguimiento. En la gráfica se observa variaciones menores sin una tendencia definida y en ningún caso esta medida resumen fue inferior a 0,1 ni superior a 0,2 ppm. La prueba de comparación de grupos no mostró significancia estadística.

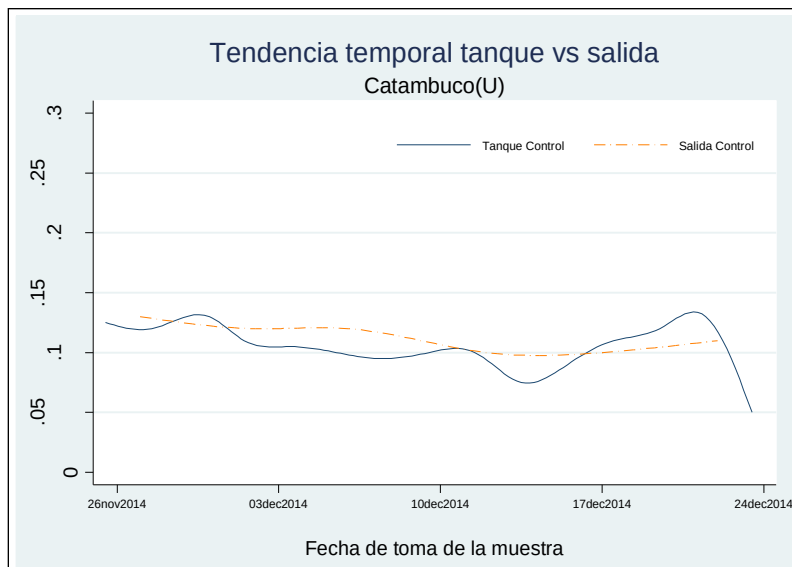
Gráfica 5. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según seguimiento semanal por día y jornada de medición.



**Kruskal-Wallis: $p=0.833$*

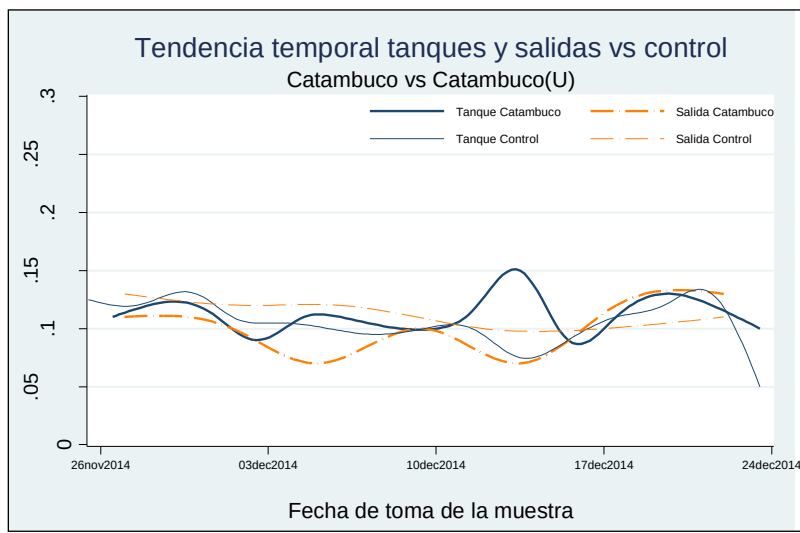
En el periodo comprendido entre el domingo 30 de noviembre y al sábado 6 de diciembre de 2014 cada uno de los puntos tuvo tres mediciones al día. En la gráfica se puede observar que en varios días del periodo observado hubo una tendencia a incremento de la concentración de fluoruros a medida que avanza el día desde la mañana hacia el medio día y finalmente hasta la tarde. Para todas las mediciones anteriores, las medianas oscilaron entre 0,1 y 0,15 con rangos intercuartílicos que nunca fueron inferiores a 0,05 y tampoco superiores a 0,2. Los outliers tampoco fueron superiores a 0,3 existiendo un unico valor extremo levemente inferior a 0,05. La prueba de comparacion de grupos no mostró significanca estadística.

Gráfica 6. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado control – Catambuco Urbano (U)



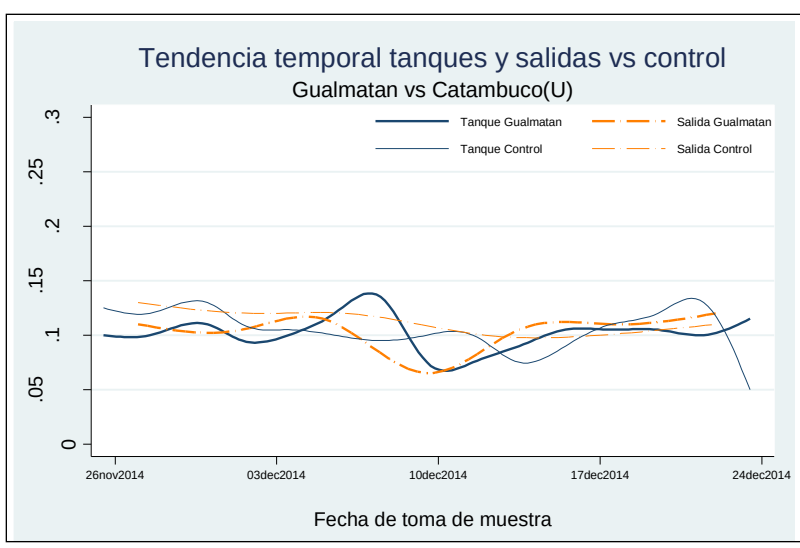
Las anteriores líneas de tendencia en el tiempo de la medición corresponden al conglomerado de Catambuco urbano, que sirvió de control en este estudio. La línea azul corresponde a la tendencia de la concentración de fluoruros del tanque de acueducto y la naranja discontinua a la llave de salida. Se observa que las concentraciones de fluoruros no superan el valor de 0,15 ppm para ninguno de los dos puntos de medición. Las concentraciones fueron similares la mayor parte del tiempo del seguimiento.

Gráfica 7. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Catambuco vs el control.

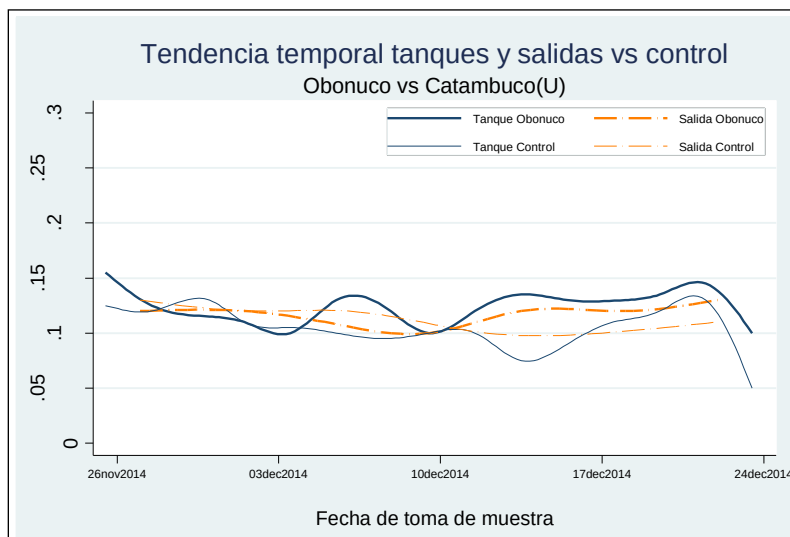


La gráfica No. 7 compara la tendencia de las concentraciones de fluoruros del conglomerado Catambuco, que representó las muestras tomadas en la zona rural de este corregimiento versus las tomadas en la zona urbana de este mismo, descritas en la gráfica No 6 como el conglomerado control. El resultado de esta comparación, entre aguas volcánicas y no volcánicas, presenta concentraciones de fluoruros similares en los conglomerados.

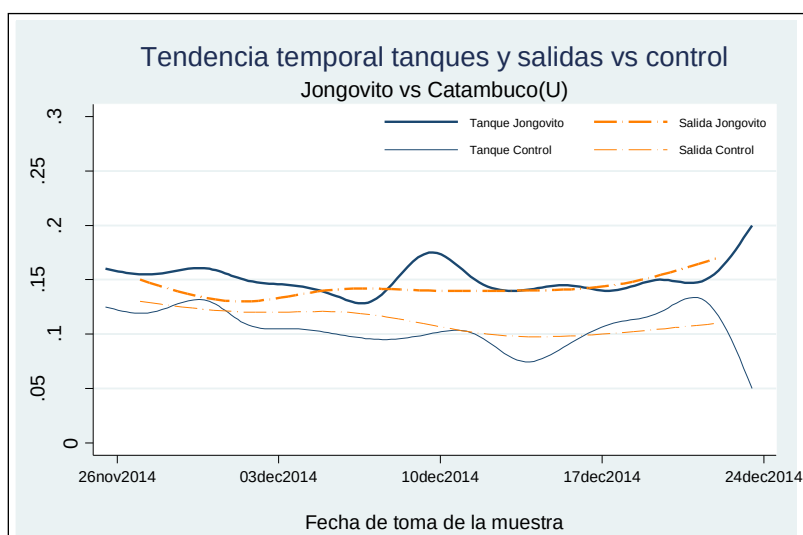
Gráfica 8. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Gualmatan vs el control.



Gráfica 9. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Obonuco vs el control.

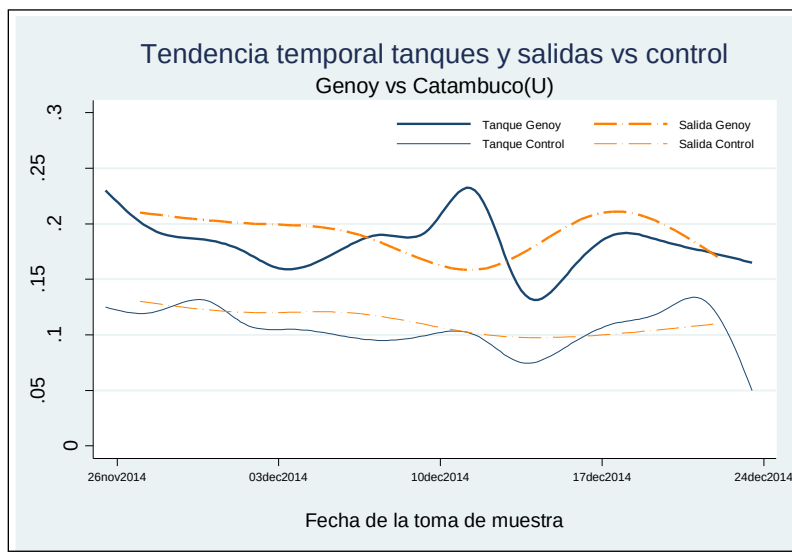


Gráfica 10. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Jongovito vs el control.



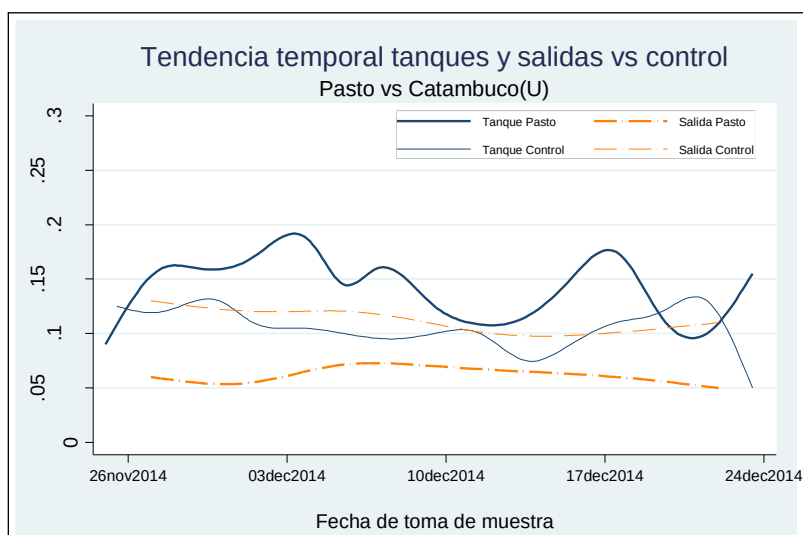
En lo relacionado a las aguas volcánicas de los conglomerados Gualmatan, Obonuco y Jongovito (Gráficas No 8, 9 y 10 respectivamente) versus las aguas no volcánicas del conglomerado control, se observó un comportamiento similar al descrito en la gráfica No 7, donde las concentraciones de fluoruros de aguas volcánicas y no volcánicas, fueron similares durante el periodo de observación y nunca superaron concentraciones de peligro para la exposición de fluoruros.

Gráfica 11. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Genoy vs el control.



En el caso del conglomerado Genoy versus el control, se observó que las concentraciones de fluoruros de las aguas volcánicas, fueron siempre superiores a las no volcánicas, pero en todo caso nunca superaron concentraciones de peligro para la exposición de fluoruros.

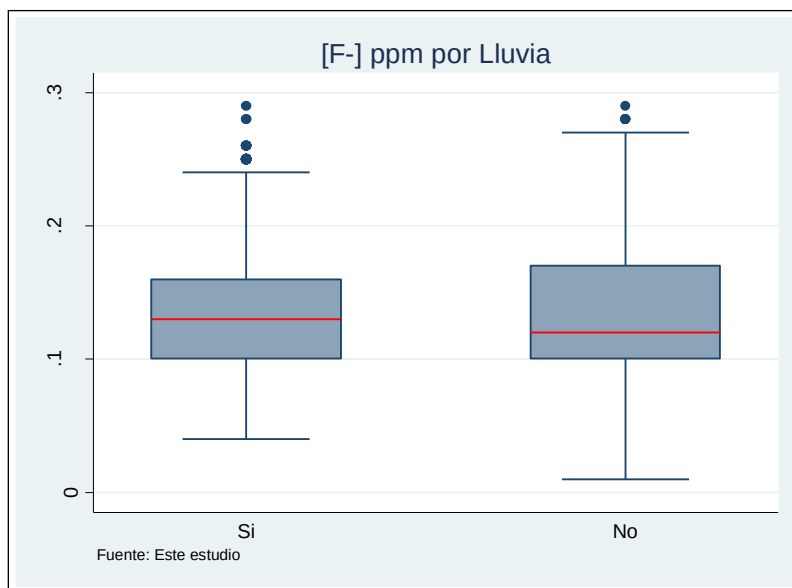
Gráfica 12. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tendencia temporal entre tanque de acueducto y llave de salida del conglomerado Pasto vs el control.



La gráfica No. 12 representa el comportamiento más atípico de los resultados encontrados por esta investigación, debido a que las concentraciones de fluoruros de las aguas volcánicas de la quebrada Mijitayo, fueron superiores a las medidas en el conglomerado control, pero las concentraciones de fluoruros de las aguas volcánicas del tanque de salida del apartamento del barrio La Colina, (que provenían de la quebrada Mijitayo) fueron las de menor concentración de esta investigación e incluso siempre fueron inferiores a las tomadas en las aguas no volcánicas.

Para el objetivo específico # 2: Evaluar los efectos de factores climatológicos y de la cloración del agua en la concentración de fluoruros para los conglomerados objeto de estudio. Se realizaron los siguientes análisis:

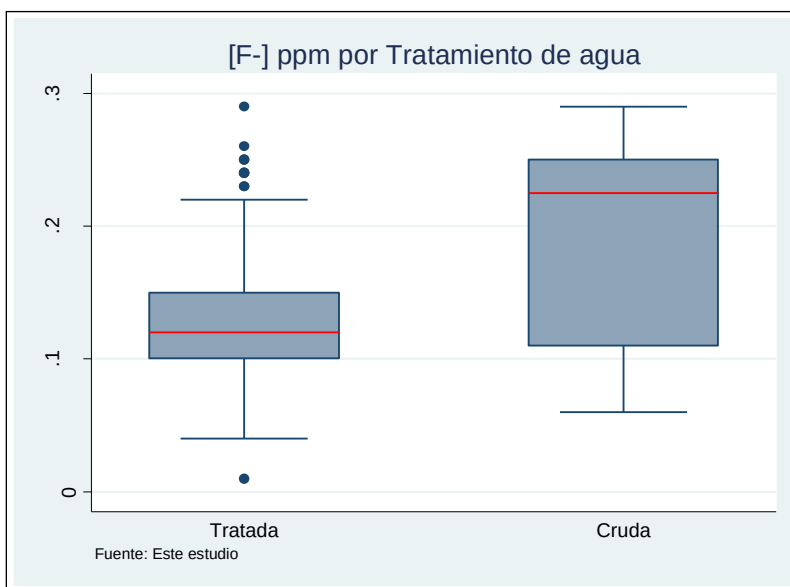
Gráfica 13. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según lluvia.



* Mann-Whitney: $p = 0,514$

La gráfica 13 presenta las medianas de la concentración de fluoruros entre las 335 (49,78%) muestras tomadas en los días de no lluvia versus las 338 (50,22%) muestras de los días que llovió durante el periodo de medición. Las medidas resumen entre estos dos grupos son similares entre si, al igual que sus rangos intercuartílicos, sus límites y sus valores atípicos. La prueba de comparación de grupos no mostró significancia estadística.

Gráfica 14. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tipo de agua.

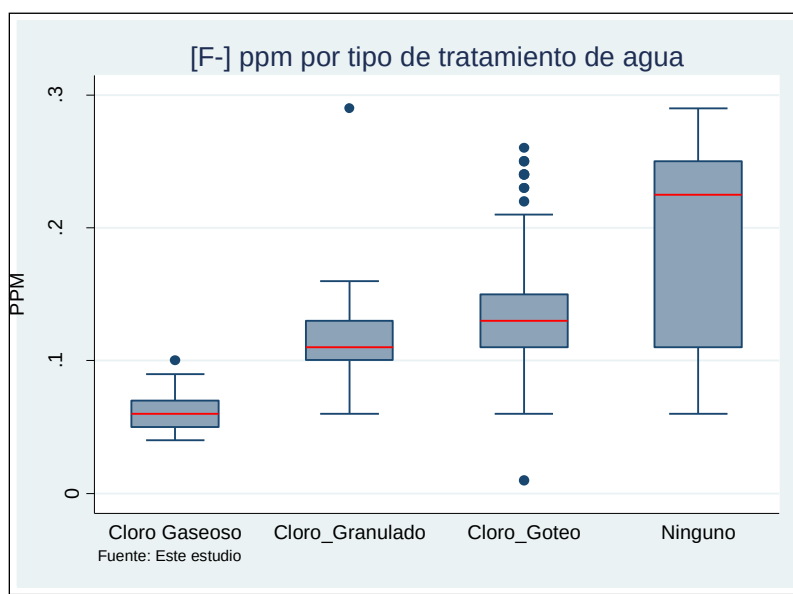


* Mann-Whitney: $p=0,0000$

La gráfica 14 presenta los resultados del comportamiento de la concentración de fluoruros, entre las aguas que recibieron tratamiento con cloro versus las que no se les hizo ningún tipo de tratamiento para potabilización.

Si bien las concentraciones de fluoruros nunca excedieron los valores de seguridad establecidos por la OMS, se observó que las aguas que tuvieron tratamiento con cloro tienen una mediana menor en la concentración de fluoruros que la presentada por las aguas no tratadas. La prueba de comparación de grupos indica que existen diferencias estadísticamente significativas de la concentración de fluoruros entre aguas tratadas y no tratadas.

Gráfica 15. Distribución de concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014, según tipo de tratamiento de agua.



**Kruskal-Wallis: $p=0.0001$*

Se observa una disminución en la concentración de las aguas que recibieron tratamiento con cloro, versus las que no lo recibieron. Al mismo tiempo se observó que los tres tipos de cloración de agua, presentan distintas medianas de concentración de fluoruros, siendo el cloro gaseoso el que tuvo los menores niveles de fluoruros.

La prueba de comparación de grupos indica que existen diferencias estadísticamente significativas de la concentración de fluoruros entre los diferentes tipos de tratamiento de agua utilizados.

Tabla 4. Regresión de las variables lluvia y tipo de tratamiento de agua, para aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014.

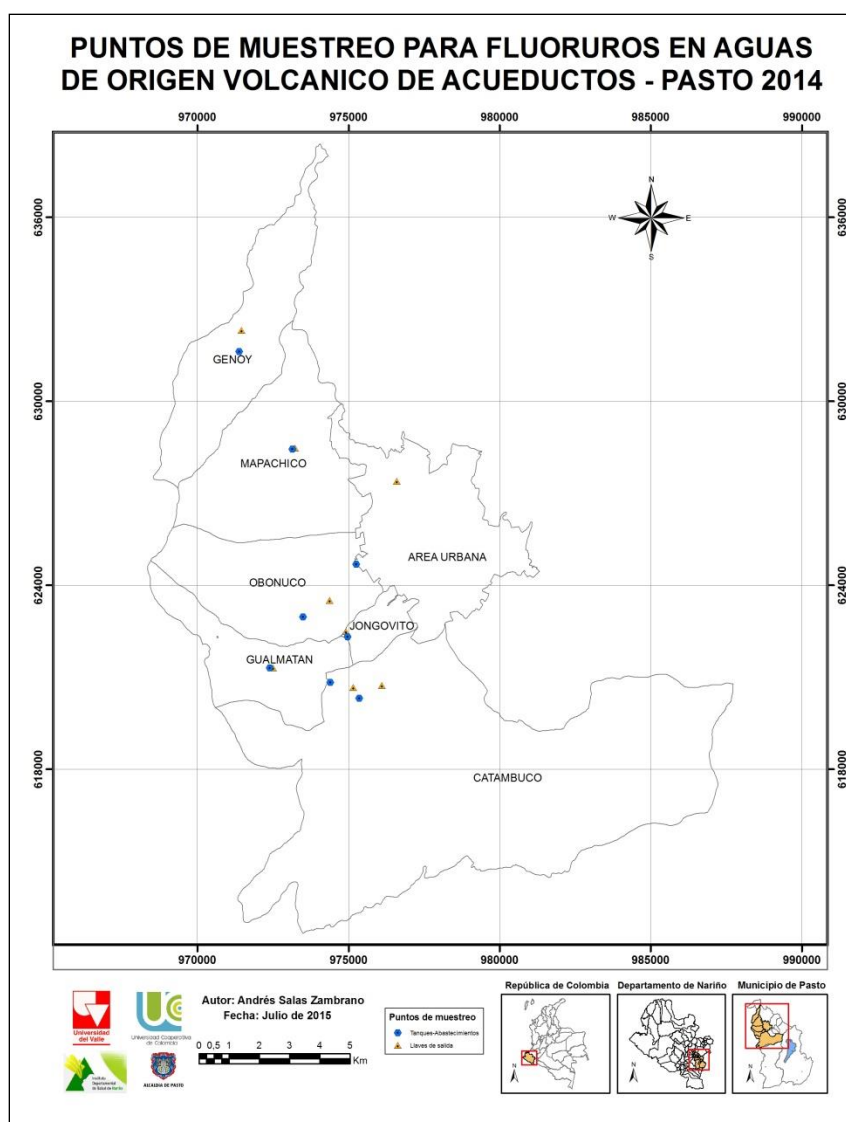
Modelo	Coficiente	(Robusto) Error	t	p	IC95%
Constante	.1919911	.0446149	4.30	0.004	(.0864 - .2974)
Lluvia	-.0036207	.0034927	-1.04	0.334	(-.0118 - .0046)
Cloración goteo	-.0567197	.0458925	-1.24	0.256	(-.1652 - .0517)
Cloración granulado	-.0772262	.0438613	-1.76	0.122	(-.1809 - .0264)
Cloración gaseoso *	-.1287433	.0438444	-2.94	0.022	(-.2324 - -.0250)

$R^2 = 0.3332$

El análisis de la regresión muestra la no significancia estadística de la variable lluvia en relación a la concentración fluoruros. En el análisis de tratamiento de cloro recibido por las aguas tratadas, se observa que la disminución en la concentración de fluoruros está asociada al uso de cloro gaseoso. El coeficiente de determinación explica que el 33% de la variabilidad de la concentración de fluoruros en agua está explicada por el tipo de tratamiento con cloro que estas reciben.

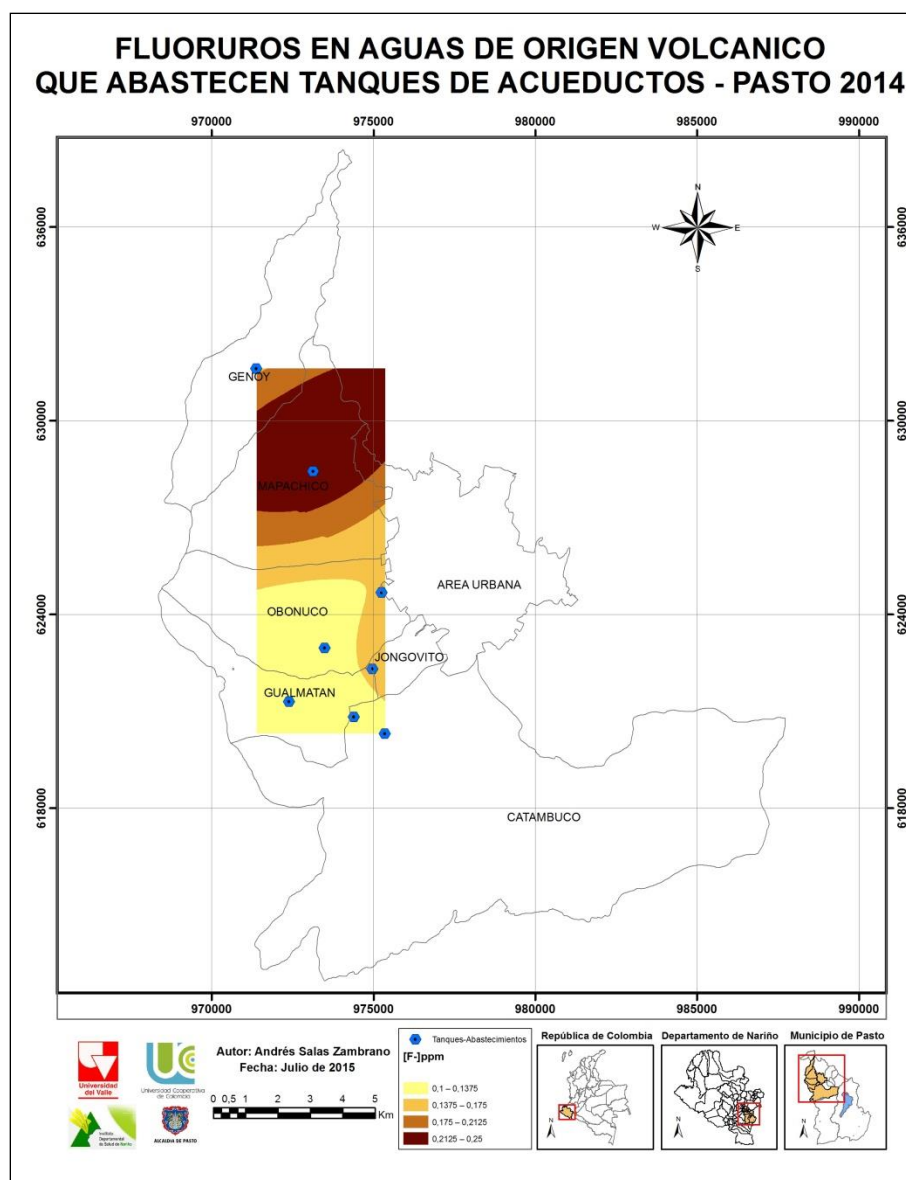
Para el objetivo específico # 3: Caracterizar la distribución espacial de la concentración de fluoruros en el área de estudio. Se realizaron los siguientes mapas:

Mapa # 3. Puntos de muestreo para concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen acueductos de Pasto en el año 2014.



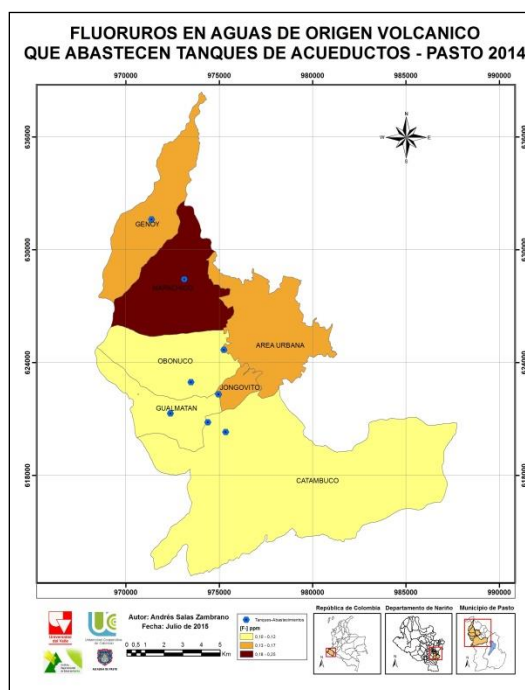
El mapa No 3, muestra los 7 conglomerados de estudio y los 16 puntos de muestreo; se observa que a excepción de Catambuco, los demás conglomerados tienen dos puntos de medición, en azul el tanque y en amarillo la llave de salida. En Catambuco hay 4 puntos, debido a que en la misma zona geográfica se tomaron los lugares control y corresponden a los dos puntos (el azul y el amarillo) del extremo sur oeste del mapa. A excepción de Pasto, los demás conglomerados tuvieron cercanía entre el tanque y el punto de salida.

Mapa # 4. Kriging de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen tanques de acueductos de Pasto en el año 2014.

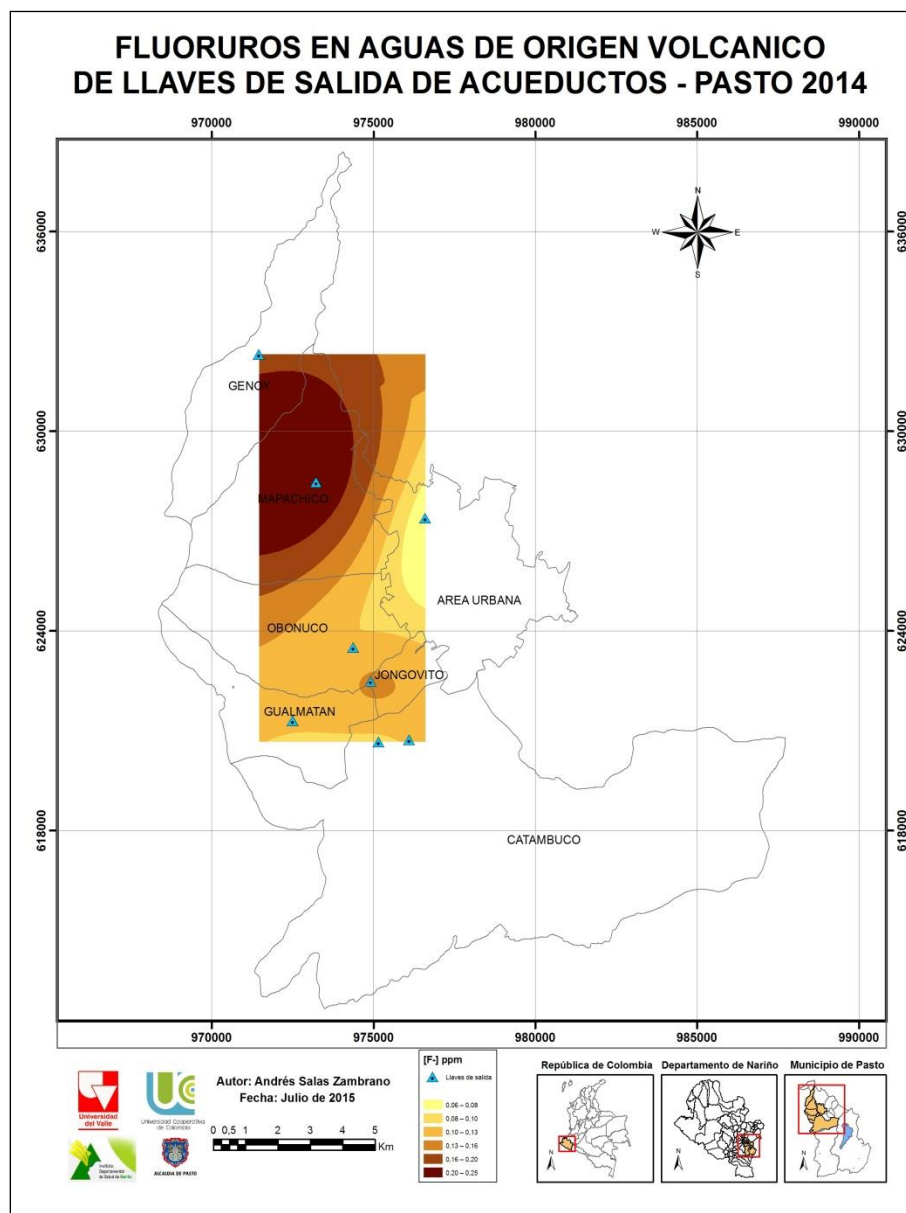


El mapa # 4 representa las características de la distribución espacial de la concentración de fluoruros en los acueductos de cada uno de los conglomerados medidos. Estas características están representadas por colores que van en una escala de amarillo a café oscuro, correspondiendo con los rangos de la tendencia espacial que tiene la concentración de fluoruros en el área de estudio. La interpretación del mapa permite ver que los tanques de los corregimientos Catambuco, Gualmatan, y Obonuco, tienen las menores concentraciones de fluoruros, entre los rangos (0,10 – 0,13ppm), pero a medida que se avanza en el sentido norte y oriente del área de estudio, las concentraciones de fluoruro aumentan levemente para los corregimientos de Jongovito y el tanque de Pasto, alcanzando un rango de (0,135 0,17ppm), los cuales siguen en aumento hasta el corregimiento de Mapachico, (0,215 – 0,15ppm) para luego nuevamente descender cuando se recorre distancia hacia el norte del Volcán Galeras. El corregimiento de Genoy, tienen una concentración intermedia de (0,175 a 0,2124). En resumen y teniendo como parámetro la observación visual del mapa, el punto de mayor concentración de fluoruros es el corregimiento de Mapachico, eje sobre el cual se van disminuyendo las concentraciones de fluoruros a medida que se aleja de este punto en sentido norte y sur de la geografía del volcán Galeras.

Mapa # 5. Distribución espacial de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico que abastecen tanques de acueductos de Pasto en el año 2014.



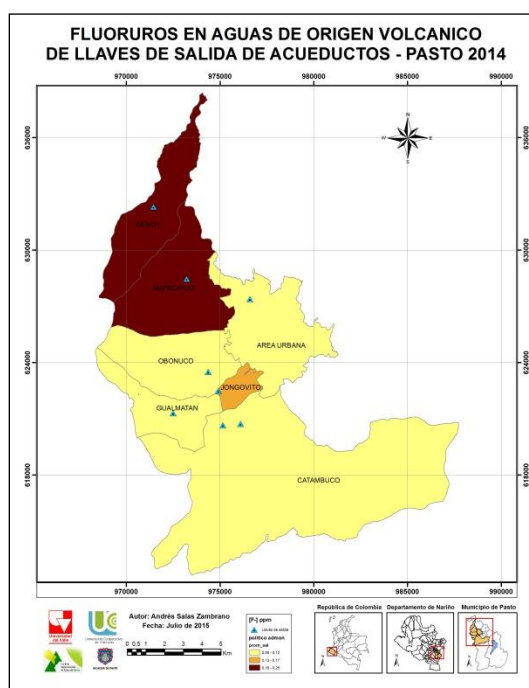
Mapa # 6. Kriging de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico de llaves de salida de acueductos de Pasto en el año 2014.



El mapa # 6 representa las características de la distribución espacial de la concentración de fluoruros en las llaves de salida de cada uno de los conglomerados medidos. Estas características están representadas por la misma escala de colores que el mapa # 2. La interpretación del mapa permite ver que las llaves de salida de Pasto y Catambuco, tienen las menores concentraciones de fluoruros, entre los rangos (0,06 – 0,08ppm), coincidiendo con la interpretación del mapa #2, en lo relacionado a que a medida que se avanza hacia el corregimiento de Mapachico, se logran las mayores concentraciones de fluoruros en agua (0,20 a 0,25) que indistintamente a este cambio, no logran superar los umbrales de

seguridad establecidos por la OMS. En resumen y teniendo como parámetro la observación del mapa, el punto de mayor concentración de fluoruros es el corregimiento de Mapachico, y a partir de él se van disminuyendo las concentraciones de fluoruros a medida que se aleja de este punto en sentido norte y sur de la geografía del volcán Galeras, con la diferencia que la llave de salida del corregimiento de Jongovito, tiene una concentración que levemente es superior a la de sus corregimientos vecinos, Obonuco y Gualmatan.

Mapa # 7. Distribución espacial de la concentración de fluoruros en aguas de origen volcánico en llaves de salida de tanques de acueductos de Pasto en el año 2014.



El mapa # 7, representa los datos del kriging anterior, coloreando el conglomerado según la concentración de fluoruros definida por la agregación espacial de esta variable según la distancia existente entre sus vecinos. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que las concentraciones son datos obtenidos de las llaves de salida de agua medidas en estos lugares y no son necesariamente generalizables para todo el corregimiento.

8 DISCUSION

Los resultados de esta investigación llevada a cabo en los corregimientos de Catambuco, Jongovito, Gualmatan, Obonuco, Mapachico, Genoy y la quebrada Mijitayo del municipio de Pasto, relacionan el potencial riesgo para la etiología de la fluorosis dental y/o esquelética, desde la exposición a concentraciones de fluoruros ([F-]) por ruta oral.

8.1 Hallazgos principales:

Los resultados entregados por este estudio dejan ver que las [F-] en las aguas con origen en el volcán Galeras y que están abasteciendo a algunos de los acueductos de la zona rural y urbana del municipio de Pasto no presentan peligro para la ocurrencia de la fluorosis dental y/o esquelética, al menos con base en el mes del seguimiento diario hecho durante esta investigación.

Lo anterior se menciona con base en el valor máximo permitido de presencia de flúor en el agua, según los lineamientos de calidad para aguas de consumo de la Organización Mundial de Salud del año 2004,⁸ donde se establece en 1.0 ppm la presencia máxima de fluoruros en agua para los climas cálidos y en 1.5 ppm para los climas fríos. Por consiguiente, se pueden considerar como aguas seguras para el consumo humano en lo referente a la exposición de fluoruros, sin desconocer que algunas de ellas no reciben los tratamientos fisicoquímicos necesarios para considerarlas como aguas potables.

Se encontró que el valor mínimo de la mediana en la [F-] fue de 0.06 ppm correspondiente a la llave de salida del conglomerado Pasto y el valor máximo de la mediana fue de 0.25, valores que compartieron los puntos, tanque y llave de salida del conglomerado Mapachico. Los valores extremos correspondieron a 0.04, presentado en la llave de salida del conglomerado Pasto y 0.29, concentraciones presentadas en las llaves de salida de los corregimientos Gualmatan y Mapachico.

En la misma zona geográfica se estableció un acueducto y una llave de salida control, puntos que comparten condiciones ambientales similares a los puntos evaluados tales como, temperatura, altura sobre el nivel medio del mar, proximidad al cráter volcánico, precipitaciones y roca ígnea volcánica, pero que se diferencian de los demás en que las aguas que abastecen este acueducto, no nacen en el volcán galeras, sino en la represa del rio bobo. (Zona geológica no volcánica) En este conglomerado denominado “control”, la mediana de la [F-] fue de 0.10 ppm en el tanque y 0.105 en la llave de salida. Los valores extremos correspondieron a 0.01 y 0.16.

Al comparar los resultados de esta investigación con otros estudios que tuvieron los mismos métodos de medición (Potenciometría con electrodo específico) tanto en zonas volcánicas como no volcánicas, se encuentran las siguientes diferencias y similitudes:

Se pudo observar que las [F⁻] en las aguas analizadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas en comparación con los valores del conglomerado control- Por lo anterior, es necesario validar si todas las aguas nacientes en suelos volcánicos tienen [F⁻] elevadas o si las concentraciones varían dependiendo del lugar, debido, por ejemplo, a los diferentes elementos químicos del suelo.

Lo anterior debido a la diferencia entre los valores de [F⁻] encontradas por este estudio y las mediciones realizadas por Rango y colaboradores en 2014, quienes reportaron [F⁻] en una amplia zona volcánica de Etiopía, las cuales oscilaron entre las 1.06 a 18 ppm⁷¹, todas ellas aguas para abastecimiento de consumo, subterráneas en suelos volcánicos y tomadas en épocas de periodo sin lluvias. Todas estas muestras tuvieron confirmación de su medida por cromatografía, encontrándose las mismas mediciones iniciales, concluyendo en todos los casos, que se superaban las máximas [F⁻], permitidas por la OMS para zonas de clima caliente.

En comparación con el anterior referente y otros expuestos en el estado del arte ^{37,39,43} los resultados de la presente investigación son inesperados, en cuanto a que se esperaba encontrar [F⁻] más altas e incluso que sobrepasaran las dosis establecidas por la OMS, dado que se trata de suelos volcánicos y de un volcán activo, que durante el periodo de recolección de muestras de agua de esta investigación, reportó 5 eventos eruptivos tipo fumarola, según datos reportados en la página web de Ingeominas.⁷²

Sin embargo, los resultados de este estudio son similares con el estudio realizado por Guerreiro y colaboradores en 2007, donde en la misma zona geográfica (Volcán Galeras y municipio de Pasto) se encontraron [F⁻], que tampoco sobrepasaron las concentraciones permitidas por la OMS, bajo la limitante que se hicieron mediciones únicas en los lugares de muestreo y que el tamaño de muestra total correspondió a 82 muestras de agua.⁷³ Para el estudio en mención, existieron 5 localidades que correspondieron a los conglomerados tomados por este estudio, en los cuales las [F⁻], fueron: Jongovito 0.179 ppm en 2007 y 0.15 ppm en este estudio, Gualmatan 0.181 ppm en 2007 y 0.11 ppm en este estudio, Obonuco 0.093 ppm en 2007 y 0.12 ppm en este estudio, Catambuco 0.094 ppm en 2007 y 0.10 ppm en este estudio y Mijitayo 0.178 ppm en 2007 y 0.16 ppm en este estudio. Es importante tener en cuenta que estas muestras de agua, fueron leídas en igual: laboratorio, técnica, equipo y persona, que las de este estudio, como también, recolectadas en época donde el volcán también estaba en igual nivel de actividad.

Destacándose en los últimos años los estudios realizados en el volcán Yasur ⁷⁴ y volcán Ambrym en Australia ⁷⁵, la isla volcánica de San Miguel en Portugal ⁷⁶ el

volcán Tendurek en Turquía ⁷⁷ y el valle del Rift en África ⁷¹, (conocida zona volcánica de importante antigüedad geológica) son pocos los estudios que se han realizado sobre [F-] en regiones volcánicas, existiendo en la literatura un número importante de estudios sobre [F-] en la India como país y Asia como continente, pero bajo argumentos de ser zonas endémicas de fluorosis dental y/o esquelética sin soportar relevancia por origen volcánico de estas zonas.

Comparando los datos de [F-] de la literatura mundial en zonas volcánicas con los encontrados por este estudio, se puede evidenciar que mientras en la zona del volcán Galeras las [F-] oscilaron en sus medianas entre 0.06 y 0.25 ppm, (Estando siempre por debajo de las dosis de riesgo establecidas por la OMS) en la zona del volcán Yasur y Ambrym ⁷⁴, se han reportado valores con promedio de 2.8 ppm; solamente en el volcán Ambrym, ⁷⁵ valores que oscilan entre 0.7 a 9.5 ppm; en el volcán San Miguel, [F-] entre 0.17 a 2.0 ppm; en el volcán Tendurek, [F-] entre 0.7 a 2.0 ppm y como ya se había mencionado, en el valle del Rift en Etiopía, las [F-] oscilan entre 1.06 a 18 ppm. ⁷¹

Mientras lo anterior deja ver cómo en las 5 zonas volcánicas internacionales, si bien se encuentran algunos datos que se encuentran por debajo de los límites establecidos por OMS en relación a [F-] y prevención de fluorosis dental y/o esquelética, estas zonas siempre contaron con mediciones que superaron dichos límites, incluso con valores por arriba de 9 ppm. En contraste en el volcán Galeras las [F-] nunca excedieron los límites establecidos y sus concentraciones fueron siempre bajas.

Por otro lado, la literatura que no relaciona [F-] en torno a suelos volcánicos, ha caracterizado dicha concentración en términos de aguas subterráneas utilizadas para consumo humano y la variación de las [F-] con respecto a la profundidad de las mismas. Ahora bien, comparando los datos de este estudio con las de aguas subterráneas, se encuentra que dos estudios realizados en China, por Li en 2015 ⁷⁸ y Hui en 2014 ⁷⁹ como también el realizado en Marruecos por El Jaudi en 2014 ⁸⁰, encontraron [F-] promedio en pozos subterráneos utilizados para abastecimiento poblacional, donde sus promedios siempre fueron superiores a los establecidos como seguros por la OMS (1.0 ppm) aunque reportaron también [F-] de los valores mínimos hallados por debajo de la dosis establecida por la OMS; alguno de los cuales, también reportó que a medida que aumenta la profundidad del pozo, disminuye la [F-].

Tal fue el caso de estudio de Li en 2015, ⁷⁸ donde en aguas de pozos superficiales, el promedio fue 3.8 ppm, con sus valores mínimos y máximos de concentraciones encontradas en ellos, de 0.50 ppm y 14.10 ppm respectivamente, en pozos intermedios, promedio de 1.40 ppm con 0.40 ppm y 3.20 ppm como valores mínimos y máximos y en pozos profundos, promedio de 1.20 ppm con 0.10 ppm y 8.20 ppm como valores mínimos y máximos. En el estudio de Hui en 2014 ⁷⁹ realizado en pozos poco profundos, los valores oscilaron entre 1.06 ppm a 3.09 ppm (todos por encima de la concentración de OMS) y en el estudio de El Jaudi en 2014 ⁸⁰ sin mencionar la profundidad de los pozos el promedio reportado

fue de 1.84 ppm y sus valores mínimos y máximos 0.42 ppm y 8.95 ppm respectivamente. Sin embargo el estudio de Ogbu en 2012,⁸¹ midió 50 pozos artesanales en 5 ciudades diferentes de Nigeria y en ningún caso, las [F-] superaron la dosis de OMS, estudio que contó con muestras que oscilaron entre 0.60 ppm a 0.70 ppm.

Ahora bien, las variaciones en las [F-] pueden estar siendo explicadas por otros químicos disueltos en el agua como lo indica el estudio realizado por Li en 2014⁷⁸ donde concluye que altas [F-] fueron encontradas en aguas subterráneas con alta presencia de Sodio y Bicarbonato, con baja presencia de Calcio y ante un pH alto. Adicionalmente y ante la disminución en [F-] a mayor profundidad de los pozos de agua, el mismo artículo señala que los principales procesos hidrogeoquímicos son la disolución de minerales, intercambio iónico y evaporación.

Este último concepto “evaporación” puede también explicar el comportamiento de la [F-] en el punto de llave de salida del conglomerado Pasto de este estudio, debido a que fue el lugar que más bajas [F-] presentó durante todo el mes de seguimiento. En este punto la mediana fue de 0.06 ppm, el valor inferior de 0.04 y el superior de 0.10 ppm. Esto ante la posible hipótesis que este proceso de “evaporación” se da en el tanque de abastecimiento de agua, debido a que el apartamento del Barrio La Colina, es uno de los dos únicos puntos que contaron con tanque de reserva. El otro punto que contó con tanque de reserva, fue el Colegio de Genoy, donde no se evidenciaron [F-] de menor magnitud al interior de la investigación ni tampoco desde su referente tanque de suministro, sin embargo, el motivo de no haberse presentado evaporación en este tanque, se pudo dar ante el potencial movimiento constante del agua en este sitio, debido que se trata de un colegio con más de 800 personas que diariamente hacen uso del agua.

A lo anterior también se suma como una posible explicación de las bajas [F-] en el punto llave de salida del conglomerado Pasto, que es el único punto que tuvo tratamiento de agua con cloro gaseoso, procedimiento que fue el que mostró significancia estadística en lo referente a la disminución en la [F-] entre la diferencia mostrada entre los grupos de agua cruda y el de agua tratada.

Como soporte a la anterior observación, el estudio de Li de 2014⁷⁸ también relaciona el enriquecimiento de sales en el agua subterránea poco profunda debida a la “evaporación” generando un cambio en la composición química que contiene lecturas ricas en cloro y sodio. De esta manera existe un potencial doble mecanismo que impacte en la reducción de [F-] en el agua, la evaporación, o el papel que esté jugando el Cloro como antagonista de los fluoruros.

La posible relación que tiene el Cloro en la [F-] se deja ver en los resultados de esta investigación, donde la comparación de grupos entre aguas crudas (Naturales) y tratadas (Cloradas) tuvo significancia estadística de $p=0.0000$, razón por la cual se realizó una regresión con los diferentes tipos de tratamiento de cloración, (Goteo, Granulado y Gaseoso) presentado significancia estadística ($p=0.022$), en lo relacionado a lograr disminución en la [F-], la cloración de agua

con método gaseoso. Estos cambios químicos se pueden relacionar con los resultados encontrados por Li en 2014⁷⁸, donde evidenciaron que las [F-] en aguas profundas de pozos para abastecimiento de agua, tenían una elevadas concentraciones de Cloruros, haciendo que las [F-] sean más bajas en estos pozos, al compararlos con los de profundidad intermedia, los que a su vez, tenían menores [F-] que los de aguas superficiales.

En lo relacionado a la comparación de los datos de este estudio, con otros similares que han reportado [F-] tomadas desde llaves (grifos) de salida, se puede encontrar que los datos son similares en lo relacionado a tener unas bajas [F-] y tampoco superar las dosis máximas permitidas por OMS. Los datos correspondientes a mencionados estudios reportaron unos promedios de 0,43ppm en el estudio de Pérez en México en 2014⁸², 0,54ppm en el estudio de Wambu en Kenia en 2014⁸³, 0.04 ppm en el estudio de Akpata en Kuwait en 2014⁸⁴, sin embargo no se menciona en dichos estudios, si estas aguas reciben cloración o no, como tampoco se menciona si son de origen volcánico o no.

Al analizar las [F-] de la literatura actual, tomando como lugar de muestras otros abastecimientos de agua: Tanque de acueducto, se reportan [F-] que discrepan con los datos de este estudio, porque en algunos lugares, las concentraciones no se mantienen dentro unos rangos seguros (según dosis OMS), como los reportados por este estudio, sino que oscilan, entre valores bajos que cumplen la dosis de no riesgo, pero en ocasiones la superan.

Dentro de estos datos se encuentra: El estudio de Cochrane en Australia en 2014⁸⁵ donde se encontraron [F-] con valores mínimo de 0,01ppm y máximo de 0,18ppm. Wambu en Kenia en 2014,⁸³ reportó [F-] promedio de 0.96ppm, con valores mínimo de 0,22ppm y máximo de 5,18ppm en tanque y promedio de 1,41ppm, con valores mínimo de 0,37ppm y máximo de 2,43ppm en estanques. Similar situación reportaron los estudios de: Sarvaiya en India en 2012⁸⁶ donde el valor mínimo encontrado fue de 0.80ppm y el máximo 4,10 ppm; Moimaz en Barsil en 2012⁸⁷ con promedio de 0,66ppm, mínimo de 0,07ppm y máximo de 2,53ppm; Gao en China en 2012⁸⁸ con promedio de 0,57ppm, mínimo de 0,12ppm y máximo de 1.94ppm y el estudio de Rawson en Estados Unidos en 2013⁸⁹, pero con valores que no superaron la dosis OMS, mínimo de 0,73ppm y máximo de 0,89 ppm. Este último estudio tienen el valor agregado que no encontró diferencias estadísticamente significativas, en las [F-] entre la fuente (acueducto) y localidades remotas (llaves de salida).

Por otra parte Rubio en México en 2012⁹⁰ encontró en la represa Luis León en Chihuahua [F-] que fue diferente entre varios meses de año 2009. Tal fue el caso del promedio de [F-] 0,72ppm en febrero, 0,97 en marzo y 3,28ppm en noviembre. Finalmente se relaciona el estudio de Brahman en Pakistan en 2014⁹¹ donde se reportan los valores más altos de esta revisión de literatura, con muestras de agua lluvia tomadas en el desierto, en época de vientos monzónicos, donde el valor mínimo fue 10.0ppm y el máximo 35,40ppm.

Todo lo anterior deja ver la variación existente de las [F-] en muestras de agua utilizadas para consumo humano, las cuales al parecer son sensibles a diferentes profundidades en el caso de pozos. Al Cloro, en el caso de su adicción, como tratamiento de aguas para consumo humano o su presencia en aguas subterráneas profundas, por efectos de evaporación y pH del agua. A la química del suelo, indistintamente a ser zona volcánica o no volcánica y a otras variables ambientales, como puede ser el viento que conduce elementos químicos, o que puede influenciar en hacer o no movimiento de grandes cuerpos de agua y la lluvia como elemento responsable de decantar elementos del aire, o generar disolución de elementos del suelo al agua.

8.2 Fortalezas y Debilidades:

Se reconoce como fortaleza de esta investigación que se controló el ajuste completo al protocolo establecido, garantizando la recolección de las muestras de agua, en los puntos y días establecidos, con estricto control de la cadena de frío para recolección y transporte de muestras de agua, las cuales fueron procesadas y leídas en un laboratorio de referencia departamental para salud pública, el cual cuenta con la certificación y experiencia necesaria, para tener confianza en las medidas obtenidas.

Adicionalmente es importante reconocer que en el mes de seguimiento se contó con que en el 50% de los días de medición, hubo presencia de lluvia y en el otro 50% no, lo cual da cuenta de la representatividad en la cantidad de muestras que fueron tenidas en cuenta para el análisis de la variable clima, sobre la cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, conclusión que se comparte con el estudio realizado por Cordeiro y colaboradores en 2012 en la isla volcánica de San Miguel, en Portugal ⁷⁶, donde encontrando [F-] que oscilaron entre 0.17 a 2.0 ppm, concluyeron que no fueron detectadas variaciones en las concentraciones de fluoruros en diferentes estaciones climáticas. Sin embargo y teniendo en cuenta el último párrafo de la discusión en lo referente a principales hallazgos, la literatura científica aun no es contundente en estudios que permitan concluir sobre si la lluvia es o no una variable que logra incrementar las [F-] en los cuerpos de agua.

Es importante reconocer que un número suficiente de muestras fueron recolectadas en cada punto y que si bien, únicamente fueron 7 conglomerados estudiados, el haber contado con 673 muestras de las 702 programadas, permite tener una buena aproximación al comportamiento de la concentración de fluoruros en al menos esa época del año y como parte de una investigación sistemática en mediciones no aisladas ni esporádicas, como se han realizado en algunas ocasiones por parte de autoridades sanitarias municipales a sabiendas de normatividad vigente en vigilancia epidemiológica y de calidad del agua.¹⁷ Al mismo tiempo se mejoró el tamaño de muestra y el periodo de observación, que

en el estudio realizado por Guerrero en 2007, ⁷³ donde en algunos de los conglomerados estudiados y a pesar de solo contar con 82 muestras en el total del estudio, tampoco se encontraron valores que superaron las [F-] según OMS, como los encontrados por esta investigación.

Como debilidad de esta investigación, a pesar de que se hizo un seguimiento diario de los principales acueductos nacientes en el volcán Galeras durante un mes, es posible que este 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. En particular, dado que en el tiempo de las mediciones de este estudio el volcán se encontraba en actividad leve y presentó eventos volcánicos tipo fumarolas durante 6 de los 30 días medidos, en los cuales la dirección del viento, fue contraria a los puntos de medición, lo que se relaciona con el estudio realizado por Allibone y colaboradores en 2012, en el volcán Ambrym en Vanuatu -Australia, ⁷⁵ donde se encontró que la medición de fluoruros en aguas lluvias que la población cercana al volcán utiliza para consumo humano, presenta concentraciones de fluoruros que en promedio tienen 4.2 ppm con valores mínimos de 0.7ppm y máximos de 9.5 ppm, bajo la coincidencia que la dirección del viento lleva la fumarola volcánica, hacia el sitio donde las precipitaciones de agua, fueron recolectadas para consumo humano y para dicha investigación.

Todo lo anterior sugiere proponer un estudio de mayor duración en el tiempo, que potencialmente logre identificar picos en la [F-], y que al mismo tiempo pueda dar mejor cuenta de periodos de actividad volcánica, e incluso no solo en localidades del municipio de Pasto, sino en los demás 6 municipios circundantes al volcán Galeras, al mismo tiempo, para medir con precisión, la variable dirección del viento.

8.3 Implicaciones en salud pública:

Esta investigación se formuló principalmente como un estudio de epidemiología ambiental y no de odontología, y su propósito fue contribuir a comprender la etiología de la fluorosis dental en la población residente en el municipio de Pasto. En esta ciudad no se han terminado a la fecha estudios que cuantifiquen la magnitud y severidad de la fluorosis, no obstante, la presencia reportada de casos con clínica de la fluorosis dental en población adolescente e infantil, sumado a la base teórica que los depósitos de fluoruros en los dientes llegan allí principalmente por ruta gastrointestinal, sugiere que la etiología de la fluorosis dental no proviene

desde el agua de consumo, sino de otras vías de exposición pero también por ruta gastrointestinal.

En ese sentido es importante seguir midiendo exposiciones y biomarcadores de fluoruros en la zona de estudio, aproximándose a conocer si el volcán puede estar generando otras rutas o hay otras variables de la química que impacten en las [F-]. Por ahora, conscientes de la limitación de este estudio en lo relacionado al poco tiempo de medición, se puede dar un parte de tranquilidad a las autoridades competentes de la salud pública, a los clínicos de la odontología y a la comunidad residente en los corregimientos evaluados en este estudio, en que no hay riesgo para la ocurrencia de fluorosis dental y/o esquelética, por ruta oral y con vía agua de los acueductos evaluados. No sin antes y ante la cronicidad de la exposición requerida para la etiología de cualquiera de estas dos patologías, este estudio no puede ser contundente en el concepto de “No hay riesgo”.

8.4 Futuros estudios:

Con los resultados de esta investigación se pueden plantear nuevos estudios que conduzcan a determinar en primer lugar, la precisión del efecto del cloro como un antagonista en la [F-] y en segundo lugar, continuar midiendo el comportamiento de las [F-] en las fuentes de exposición (acueductos o bocatomas), debido a que si bien se logró conocer el comportamiento de [F-] entre el abastecimiento tanque y su salida (hacia abajo) no se sabe si las bocatomas o los nacimientos (hacia arriba) tienen [F-] de riesgo. Lo anterior también plantea la posibilidad de realizar estudios como el de Rawson en Estados Unidos en 2013⁹², que puedan medir la variabilidad que tienen las [F-] de una misma fuente, pero a lo largo de su recorrido.

Es importante también proponer estudios que midan biomarcadores de fluoruros como también las [F-] en alimentos, no solo los producidos en la región por la hipótesis de crecer en suelos volcánicos o de ser regados con aguas de estas características o influenciadas por el medio ambiente, sino también de la canasta familiar que consume la población del municipio de Pasto, lo anterior debido a la presencia de fluorosis dental, bajo el conocimiento que la historia natural de la enfermedad contempla una exposición crónica, pero donde la ruta oral sigue siendo la más relacionada con la etiología de la enfermedad. Plantear estudios de relacionados con exposición a fluoruros por vía deglución voluntaria o involuntaria de crema dental, o el consumo de sal, también son necesarios para abordar el modelo de riesgo completo.²⁰

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer más mediciones en estos y otros municipios circundantes al volcán Galeras y durante un mayor tiempo, por la posibilidad de que haya variaciones espaciales y temporales en el comportamiento volcánico y que por tanto se logren identificar picos de mayor [F-]. Es importante también plantear un estudio que permita aumentar los sitios de medición al interior de los conglomerados, antes que la posibilidad de incrementar la cantidad de muestras a tomar; lo anterior con el ánimo de aumentar la precisión de los resultados de la agregación espacial de las [F-], lo que redundaría en un mejor modelo de la geoestadística y de análisis de interpolación por Kriging. Se recomienda también incluir la variable temperatura y pH del agua en el momento de la toma y el análisis de otros elementos fisicoquímicos del agua, entre ellos la cantidad de cloro, sodio, calcio, salinidad y bicarbonato. Para los gobernantes departamentales y municipales y para los tomadores de decisión en salud pública, se recomienda fomentar y apoyar investigaciones que monitoreen la exposición a fluoruros en sus jurisdicciones, teniendo en cuenta que con los datos de esta investigación se tiene un parte de tranquilidad en lo relacionado al no riesgo en el agua para el desarrollo de fluorosis, teniendo en cuenta que no es la única ruta para la enfermedad.

10 BIBLIOGRAFÍA

-
- ¹ Bulnes-López RM, Ramón-Frías T, Bermudez-Ocaña D, Juárez-Rojop I, Borbolla-Sala M, Piña-Gutiérrez O. Identificación de fluorosis dental en una población estudiantil universitaria en el Estado de Tabasco, México. SALUD EN TABASCO 2008; 14 (3): 776-788.
- ² Beltrán-Aguilar ED, Barker L, Dye BA. Prevalence and severity of dental fluorosis in the United States, 1999-2004. NCHS Data Brief. 2010 Nov; (53): 1-8
- ³ <http://www.unicef.org/wash/files/wf13e.pdf>
- ⁴ Fluorideandfluorosis.com. New Delhi: Fluorosis Research And Rural Development Foundation online resource. Available from: <http://www.fluorideandfluorosis.com/fluorosis/prevalence.html>.
- ⁵ Ministerio de Salud de Colombia. III Estudio Nacional de Salud Bucal y II Estudio Nacional de Enfermedades Crónicas. Bogotá 1999.
- ⁶ Kawahara, S, Odontological Observations of Mt Aso-Volcano disease, Fluoride, 4, 172-175. 1971.
- ⁷ Abhay S. Nigure, G.S. Saiprasad, Poonam. R. Naik, Shruti Mohanty. An Epidemiological study on Fluorosis in an Urban Slum Area of Nalgonda, Andhara Pradesh, India. Indian Journal of Public Health, Volume 54, issue 4, October-December, 2010
- ⁸ W.H.O Chemical fact sheets, Guidelines for drinking- water quality. Vol 1, tercera ed, Geneva. W.H.O 2004. p.184-6,376.
- ⁹ Saava Astrid and Enn Karro, Exposure to high fluoride Drinking Water and Risk of Dental Fluorosis in Estonia. Int J Environ Res Public Health. 2009 February; 6(2): 710–721
- ¹⁰ Misom K, Woodward M, Haran D, Lennon M. Enamel Defects in the deciduous dentition as a potential predictor of defects in the permanent dentition of 8 and 9 year old children in fluoridated cheshire, England, J Dent Res 1996;75:1015-1018
- ¹¹ US National Research Council, USNRC Health Effects of ingested Fluoride, National Academy Press Washington, D.C. 1993

-
- ¹² Pekdeger, A, Ozgur, N Schneider, H.J, Hidrogeochemistry of fluoride in shallow, aqueous systems of the Golcuk area, SW Turkey, in Kharaka, Y.K. Maest, A.s. (eds) Proc. 7th Intern. Symp. On Water-Rock interaction. Utah, 821-824, 1992.
- ¹³ Leland.D.E.Powell.K.E. and Anderson R.S. 1980 And fluoride overfeed incident at Harbour, Springs Mich , Journal of the American Water Work Association. 72(4), 238,243.
- ¹⁴ http://www.who.int/ipcs/features/2010/10chemicals_es.pdf
- ¹⁵ Ministerio de Protección Social. Norma Técnica para la Protección Específica de la Caries y la Enfermedad Gingival. Disponible en: www.ciandco.com/fotos/Image/archivos/resolucion-412.pdf
- ¹⁶ Instituto Nacional de Salud, protocolo de vigilancia y control centinela de la exposición a fluor. Bogotá 2011
- ¹⁷ Ministerio de Protección Social, Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Resolución 2115 de junio 22 de 2007. Disponible en: www.minambiente.gov.co/documentos/res_2115_220707.
- ¹⁸ <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>
- ¹⁹ Mendez F. El papel de la epidemiología ambiental en el desarrollo disciplinar de la epidemiología *Colomb Med.* 2011; 42: 278-85
- ²⁰ Ott WR. Exposure Analysis: A receptor-oriented Science. In: Ott WR, Steinemann AC, Wallace LA, editors. Exposure Analysis: Taylor and Francis Group, 2007.
- ²¹ <http://www.atsdr.cdc.gov/training/toxmanual/pdf/module-3.pdf>
- ²² Den Besten PK. Dental fluorosis: its uses as a biomarker. *Adv Dent Res.* 1994;(4): 105-110.
- ²³ Vieira APGF, et. al. Is fluoride concentration in dentin y enamel a good indicator of dental fluorosis? *J Dent Res.* 2004;83:76-80.
- ²⁴ Roger K. Hall y Arthur J. Nowak, Manual de odontología pediátrica, 3ra edición, Barcelona 2010 cap. 9, pág. 56
- ²⁵ Aoba T, Fejerskov O. Dental fluorosis: chemistry and biology. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine.* 2002;12:155-170.

²⁶ Conferencia: Patogenesis de la Fluorosis. Castellanos Jaime. Memorias 1er simposio internacional de Fluor y Fluorosis, Universidad El Bosque, Mayo de 2012, Pag 13-14.

²⁷ Dean HT. Classification of mottled enamel diagnosis. Journal of the American Dental Association 1934;21:1421–1426.

²⁸ Thylstrup A, Fejerskov O. Clinical appearance and surface distribution of dental fluorosis in permanent teeth in relation to histological changes. Community Dent Oral Epidemiol. 1978;6:315-328.

²⁹ http://www.nofluoride.com/Unicef_fluor.cfm

³⁰ Odontología preventiva y comunitaria. Cuenca E, Baca P. 3ra ed.2005. Masson Barcelona España.

³¹ National Research Council. 1993. Health effects of ingested fluoride. Washington DC: National Academy Press.

³² Hodge HC. Evaluation of some objections to water fluoridation. In: Newbrun E (ed). Fluorides and dental caries. 3rd ed. Springfield. IL: Charles C Thomas, 1986: 221-55

³³ Durand M, Grattan J. 2001. Effects of volcanic air pollution on health. Lancet 357:164.

³⁴ Stone R. Iceland's doomsday scenario? Science 2004. 306:1278-1281

³⁵ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ATSDR 2003 Toxicological profile for aluminum. U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA.

³⁶ Manahan, S.E. Environmental Chemistry, 8th edition, 2002 Lewis Publishers, CRC press LLC, USA

³⁷ Andrews, J.E., *Environmental Chemistry*, Blackwell Science Publishers, Cambridge, MA, 1996.

³⁸ Environmental Protection Agency EPA U.S.: Disponible en: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/fluoride.cfm>

³⁹ Rao, Nagendra, C.R. "Fluoride And Environment- A Review" in Martin J. Bunch, V. Madha Suresh and T. Vasantha Kumaran, eds., Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health, Chennai, India, 15-17 December, 2003

⁴⁰ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ATSDR 2003 Toxicological profile for aluminum. U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA.

⁴¹ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ATSDR 2003 Toxicological profile for aluminum. U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA.

⁴² Environmental Protection Agency EPA U.S 1980

⁴³ Vine, M.F. 1994. Biological markers: Their use in quantitative assessments. Adv. Dent. Res. 8(1):92-99.

⁴⁴ Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2003. Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA. September 2003.

⁴⁵ EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1997. Exposure Factors Handbook, Vol. I, II, III. EPA/600/P-95/002Fa-c. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.

⁴⁶ Erdal S, Buchanan SN. 2005. A quantitative look at fluorosis, fluoride exposure, and intake in children using a health risk assessment approach. Environ Health Perspect 113:111–117.

⁴⁷ Vine, ATSDR 2003

⁴⁸ Willar H, Winter O. Industrial and engineering chemistry. 5:7. 1993

⁴⁹ Instruction manual-fluoride electrodes. ORION. Model 94-09 96-09.

⁵⁰ Vogel GL, Chow LC, Brown WE. A microanalytical procedure for the determination of calcium, phosphate and fluoride in enamel biopsy samples. Caries Res. 17(1):23-31. 1983.

⁵¹ Rigalli A, Pera L, Di Loreto V, Brun L. Determinación de flúor en muestras biológicas. Ed Universidad Nacional de Rosario. Argentina 1995.

⁵² <http://www.epa.gov/iris/subst/0053.htm>

⁵³ [http://www.ins.gov.co/líneas-de-accion/SubdireccionVigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/EXPOSICION%20FLUOR%20\(centinela\).pdf](http://www.ins.gov.co/líneas-de-accion/SubdireccionVigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/EXPOSICION%20FLUOR%20(centinela).pdf)

⁵⁴ http://www.dssa.gov.co/__media__/_dssa/dssa.gov.co/documentos/Decreto%20575%20de%202007.pdf

⁵⁵ http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_2115_220707.pdf

⁵⁶ <http://www.ingehominas.gov.co/Pasto/Volcanes/VolcanGaleras/Generalidades.asp>

⁵⁷ Donato. J. C. 2002. Memorias curso de entrenamiento manejo de humedales. Apreciación sobre el estado de conservación y conocimiento de ecosistemas acuáticos en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, D.C. 138 p.

⁵⁸ Ingeominas. 2006. Documento técnico Informe de actividad del volcán Galeras Año 2005

⁵⁹ Corponariño. 2004. Plan de Gestión Ambiental del Departamento de Nariño

⁶⁰ Lopez de viles, N. et al. 2006. Plan de manejo 2006 – 2010 Santuario de Flora y fauna Galeras.

⁶¹ Mckay F. Water supplies charged with disfiguring teeth. Journal Orthodontia Oral Sug. Radiogr. 1926: 12, 211

⁶² Mckay FS. Mottled enamel: The prevention of its further production through a change of water supply at Oakley Idaho. J Am Dent Assoc 1933;20:1137-49

⁶³ Trendley Dean. Fluorosis endémica y su relación con la caries dental. Flurine in dental health, ed W.J Gies. New York: Instituto de patologia clinica oral de Nueva York 1945: 19-30

⁶⁴ Manual de odontología pediátrica, 3ra edición, Barcelona 2010 cap. 9, pág. 56

⁶⁵ Cárdenas Jaramillo Darío, Odontología Pediátrica: fundamentos en odontología, 3ra edición, Medellín 2003, cap. 5, pág. 98

⁶⁶ Rigo L. Caldas A. Alvim E. Factors Asociated with Dental Fluorosis; Rev. odontocienc. 2010; 25 (1) : 8 – 14

⁶⁷ Cárdenas Jaramillo Darío, Odontología Pediátrica: fundamentos en odontología, 3ra edición, Medellín 2003, pág. 173

⁶⁸ Cárdenas Jaramillo Darío, Odontología Pediátrica: fundamentos en odontología, 3ra edición, Medellín 2003, pág. 174

⁶⁹ IPCS 2002 Fluorides Environmnetal Health Criteria 227. World health Organization, Geneva.

⁷⁰ Ministerio de Salud de Colombia, Norma Técnica para la Protección Específica de Caries y Enfermedad Gingival. 2001.

⁷¹ Rango T, Vengosh A, Jeuland M et al. Fluoride exposure from groundwater as reflected by urinary fluoride and children's dental fluorosis in the Main Ethiopian Rift Valley. *Sci Total Environ.* 2014 Oct 15;496:188-97

⁷² <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Volcan-Galeras/Galeria-defotos/Generales/2014.aspx>

⁷³ Guerrero H, Revelo I, Luna A, Pinchao C, Salas D, Salazar K. Contenido de flúor natural en microcuencas de agua ubicadas en los corregimientos y otros municipios cercanos a San Juan de Pasto. *Revista de investigaciones Memorias* 2008. 3 (10): 17-24

⁷⁴ Cronin SJ, Sharp DS. Enviromental impacts on health from continuos volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu. *International Journal of Environmental Health Research* 12, 109–123 (2002)

⁷⁵ Allibone R, Cronin SJ, Charley DT, Neall VE, Stewart RB, Oppenheimer C. Dental fluorosis linked to degassing of Ambrym volcano, Vanuatu: a novel exposure pathway. *Environ Geochem Health.* 2012 Apr;34(2): 155-70

⁷⁶ Cordeiro S, Coutinho R, Cruz JV. Fluoride content in drinking wáter suply in Sao Miguel volcanic island (azores, Portugal). *Sci Total Environ.* 2012 Aug 15; 432: 23-36.

⁷⁷ Oruc N. Occurrence and problems of high fluoride waters in Turkey: an overview. *Environ Geochem Health.* 2008 Aug; 30(4):315-23

⁷⁸ Li C, Gao X, Wang Y. Hydrogeochemistry of high-fluoride groundwater at Yuncheng Basin, northern China. *Sci Total Environ.* 2015 Mar 1; 508: 155 – 65

⁷⁹ Hui Liu, Yanhui Gao, Lyan Sun., et al. Assesment of relationship on excess of fluoride intake from drinking water and carotid atherosclerosis development in adults in fluoride endemic areas, China. *Int J Hyg Environ Health* . 2014 Mar;217 (2-3):413-20

⁸⁰ El Jaudi R, El Cadi MA, Bouslimane Y, et al. Fluoride Content in well water in rural areas in Morocco. *Odontostomatol Trop.* 2014 Jun;37 (146) :42-8.

-
- ⁸¹ Ogbu IS, Okoro OI, Ugwuja EI. Well waters Floride in Enugu, Nigeria. *Int J Occup Environ Med*. 2012 Apr;3 (2) : 96-8.
- ⁸² Perez Perez N, Torres Mendoza N, Borges Yañez A, Irigoyen Camacho ME. Dental fluorosis: concentration of fluoride in drinking water and comsumption of bottle beverages in school children. *J Clin Pediatr Dent*. 2014 Summer; 38 (4) : 338 – 44
- ⁸³ Wambu EW, Agong SG, Anyango B, et all. High gluoride water in Bondo-Rarieda area of Siaya County , Kenya: a hydro-geolofical implicaion on public health in the Lake Victoria Basin. *BMC Public Health*. 2014 May 17;14:462.
- ⁸⁴ Akpata ES, Benbehani J, Akbar J et all. Fluoride intake from fluids and urinary fluoride excretion by Young children in Kuwait: a non fluoridated community. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2014 jun;42(3):224-33
- ⁸⁵ Cochrane NJ, Hopcraft MS, Tong AC et all. Fluoride content of tank water in Australia. *Aust Dent J*. 2014 Jun;59(2): 180-6
- ⁸⁶ Sarvaiya Bu, Bhayya D, Arora R,et all. Prevalence of dental fluorosis in relationwith different fluoride levels in drinking water among school going children in Sarada tehsil of Udaipur district, Rajasthan. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2012 Oct-Dec; 30(4):317-22
- ⁸⁷ Moimaz SA, Saliba O, Chiba FY, et all. Fluoride concentration in public water supply: 72 months of analysis. *Braz Dent J*.2012;23(4) : 451-6.
- ⁸⁸ Gao HJ,Jin Yq, Wei JI, et all. Health riskassessmentof fluoride in drinking water from Anhui Province in China. *Environ Monit Assess*. 2013 May;185 (5) : 3687-95.
- ⁸⁹ Rawson KG, Ditmyer MM. Distance from source and fluoride concentrations in municipal water supply. *Jinvestig Clin Den*. 2013 Feb ; 4 (1) : 49-53.
- ⁹⁰ Rubio H. Contreras M. Quintana R. Saucedo R. Pinales A. An overall water quality Index (WQI) for a MAN-Made Aquatic Reservoir in Mexico. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2012, 9, 1687 – 98
- ⁹¹ Brahman KD, Kazi TG, Afridi HI, et all. Evaluation of fresh and stored rainwater quality in fluoride and arsenic endemic area of Thar desert, Pakistan. *Environ Monit Assess*. 2014 Dec; 186 (12): 8611-28
- ⁹² Rawson KG, Ditmyer MM. Distance from source and fluoride concentrations in municipal water supply. *Jinvestig Clin Den*. 2013 Feb ; 4 (1) : 49-53.