



# Universidad Católica de Santa María

**Escuela de Postgrado  
Maestría en Salud Pública**

**Análisis del ion flúor en diferentes fuentes de agua potable y  
subsuelo del norte, sur, este y oeste en zonas con  
fluorosis dental, Arequipa 2024.**

Tesis presentada por:

**Huaman Morales, Alicia del Carmen**

**ORCID: 0009-0001-0629-659**

para optar el Grado Académico de Maestro en Salud Pública

Asesora:

**Ph.Mg. Moya Bejar de Calderon, Zaida Arilmy**

**ORCID: 0000-0003-2742-5255**

**Arequipa – Perú**

**2026**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 22 de Diciembre del 2025

**Dictamen: 011496-C-EPG-2025**

Visto el borrador del expediente 011496, presentado por:

**2018006852 - HUAMAN MORALES ALICIA DEL CARMEN**

Titulado:

**ANÁLISIS DEL ION FLÚOR EN DIFERENTES FUENTES DE AGUA POTABLE Y SUBSUELO DEL NORTE, SUR, ESTE Y OESTE EN ZONAS CON FLUOROSIS DENTAL, AREQUIPA 2024.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29203672 - ESCOBEDO VARGAS JANNET MARIA  
DICTAMINADOR**



**29714707 - QUIROZ HUERTA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**70541954 - CANDIA PUMA MAYRON ANTONIO  
DICTAMINADOR**



# Análisis del ion flúor en diferentes fuentes de agua potable y subsuelo del norte, sur, este y oeste con fluorosis dental, Arequipa 2024.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUD

## FUENTES PRIMARIAS

1 [repositorio.ucsm.edu.pe](https://repositorio.ucsm.edu.pe)  
Fuente de Internet

2 [revistas.upch.edu.pe](https://revistas.upch.edu.pe)  
Fuente de Internet

3 [hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)  
Fuente de Internet

4 [tesis.ucsm.edu.pe](https://tesis.ucsm.edu.pe)  
Fuente de Internet

Excluir citas  
Excluir bibliografía

Apagado  
Apagado

Excluir coincidencias

< 1%

## *DEDICATORIA*

*A Dios por ayudarme a llegar a donde estoy, por su bendición constante, brindándome salud para así seguir luchando todos los días y haberme guiado en culminar esta etapa de mi vida.*

*A mis padres que gracias a ellos soy la profesional que soy, por ese apoyo que me dan con el cuidado de mis hijas para así poder lograr cada meta.*

*A mis hijas Sofía y Naomi, porque gracias a ellas es que lucho todos los días para verlas sonreír, son el mayor regalo que dios me dio.*

*A mi compañero de vida Diego, por su apoyo constante y la paciencia y amor que tiene a nuestra familia.*



## ***AGRADECIMIENTOS***

Agradezco profundamente a Dios, por ser mi guía constante y por brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia durante todo el proceso de desarrollo de esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y motivación en cada etapa de mi formación académica y profesional. Gracias por confiar siempre en mí y acompañarme en cada desafío.

A la Dra. Zaida Moya de Calderón, mi asesora, por su orientación profesional, paciencia, dedicación y valiosos aportes durante la elaboración de esta tesis. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de investigación.


A la Dra. Ruth Álvarez Monje, gran maestra y guía, por su apoyo en la medición y análisis de los datos, así como por su paciencia y dedicación durante las largas jornadas de trabajo. Sus enseñanzas y acompañamiento fueron esenciales en el camino recorrido para la realización de este estudio.

A la Junta Administradora de Agua Potable (JAAP), por permitirme el acceso a los reservorios de agua y por la colaboración brindada, la cual hizo posible la ejecución del presente proyecto de investigación sobre fluorosis.

A los integrantes del proyecto de flúor de la Universidad Católica de Santa María, por su apoyo técnico, académico y económico brindado durante la realización de esta investigación. Su colaboración y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo y culminación satisfactoria del presente estudio.

Finalmente, agradezco por ser parte de este importante paso en mi vida profesional y por acompañarme en el cumplimiento de una meta tan significativa.

*EPIGRAFE*



*Para ver el mundo en un grano de arena,  
Y el cielo en una flor silvestre,  
Abarca el infinito en la palma de tu mano  
Y en la eternidad en una hora.*

*W. Blake*

## RESUMEN

**Introducción:** La fluorosis dental es una patología asociada a la exposición prolongada a altos niveles de flúor, especialmente durante la etapa de formación dental. En la ciudad de Arequipa, se han reportado brotes de fluorosis en distintos distritos, lo que sugiere una posible relación con la calidad del agua de consumo humano.

**Objetivo:** Analizar y comparar los niveles de concentración de flúor en distintas fuentes de agua (manantiales, reservorios, aguas subterráneas y suministro público) consumidas en las zonas norte, sur, este y oeste de la ciudad de Arequipa durante el año 2024.

**Métodos:** Se aplicó un estudio observacional, cuantitativo, prospectivo y transversal. Se recolectaron 75 muestras de agua en 16 distritos representativos se hicieron dos muestreo en distintas fechas. El análisis de flúor se llevó a cabo mediante el método potenciométrico, utilizando un electrodo selectivo de iones acoplado al equipo SevenDirect™ SD50 de la marca Mettler Toledo, siguiendo estándares internacionales. Los datos fueron procesados en SPSS v21.0, aplicándose estadística descriptiva y la prueba ANOVA ( $p < 0.05$ ) para comparar los niveles entre zonas.

**Resultados:** La concentración promedio de flúor fue de 0.283 mg/L. Se identificaron valores significativamente elevados en el distrito de Uchumayo (0.9065 mg/L), clasificándose en el rango de riesgo para fluorosis. El resto de los distritos presentó concentraciones dentro del rango aceptable ( $< 0.7$  mg/L). La prueba ANOVA reveló diferencias significativas entre los niveles de flúor según distrito ( $p = 0.000$ ).

**Conclusión:** La mayoría de los distritos presentan niveles seguros de flúor en el agua, sin embargo, en Uchumayo se detectó un valor que excede el rango recomendado, evidenciando un riesgo potencial para la salud dental de la población. Se recomienda la implementación de políticas de monitoreo y tratamiento del agua en las zonas afectadas.

**Palabras clave:** Flúor, agua potable, salud pública.

## ABSTRACT

**Introduction:** Dental fluorosis is a condition associated with prolonged exposure to elevated levels of fluoride, particularly during the tooth development phase. In the city of Arequipa, Peru, cases of fluorosis have been reported in various districts, suggesting a potential link with fluoride concentrations in drinking water.

**Objective:** To analyze and compare the concentration levels of fluoride in different sources of drinking water (springs, reservoirs, groundwater, and public supply) consumed in the northern, southern, eastern, and western zones of the city of Arequipa during the year 2024.

**Methods:** A prospective, observational, cross-sectional, and quantitative study was conducted. A total of 75 water samples were collected across 16 representative districts. Fluoride concentration was measured using the potentiometric method with a fluoride ion-selective electrode, according to international standards. Data were processed using SPSS v21.0 with descriptive statistics and ANOVA ( $p < 0.05$ ) to identify significant differences between zones.

**Results:** The mean fluoride concentration was 0.283 mg/L. A significantly elevated value was observed in the district of Uchumayo (0.9065 mg/L), which falls within the fluorosis risk range. All other districts showed fluoride concentrations within the acceptable range ( $< 0.7$  mg/L). ANOVA results confirmed statistically significant differences among districts ( $p = 0.000$ ).

**Conclusion:** Most districts had safe fluoride levels in drinking water. However, the high concentration observed in Uchumayo poses a potential risk for dental fluorosis, particularly among children. Continuous monitoring and appropriate water treatment policies are recommended in affected areas.

**Keywords:** Fluoride, drinking water, public health.

# INDICE GENERAL

*DEDICATORIA*

*AGRADECIMIENTOS*

*EPIGRAFE*

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN .....	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVOS .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO I .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	6
1.1 Fluoruros .....	6
1.1.1 Etiología .....	6
1.1.2 Historia .....	7
1.1.3 Tipos de fluoruros .....	9
1.1.4 Efecto Preventivo .....	13
1.1.5 Mecanismos de acción .....	13
1.1.6 Metabolismo.....	15
1.1.7 Vías de acceso de incorporación de flúor en los Dientes.....	16
1.2 Flúor en agua .....	17
1.3 Toxicidad de flúor .....	19
1.4 Fluorosis.....	19
1.5 Agua Potable .....	20
1.6 Agua de Zonas volcánicas y Subterráneas .....	23
1.7 Juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS).....	25
1.8 Flúor en agua subterránea .....	26
1.9 Método potenciométrico .....	27
1.10 Seven Direct TM SD 50 de Mettler Toledo.....	28
2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	29
2.2 Antecedentes Internacionales.....	29

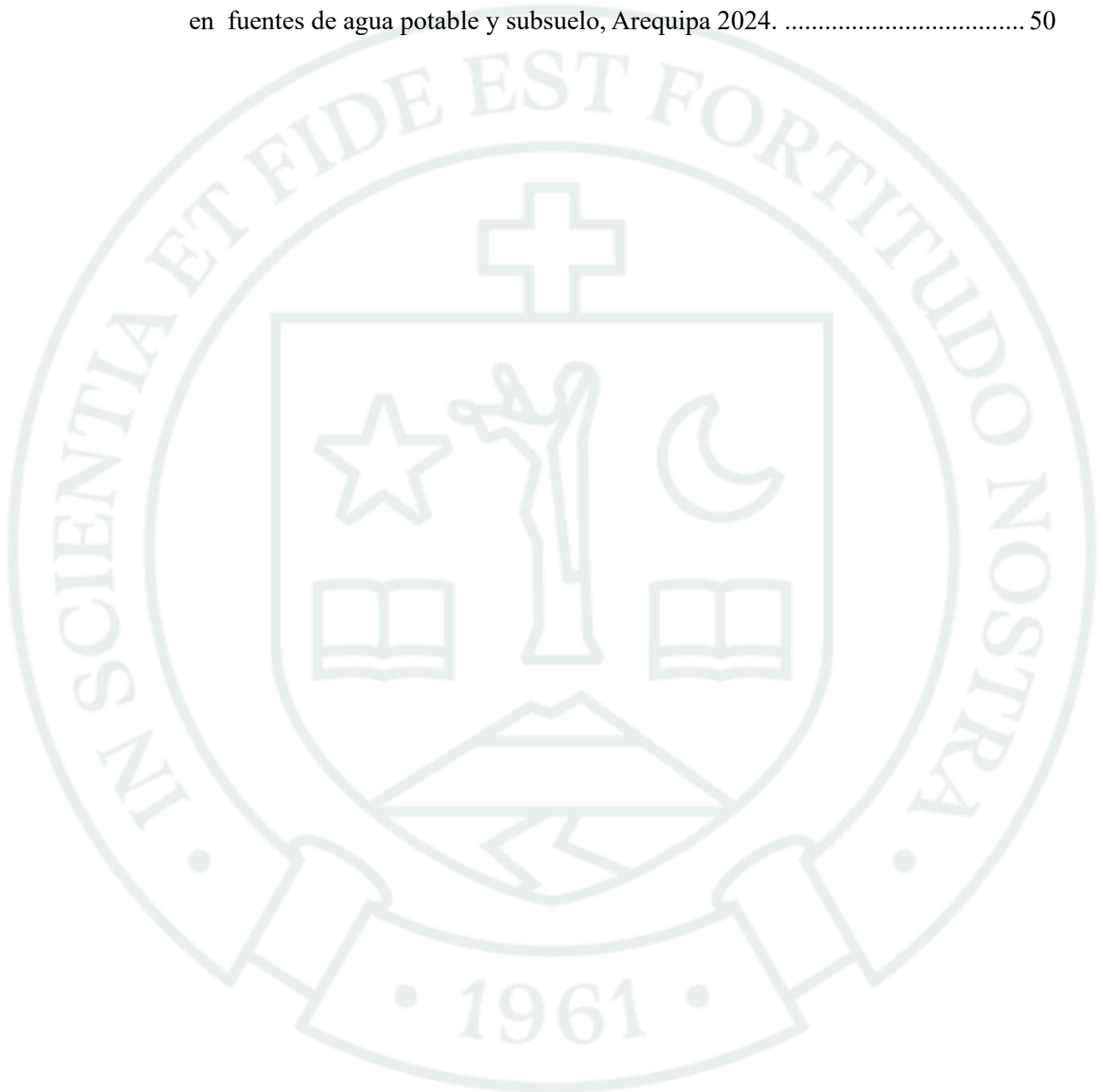
2.3	Antecedente Local.....	30
CAPÍTULO II.....		32
METODOLOGIA.....		32
Técnicas, instrumentos y materiales de verificación. ....		33
1.	Materiales de verificación.....	33
2.	Campo de verificación.....	33
2.1.	Ubicación espacial.....	33
2.1.2.	Precisión del lugar.....	33
2.1.3.	Caracterización del lugar.....	34
2.2.	Ubicación temporal.....	34
2.2.2.	Cronología.....	34
2.2.3.	Visión temporal.....	34
2.2.4.	Corte temporal.....	35
2.3.	Unidades de estudio.....	35
2.3.2.	Universo.....	35
3.	ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	36
3.1.	Organización.....	36
3.2.	Recursos.....	36
3.3.	Validación del instrumento.....	37
4.	CRITERIOS PARA EL MANEJO DE RESULTADOS.....	39
5.	PLAN DE PROCESAMIENTO.....	39
CAPITULO III.....		41
RESULTADOS Y DISCUSION.....		41
1.	RESULTADOS.....	42
2.	DISCUSIÓN.....	52
CONCLUSIÓN.....		57
RECOMENDACIONES.....		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		60

## INDICE DE TABLAS

Tabla1.	Análisis y operacionalización de variables .....	3
Tabla2.	Resumen antecedentes locales .....	31
Tabla3.	Esquematzación .....	33
Tabla4.	Tabla de Análisis estadístico de la variable.....	40
Tabla5.	Nivel de concentración de flúor en agua de manantial y de reservorio que consume la población del Este de Arequipa (Uchumayo, Huayco, Congata).....	42
Tabla6.	El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Norte de Arequipa: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma, Alto Selva Alegre.....	43
Tabla7.	El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Oeste de Arequipa: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R. ....	43
Tabla8.	El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Sur de Arequipa: Socabaya, Tiabaya y Sachaca.....	44
Tabla9.	El nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandia de la Ciudad de Arequipa.El nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandia de la Ciudad de Arequipa. ....	45
Tabla10.	Mayor concentración de flúor de los diferentes distritos del Norte: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma y Alto Selva Alegre; Sur: Socabaya Tiabaya y Sachaca ;Este: Uchumayo, Congata, Huayco,; Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, Characato y Sabandia, de la ciudad de Arequipa.....	46
Tabla11.	Priorización de intervención según concentración de flúor en agua por distrito, Arequipa 2024.....	48

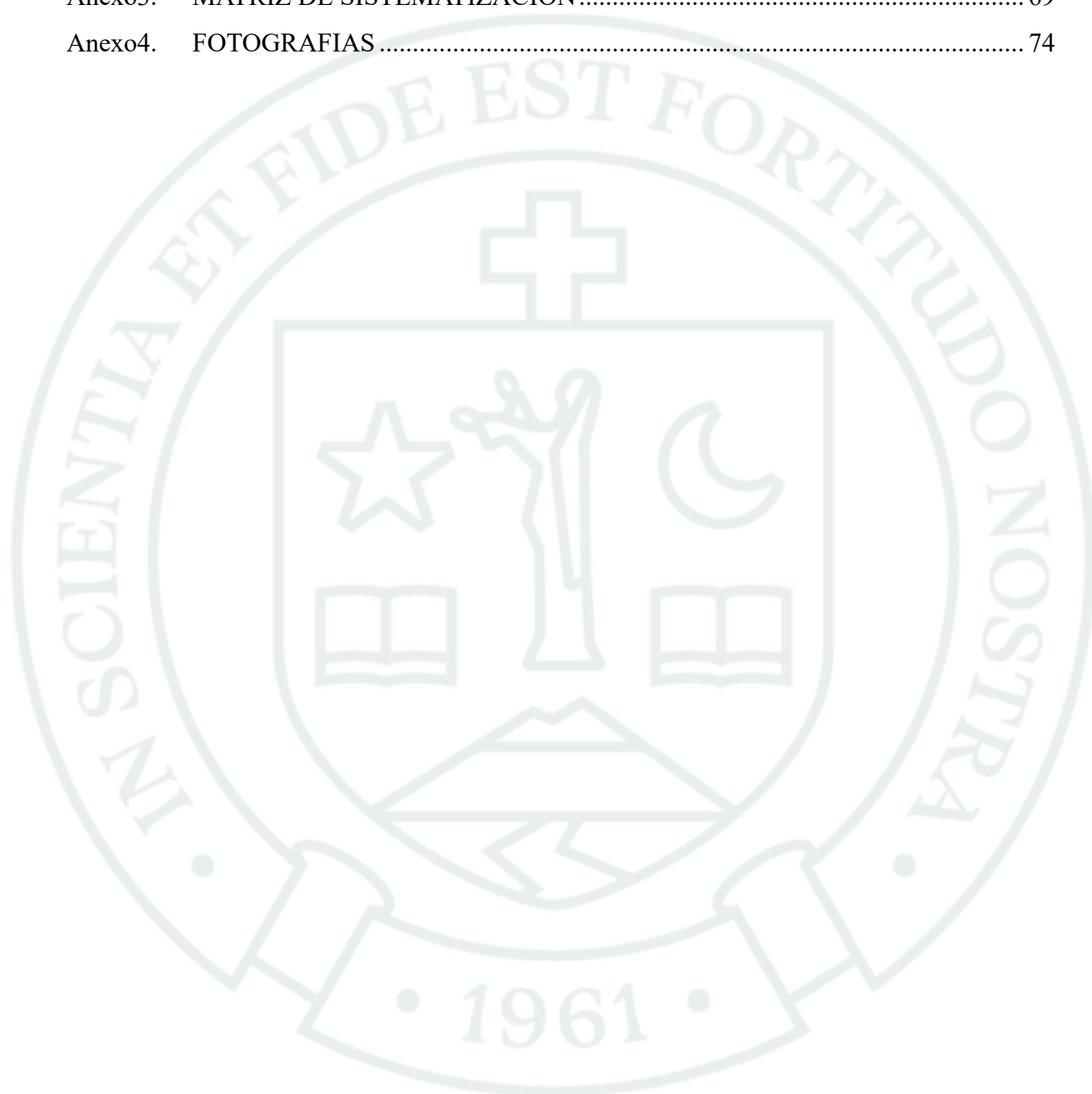
## INDICE DE FIGURAS

Figura1.	SevenDirect SD50 Kit.....	28
Figura2.	Distritos de la Ciudad de Arequipa (elaboración propia).....	34
Figura3.	Mapa de prioridad de intervención por distrito según concentración de ion flúor en fuentes de agua potable y subsuelo, Arequipa 2024. ....	50



## INDICE DE ANEXOS

Anexo1.	MODELO DE FICHA LABORATORIAL.....	67
Anexo2.	SOLICITUD DE PERMISO AL RESERVORIO JAAP .....	68
Anexo3.	MATRIZ DE SISTEMATIZACIÓN.....	69
Anexo4.	FOTOGRAFIAS.....	74



## INTRODUCCIÓN

El limitado acceso al agua potable en la región de Arequipa constituye un problema persistente de salud pública, debido a su estrecha relación con la aparición de diversas enfermedades en la población, lo que evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de abastecimiento y control de la calidad del agua. En este contexto, y considerando los posibles efectos que la calidad del agua puede tener sobre la salud bucal, resulta pertinente investigar las razones detrás del incremento de casos de fluorosis dental en la región.

El uso de fluoruros representa una estrategia fundamental para prevenir la caries dental, especialmente sobre la población infantil. Su acción preventiva se basa en su capacidad para fortalecer el esmalte dental, incluso antes de la erupción de los dientes, cuando el flúor es incorporado al organismo de forma sistémica mediante alimentos, bebidas o suplementos dietéticos. Este efecto sistémico contribuye a aumentar la resistencia del esmalte frente a los ácidos producidos por las bacterias orales, disminuyendo así, de manera significativa, la incidencia de caries.

La administración de fluoruros puede realizarse de forma individual o colectiva, a través de diversas vías: enjuagues bucales, pastas dentales, consumo de agua fluorada o aplicaciones tópicas realizadas por profesionales de la salud bucal. Estas intervenciones, avaladas por la evidencia científica, constituyen una medida preventiva eficaz, accesible y segura, con un alto impacto en la promoción de la salud bucodental infantil. (1).

Sin embargo, sabemos que el fluoruro por una parte es beneficioso, pero en concentraciones altas puede causar daño a la estructura dentaria provocando lo que se llama fluorosis dental y este se relacionó con la concentración de flor en el agua provocando fluorosis y caries dental en los dientes.

Es por eso por lo que se realiza esta investigación para comparar las concentraciones de flúor en el agua potable de distintos sitios de la ciudad de Arequipa y su relación con la fluorosis dental de cada zona y así saber si es un problema de salud pública.

Este trabajo de investigación cuenta con originalidad específica, si bien existen investigaciones previas como ¿Fluorosis dental tiene impacto en la calidad de vida

relacionada a la salud bucal de niños peruanas? (2), este proyecto cuenta con un enfoque diferente y característico, ya que aún no se ha registrado una investigación sobre concentración del nivel del flúor en agua en distintas zonas de brote de fluorosis dental en Arequipa.

En cuanto a sus relevancias, el trabajo de investigación cuenta con relevancia social ya que pretende propiciar una alternativa de tratamiento odontológico, así como propiciar información a la población sobre el agua potable que consume ayudándolos a poder nivelar los valores de flúor de sus reservorios. Para la actualidad dicho trabajo de investigación es de actualidad ya que ayuda a conocer el nivel de concentración de flúor en el agua que si distribuye a distintos sectores de la ciudad de Arequipa e identificar la fluorosis en estas zonas.

Este trabajo de investigación es de interés personal ya que elaborando esta investigación ayudara a poder prevenir la fluorosis dental mediante la medición constante del agua potable de nuestros reservorios y así obtener una población saludable y para obtener el título de maestro en salud pública.

Finalmente, este estudio podrá ayudar a abrir una línea de investigación a futuros investigadores para ampliar el tema de fluorosis y agua contaminada en la ciudad de Arequipa.

**Tipo: observacional, prospectivo, de campo, laboratorial.**

**Nivel: Descriptivo Comparativo**

Tabla1. Análisis y operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Subindicadores	Tipo
<b>Agua de consumo humano en zonas de brote de fluorosis: norte, sur, este y oeste de Arequipa</b>	Agua de Suministro público	ppmF/l	Rango aceptable 0,4 a 0,7 ppmf/l	Cuantitativa Continua
	Agua de Subsuelo			
	Agua de Reservorio(poza)		Rango cuestionable > 0.7 ppm/l-1.5 ppm/l	
	Agua de Manantial		Rango fluorosis >1.5 ppmf/l	

*Nota: Elaboración propia*

## HIPÓTESIS

Dado que, el flúor en dosis adecuadas es usado como estrategia para la prevención y control de caries dental en niños y adolescentes, demostrando resultados satisfactorios según evidencias científicas.

Es probable que, el flúor administrado sistémicamente a través de diferentes fuentes de agua natural durante los primeros años de vida sin supervisión origine fluorosis dental y/o esquelética.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinar cuál de las fuentes de agua tiene mayor concentración de flúor de los diferentes distritos del Norte: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma y Alto Selva Alegre; Sur: Socabaya, Hunter; Este: Uchumayo, Congata, Huayco, Tiabaya y Sachaca; Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, Characato y Sabandia, de la ciudad de Arequipa.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el nivel de concentración de flúor en agua de manantial y de reservorio que consume la población del Este de Arequipa (Uchumayo, Huayco, Congata)
- Determinar el nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Norte de Arequipa: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma, Alto Selva Alegre y del Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, Sur de Arequipa: Socabaya, Hunter, Tiabaya y Sachaca.
- Determinar el nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandia de la Ciudad de Arequipa.



**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

# 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

## 1.1 Fluoruros

### 1.1.1 Etiología

El flúor es un elemento químico perteneciente al grupo de los halógenos, esta caracterizado por su alta reactividad, lo que le permite formar diversos compuestos tanto inorgánicos como orgánicos conocidos como fluoruros. La exposición humana a este elemento ocurre principalmente a través de la alimentación; sin embargo, el contenido de flúor en los alimentos suele ser reducido. En consecuencia, la ingesta diaria total de flúor está determinada principalmente por la concentración presente en el agua destinada al consumo humano y en aquella utilizada para la preparación de alimentos. (3).

El flúor se considera también un ión de alta electronegatividad, abundante en la corteza terrestre; comúnmente se le puede encontrar asociado y forma fluoruros en rocas. El mineral de fluoruro más común en la corteza terrestre es el espato flúor, el cual contiene fluorita o fluoruro de calcio, criolita y apatita; generalmente este es un compuesto de calcio, fluoruro, carbonatos y sulfatos (4).

El flúor, un mineral que está presente de forma natural en diversos ambientes, ha sido ampliamente reconocido como un elemento fundamental en la prevención de la caries dental. Su acción se basa en la capacidad de fortalecer el esmalte dental, la capa externa del diente, al aumentar su resistencia a la desmineralización provocada por los ácidos originados por las bacterias en la cavidad bucal. Este proceso, denominado remineralización, no solo ayuda a prevenir la aparición de caries en la población general, sino que también nos va ayudar a contribuir a la reducción de la prevalencia de enfermedades dentales, particularmente en niños en edades tempranas. Debido a sus propiedades protectoras, el flúor se ha consolidado como un agente clave en las estrategias de salud pública para la promoción de la salud bucodental, desempeñando un rol crucial en la disminución de la incidencia de caries a lo largo de la vida. (1).

### 1.1.2 Historia

La fluoración comunitaria del agua potable tuvo sus primeros antecedentes en 1945 en la ciudad de Grand Rapids, considerada la primera localidad en implementar esta medida como una estrategia de salud pública para ayudar en la prevención de la caries dental (5) A partir de esta experiencia, la fluoración del agua comenzó a difundirse en diferentes países debido a los resultados favorables observados en la disminución de la prevalencia de caries en la población. Posteriormente, la Environmental Protection Agency estableció como concentraciones recomendadas de fluoruro en agua potable valores comprendidos entre 0,7 y 1,2 mg/L, con la finalidad de obtener beneficios preventivos sin generar riesgos importantes para la salud (6).

Con el tiempo, diversas investigaciones realizadas en países desarrollados evidenciaron que la exposición total al fluoruro podía incrementarse considerablemente debido a la presencia de este elemento en múltiples fuentes, tales como agua potable, alimentos procesados y productos de higiene bucal. Algunos estudios señalaron que la ingesta total podía alcanzar niveles entre dos y tres veces superiores a los considerados óptimos, situación que despertó preocupación por los posibles efectos derivados de una exposición excesiva, especialmente durante el desarrollo dentario infantil (6).

Frente a estos hallazgos, en el año 2011 la Environmental Protection Agency recomendó establecer como concentración objetivo único el valor de 0,7 mg/L de fluoruro en agua potable, medida orientada a disminuir el riesgo de alteraciones dentales y óseas relacionadas con el exceso de exposición al flúor (7).

En el Perú, las primeras experiencias de fluoración del agua de consumo se desarrollaron hacia finales de la década de 1950 mediante programas piloto implementados en determinadas zonas urbanas de Lima y Chimbote (8). Posteriormente, en 1973 se intentó ampliar dicha estrategia a gran escala en la ciudad de Lima; sin embargo, el proyecto fue suspendido pocos meses después debido a dificultades técnicas registradas en la planta de tratamiento de agua de La Atarjea.

Años más tarde, el país adoptó la fluoración de la sal destinada al consumo humano como mecanismo de administración sistémica de fluoruro, siguiendo el modelo

preventivo impulsado en diversos países latinoamericanos. La obligatoriedad de esta medida fue establecida oficialmente en 1984 (9) mientras que en 1985 se aprobaron las disposiciones normativas encargadas de regular su aplicación (10).

Posteriormente, se implementó el Programa Nacional de Fluoración de la Sal, el cual recibió apoyo económico de la Fundación E. K. Kellogg para el desarrollo de esta estrategia preventiva. Durante ese mismo periodo, países como Costa Rica, Jamaica y México desarrollaron programas similares de fluoración, obteniendo resultados favorables en indicadores de salud bucal (11).

En el año 2001, el Ministerio de Salud del Perú aprobó la normativa relacionada con la incorporación de fluoruros en cremas dentales y colutorios empleados para la higiene oral (12). El uso de dentífricos fluorados en el país comenzó a fortalecerse gracias a las iniciativas promovidas por empresas fabricantes de productos de higiene bucal. Este proceso adquirió mayor relevancia a partir de 1995, tras la firma de un convenio entre el Colegio Odontológico del Perú y una empresa privada dedicada a la producción de cremas dentales (13) Como parte de dicho acuerdo, la empresa asumió la entrega anual de kits de higiene oral compuestos por cepillo y crema dental, mientras que el colegio profesional se encargaba de su distribución en distintas regiones del país (14). Con el tiempo, esta actividad se convirtió en una de las principales acciones preventivas promovidas por el Colegio Odontológico del Perú (15).

Los antecedentes relacionados con el empleo de fluoruros en el Perú evidencian que, en algunos casos, la selección de las estrategias preventivas no estuvo sustentada en evaluaciones técnicas rigurosas. Entre las herramientas utilizadas para este tipo de análisis destaca el Análisis de Costo-Efectividad (ACE), método que permite valorar la relación entre los costos invertidos y los beneficios obtenidos mediante una intervención sanitaria determinada (16). El ACE ayuda a facilitar la comparación entre distintas alternativas preventivas considerando tanto los recursos económicos utilizados como los resultados obtenidos en salud. A diferencia de otros métodos económicos, este análisis expresa los beneficios mediante indicadores sanitarios y no en términos monetarios, permitiendo identificar dichas intervenciones que resulten más eficientes desde el punto de vista clínico y económico (17).

### 1.1.3 Tipos de fluoruros

- **Fluoruro de sodio:** El fluoruro de sodio corresponde a una de las sales fluoradas de mayor utilización en la odontología preventiva. Puede presentarse en soluciones al 2 % o en barnices con concentraciones cercanas al 2,2 %. Entre sus principales ventajas destacan su adecuada aceptación por parte del paciente, debido a su sabor menos desagradable en comparación con otras formulaciones, así como su baja capacidad para producir pigmentaciones dentarias o alteraciones en restauraciones. Así mismo, presenta escaso efecto irritante sobre los tejidos gingivales (18).
- **Fluoruro estañoso:** El fluoruro estañoso se emplea habitualmente en soluciones al 8 % y ha demostrado una gran efectividad en el control de la placa bacteriana y la prevención de caries dental. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones relacionadas con su baja estabilidad química, lo que dificulta su almacenamiento por periodos prolongados. Además, se caracteriza por poseer un sabor poco agradable y un costo relativamente elevado. En pacientes con higiene oral deficiente, esta formulación puede ocasionar tinciones en la superficie dental e irritación gingival, también puede formar parte de algunos colutorios combinado con fluoruro de aminas, utilizándose generalmente concentraciones aproximadas de 125 ppm para cada componente fluorado (18).
- **Fluor fosfato acidulado:** El fluoruro fosfato acidulado se comercializa en forma de gel o solución al 1,23 %. Su composición incluye fluoruro de sodio asociado con ácido fluorhídrico y ácido fosfórico, lo que le proporciona un pH ácido que ayuda a favorecer la incorporación del fluoruro al esmalte dental. Actualmente, esta formulación es una de las más utilizadas en la práctica clínica odontológica debido a su elevada eficacia preventiva. Muchas de sus presentaciones poseen propiedades tixotrópicas, es decir, mantienen alta viscosidad en reposo y se vuelven más fluidas al ser sometidas a presión o movimiento. Esta característica permite una mejor adaptación durante la aplicación y reduce el escurrimiento del material desde las cubetas, en comparación con otros geles convencionales elaborados con metilcelulosa (18).
- **Fluoruro de aminas:** El fluoruro de aminas puede encontrarse en soluciones al 1 % o en presentaciones en gel al 1,25 %. Esta formulación ayuda a combinar la acción preventiva del fluoruro con las propiedades físico-químicas de las aminas

alifáticas de cadena larga, lo que favorece una mayor protección del esmalte frente a la acción de los ácidos generados por el metabolismo bacteriano (18).

El flúor se puede dividir en dos formas de acuerdo a donde lo podemos encontrar.

**a. Forma Colectiva:**

- **Agua:** El fluoruro es un elemento que se encuentra de forma natural en el ambiente, generalmente asociado a otros elementos químicos. Los compuestos fluorados están presentes de manera natural tanto en el agua como en el suelo, en concentraciones variables dependiendo de las características geográficas y geológicas de cada región.

La fluoración del agua consiste en la adición controlada de fluoruro al suministro de agua potable hasta alcanzar una concentración aproximada de 0,7 partes por millón (ppm), equivalente a 0,7 miligramos por litro. Este nivel es considerado óptimo para la prevención de la caries dental, al proporcionar un efecto protector sin generar riesgos significativos para la salud (19).

- **Sal :** La fluoración de la sal de consumo humano, ya sea de origen marino o refinada, consiste en la fortificación de este producto de uso masivo mediante la adición de fluoruro de sodio, con el objetivo de promover la salud bucal y prevenir la aparición de caries en la población. Esta estrategia reviste especial importancia, dado que la cavidad bucal constituye el punto de inicio del proceso digestivo y, por ende, de la nutrición, donde las piezas dentarias cumplen un rol fundamental en la masticación y en la adecuada formación del bolo alimenticio (20).

Es importante considerar que la cantidad de fluoruro de sodio que debe adicionarse a la sal de consumo humano se encuentra en un rango de 200 a 250 mg por kilogramo de sal. En el contexto nacional, el Decreto Supremo N.º 015-84-SA, promulgado en 1984, establece la obligatoriedad para todas las empresas productoras de sal destinada al consumo humano de incorporar flúor a este producto, como una estrategia de prevención masiva de la caries dental (21).

- **Leche:** La fluoración de la leche consiste en la adición de flúor a la leche y a sus derivados, en concentraciones que oscilan entre 2,5 y 5 mg/L. En este medio, el flúor forma complejos solubles con la fracción proteica de la leche, lo que permite mantener su biodisponibilidad tras la ingestión (22).

Si bien la leche fluorada ha demostrado potencial para contribuir a la reducción de la caries dental, la evidencia científica disponible aún es limitada en cuanto a estudios de alta calidad metodológica. No obstante, se ha sugerido que su consumo podría generar beneficios principalmente en la población infantil en edad escolar, especialmente durante el desarrollo de la dentición permanente (23).

- **Suplementos:** El fluoruro también podemos encontrarlo en suplementos que se pueden administrar en forma de tabletas, comprimidos o líquidos. (24).

En poblaciones donde el fluor se encuentra presente en agua, leche o sal, es donde se podría recomendar suplementos de tabletas o gotas de fluor. Estos suplementos generalmente en forma de tabletas de 1.0 mg – 0.5mg – 0.25 mg, o gotas de 0.25mg o 125 mg. Existen reportes de reducción de 20-28% después de 3 años, en poblaciones donde se aplicó los suplementos (25).

#### **b. Forma individual**

- **Uso en el hogar**

- **Pastas dentales:** Los dentífricos fluorados constituyen una de las principales estrategias para la prevención individual frente a la caries dental. En el Perú, el Ministerio de Salud del Perú estableció en el año 2001 una Norma Técnica Sanitaria orientada a regular la incorporación de fluoruros en cremas dentales, colutorios y otros productos destinados a la higiene bucal. Dicha normativa determina las concentraciones específicas de fluoruro según la edad de la población usuaria. En este sentido, se dispone que las pastas dentales destinadas a los niños menores de seis años contengan concentraciones entre 250 y 550 ppm de fluoruro, mientras que los productos dirigidos a niños mayores y adultos deben presentar valores superiores a 1100 ppm (26). Posteriormente, en el año 2017, el Ministerio de Salud del Perú publicó la Guía de Práctica Clínica para la Prevención, Diagnóstico y Tratamiento de la Caries Dental en Niñas y Niños, en la cual se recomienda el empleo de dentífricos fluorados con concentraciones de 1000 a 1500 ppm desde la erupción del primer diente erupcionado del bebe (27).

- **Colutorios dentales:** Los colutorios fluorados representan otra medida preventiva utilizada de manera individual para disminuir el riesgo de caries dental. Las concentraciones de fluoruro presentes en estos productos varían de acuerdo con la frecuencia de utilización. Los enjuagues bucales de uso diario contienen aproximadamente 225 ppm de fluoruro y suelen presentarse en formulaciones hidroalcohólicas con saborizantes mentolados. En cambio, los colutorios indicados para uso semanal presentan concentraciones cercanas a 900 ppm y generalmente se elaboran como soluciones acuosas con saborizantes frutales. Su empleo se encuentra orientado principalmente a programas preventivos en población infantil y como complemento terapéutico en determinados tratamientos odontológicos (28).

- **Uso Profesional**

- **Gel y Espumas:** Los geles y las espumas fluoradas han demostrado una reducción significativa en la incidencia de caries dental, evidenciando su eficacia como agentes preventivos en la salud bucal. (29) (30).

El fluor en gel, fue desarrollado para que lo podamos colocar en cubetas en ambas arcadas, debido a su viscosidad.

Las formulas de los geles aplicados profesionalmente son:

- ✓ 1.23% APF(gel y espuma)= 12.300 ppm=12.3 mg/ml.
- ✓ 2% NaF gel= 9040 ppm = 9mg/ml.
- ✓ 8% SnF2 gel = 19.500 ppm = 19.5g/ml. (31)

- **Barnices**

Los fluoruros en Barniz fueron desarrollados en 1960 en Europa. Al pasar el tiempo se han demostrado que tienen un efecto de anti caries en un 43% tanto en dentición permanente como en deciduos (32) (33).

Una de las cosas más importante de los barnices fluorados es su gran capacidad para poder adherirse a las superficies dentales, prolongando el tiempo de contacto entre el material y el esmalte, generando así una mayor liberación de flúor y una mayor duración (34).

#### **1.1.4 Efecto Preventivo**

El flúor desempeña un papel muy importante en la prevención de la caries dental tanto en la población infantil como en adultos. Durante la fase preeruptiva del desarrollo dentario, el fluoruro ingerido mediante los alimentos, agua o suplementos puede incorporarse a la estructura del esmalte en formación, favoreciendo así una mayor resistencia frente a los procesos de desmineralización. Este mecanismo corresponde al denominado efecto sistémico del flúor (1).

Después de la erupción dental, el fluoruro continúa ejerciendo una acción protectora principalmente sobre la superficie del esmalte. En esta etapa, favorece la remineralización de zonas afectadas por pérdida mineral y contribuye a detener o revertir lesiones cariosas iniciales. Este efecto se produce especialmente mediante la aplicación de fluor barnices en consulta odontológica, así como el uso de dentífricos fluorados y otros productos de higiene oral que permiten el contacto directo del fluoruro con el esmalte dental, constituyendo el llamado efecto tópico (1).

Asimismo, el fluoruro consumido a través del agua y los alimentos también puede actuar localmente en la cavidad oral, debido a que pequeñas cantidades son liberadas continuamente en la saliva. De esta manera, el esmalte dental permanece expuesto de forma constante a bajas concentraciones de fluoruro, favoreciendo el mantenimiento de su integridad estructural y aumentando su resistencia frente a los ataques ácidos producidos por las bacterias orales (1).

#### **1.1.5 Mecanismos de acción**

##### **a. Metabolismo bacteriano**

El fluoruro posee la capacidad de interferir en la actividad metabólica de las bacterias presentes en la cavidad oral, particularmente en aquellas que están vinculadas al desarrollo de lesiones cariosas. Su acción depende de la concentración disponible y se relaciona principalmente con la disminución de la producción de ácidos bacterianos, reduciendo así el potencial de desmineralización del esmalte dental (35).

Uno de los principales mecanismos involucrados corresponde a la inhibición de enzimas esenciales del metabolismo glucolítico bacteriano, especialmente la

enolasa. La alteración de esta enzima limita la obtención de energía por parte de la célula bacteriana y reduce la transformación de carbohidratos en compuestos ácidos.

Además, el fluoruro afecta los sistemas de transporte de glucosa hacia el interior bacteriano, reduciendo la disponibilidad de sustrato energético necesario para diversos procesos metabólicos. Como consecuencia, disminuye la síntesis de glucógeno intracelular y la producción de polisacáridos extracelulares, componentes importantes para la formación y adherencia de la placa bacteriana sobre la superficie dentaria (36).

La alteración de estas vías metabólicas contribuye también a una menor formación de ácido pirúvico y otros metabolitos ácidos derivados de la glicólisis, favoreciendo un ambiente bucal menos agresivo para el esmalte dental (36).

**b. El flúor y su efecto en el proceso de desmineralización remineralización de la superficie dentaria.**

El fluoruro participa activamente en los mecanismos de protección y reparación del esmalte dental, favoreciendo la remineralización de áreas previamente afectadas por pérdida mineral o alteraciones en su estructura.

El esmalte dental se encuentra sometido de manera constante a un equilibrio dinámico entre los procesos de desmineralización y remineralización. En este intercambio intervienen minerales como calcio, fosfato e hidroxilo presentes en la saliva y en la placa dental, los cuales contribuyen a la restauración parcial de los cristales de hidroxiapatita afectados.

Los carbohidratos ingeridos en la dieta son metabolizados por las bacterias acidogénicas de la cavidad oral, originando la liberación de ácidos orgánicos capaces de disminuir el pH del medio bucal. Cuando el nivel de acidez alcanza los valores críticos, se incrementa la disolución de minerales del esmalte dental.  $\text{pH} < 5$

Durante los intervalos entre comidas, el pH oral tiende a recuperarse hacia valores cercanos a la neutralidad, permitiendo que se inicien procesos naturales de remineralización. En este contexto, la presencia de fluoruro favorece la

reincorporación de minerales al esmalte y promueve la formación de estructuras más resistentes frente a futuros ataques ácidos.

Por ello, una mayor disponibilidad de fluoruro en el entorno bucal va a contribuir a la disminución de la velocidad de progresión de la caries y fortalece la resistencia del tejido dentario frente a la desmineralización (35).

### 1.1.6 Metabolismo

- **Absorción:**

El fluoruro se absorbe principalmente a nivel del tracto gastrointestinal, aunque también puede ingresar al organismo por vía respiratoria en situaciones de exposición a contaminantes industriales presentes en el ambiente. Tras su ingesta, la absorción es rápida, alcanzando aproximadamente el 90 % de la dosis en la circulación sistémica dentro de los primeros 30 a 45 minutos.

Este proceso ocurre predominantemente en la zona del estómago y en la porción proximal del intestino delgado. En condiciones de pH ácido, el ion fluoruro ( $F^-$ ) se combina con protones ( $H^+$ ) formando ácido fluorhídrico (HF), una molécula no disociada con mayor capacidad de difusión a través de las membranas celulares debido a su naturaleza liposoluble. Esta característica facilita su paso hacia el torrente sanguíneo.

La eficiencia de la absorción del fluoruro está influenciada por diversos factores. Entre los más relevantes se encuentra la presencia de ciertos cationes, como calcio ( $Ca^{2+}$ ), aluminio ( $Al^{3+}$ ) y, en menor medida, magnesio ( $Mg^{2+}$ ), los cuales pueden formar compuestos poco solubles con el fluoruro, reduciendo su biodisponibilidad. Asimismo, la ingesta simultánea de alimentos disminuye la absorción, ya que el contenido gástrico va a limitar el contacto directo del fluoruro con la mucosa digestiva, reduciendo su paso hacia la circulación sistémica (37).

### 1.1.7 Vías de acceso de incorporación de flúor en los Dientes

La incorporación del flúor al tejido dentario se produce a través de distintos mecanismos que dependen del momento de exposición y de las condiciones del esmalte dental. Estas vías se clasifican en endógena, exógena y mixta.

- **Vía endógena**

La vía endógena corresponde a la incorporación del flúor durante la fase de formación del diente, es decir, en el periodo preeruptivo. En esta etapa, el fluoruro es transportado a través del torrente sanguíneo y se integra en la estructura del esmalte en desarrollo, estableciendo el patrón inicial de distribución del mineral.

Una vez que el diente erupciona en la cavidad bucal, la incorporación de flúor por esta vía se reduce considerablemente. A partir de este momento, su integración ocurre de manera limitada y lenta, principalmente en las capas superficiales del esmalte, especialmente en zonas con mayor porosidad o que presentan alteraciones estructurales, como lesiones cariosas incipientes o desgaste (36).

- **Vía exógena**

La vía exógena se produce después de la erupción dental y está relacionada con el contacto directo del ion fluoruro con la superficie del esmalte. Este proceso ocurre de forma centrípeta, desde la superficie externa hacia las capas más internas.

La incorporación del flúor por esta vía es más significativa cuando el esmalte se encuentra sometido a procesos de desmineralización, ya que estas condiciones ayudan a incrementar la permeabilidad del tejido. De esta manera, el fluoruro puede penetrar en las capas superficiales del esmalte y participar activamente en los procesos de remineralización, contribuyendo a la formación de estructuras más resistentes frente a la acción ácida.

- **Vía Mixta**

La vía mixta implica la combinación de los mecanismos endógeno y exógeno, permitiendo la incorporación de flúor tanto durante la etapa preeruptiva como después de la erupción dental. Este proceso se ve favorecido principalmente por la exposición continua a fuentes de fluoruro, como el agua fluorada y los productos de uso odontológico.

En conjunto, estas vías contribuyen a la protección del esmalte dental, fortaleciendo su estructura y disminuyendo la susceptibilidad frente al desarrollo de caries (38).

## **1.2 Flúor en agua**

El flúor se encuentra de manera natural en diversas fuentes hídricas, incluyendo ríos, lagos, aguas subterráneas y océanos. En las últimas décadas, su incorporación controlada en los sistemas públicos de abastecimiento de agua ha sido implementada como una estrategia de salud pública, ajustando su concentración a niveles considerados óptimos para la prevención de la caries dental.

La fluoración del agua a nivel comunitario puede compararse con otras intervenciones de fortificación alimentaria, como la adición de vitamina D en la leche o de ácido fólico en los cereales. Antes de su implementación, la prevalencia de caries en la población infantil era significativamente mayor. Debido a su impacto en la disminución de esta enfermedad, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades la han reconocido como uno de los principales logros en salud pública del siglo XX. Diversos estudios han demostrado que esta medida permite reducir la incidencia de caries en al menos un 25% tanto en niños como en adultos, incluso en contextos donde existen otras fuentes de exposición al flúor, como los dentífricos fluorados (1).

En términos de dosificación, se recomienda que los sistemas de abastecimiento de agua mantengan concentraciones de fluoruro cercanas a 0,7 mg/L, con el fin de maximizar su efecto preventivo sin generar riesgos asociados (1).

En este sentido, el fluoruro cumple un rol fundamental en la prevención de la caries dental, considerada una de las enfermedades más frecuentes en la infancia. La evidencia indica que los niños que residen en comunidades sin fluoración presentan una mayor probabilidad de requerir intervenciones odontológicas complejas, incluyendo procedimientos quirúrgicos.

Asimismo, el efecto protector del flúor se extiende a lo largo de todas las etapas de la vida. Su presencia en el agua potable contribuye de manera sostenida a la reducción de la incidencia de caries, lo que ha llevado a considerarlo como un agente clave en la promoción de la salud bucal.

Desde el punto de vista de la seguridad, la fluoración del agua ha sido ampliamente estudiada durante más de siete décadas, demostrando ser una medida eficaz y segura cuando se aplica en concentraciones adecuadas. Esta práctica cuenta con el respaldo de múltiples organismos internacionales y asociaciones científicas, entre ellos los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, la Asociación Americana de Medicina, la Organización Mundial de la Salud y la Asociación Dental Americana.

Desde una perspectiva económica, la fluoración del agua representa una estrategia altamente costo-efectiva. Los costos asociados a su implementación son considerablemente menores en comparación con los gastos derivados del tratamiento de enfermedades dentales, los cuales impactan no solo a los individuos afectados, sino también al sistema de salud y a la sociedad en general.

Cabe señalar que, aunque el flúor es un elemento de origen natural, la fluoración del agua implica un ajuste controlado de su concentración para así alcanzar los niveles óptimos de protección. Este enfoque es comparable a otras prácticas de fortificación de alimentos, como la sal yodada o la leche enriquecida con vitamina D (1).

En relación con los estándares internacionales, la Organización Mundial de la Salud establece un valor de referencia de 1,5 mg/L de fluoruro en el agua potable. No obstante, recomienda que este valor sea adaptado según factores locales, tales como las condiciones climáticas, el consumo de agua y la exposición a otras fuentes de fluoruro. En regiones con concentraciones naturales elevadas, alcanzar estos niveles puede representar un desafío técnico. Por su parte, el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos ha recomendado desde 1962 que los sistemas públicos de agua mantengan concentraciones entre 0,7 y 1,2 mg/L, con el objetivo de prevenir la caries dental de manera eficaz (39).

### 1.3 Toxicidad de flúor

El flúor, al igual que otros oligoelementos, presenta un comportamiento dependiente de la dosis, pudiendo ejercer efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud humana. En concentraciones adecuadas, contribuye a la prevención de la caries dental; sin embargo, una exposición excesiva puede generar varios efectos adversos. Entre las manifestaciones más estudiadas se encuentran la fluorosis dental y la fluorosis ósea. Asimismo, se han reportado posibles asociaciones con alteraciones en la función reproductiva, el desarrollo de osteosarcoma, trastornos endocrinos como el hipotiroidismo y efectos relacionados con la neurotoxicidad (40).

En este contexto, una consulta de expertos de la Organización Mundial de la Salud sobre microelementos en nutrición y salud humana (OMS, 1996c) clasificó al fluoruro dentro de los “elementos potencialmente tóxicos”, reconociendo que, a bajas concentraciones, puede desempeñar funciones beneficiosas. De esta manera, se le atribuye un carácter esencial en relación con la resistencia frente a la caries dental, considerada una función fisiológica relevante.

Respecto a las recomendaciones de ingesta, se ha establecido que en niños de 1, 2 y 3 años el consumo total de fluoruro debería limitarse, en lo posible, a 0,5; 1,0 y 1,5 mg/día, respectivamente, procurando que no más del 75% provenga de fuentes solubles presentes en el agua de consumo. Por otro lado, se ha señalado que una ingesta superior a 5 mg diarios en adultos, considerando todas las fuentes, podría representar un riesgo significativo para el desarrollo de fluorosis esquelética (41).

### 1.4 Fluorosis

#### a. Definición

La fluorosis dental es una alteración del esmalte caracterizada por un proceso de hipomineralización que ocurre como consecuencia de la exposición prolongada a concentraciones elevadas de fluoruro durante la etapa de formación dental, específicamente en el periodo preruptivo. Clínicamente, esta condición se manifiesta por un aumento de la porosidad del esmalte, lo que le confiere un aspecto opaco o moteado.

Desde el punto de vista biológico, su desarrollo está asociado a alteraciones en la actividad de los ameloblastos durante la fase de formación del esmalte. Aunque los mecanismos fisiopatológicos no han sido completamente dilucidados, diversos estudios han evidenciado cambios histológicos que sugieren daño celular y alteraciones en la matriz del esmalte. En este sentido, se ha propuesto que concentraciones elevadas de flúor interfieren en los procesos de mineralización, generando defectos en la estructura del tejido adamantino (42) (43).

La exposición excesiva a fluoruros durante etapas críticas del desarrollo, especialmente en la infancia, constituye el principal factor de riesgo para la aparición de esta condición. Si bien el flúor puede atravesar la barrera placentaria durante el periodo de gestación, la evidencia disponible respecto a su impacto directo en la dentición no es concluyente; sin embargo, niveles elevados podrían influir en los procesos de mineralización en desarrollo.

En este contexto, el consumo de agua con concentraciones elevadas de fluoruro puede incrementar el riesgo de desarrollar fluorosis dental, particularmente cuando se combina con otras fuentes de exposición, como productos de uso odontológico que contienen flúor (44).

Por otro lado, si bien la adición controlada de flúor en el agua potable constituye una estrategia ampliamente utilizada para la prevención de la caries dental, su implementación debe considerar factores locales como las características geológicas, las condiciones climáticas y las fuentes adicionales de exposición, a fin de evitar efectos adversos asociados a una ingesta excesiva (45).

## **1.5 Agua Potable**

### **a. Distribución del agua en Arequipa**

El agua potable se define como aquella que cumple con los criterios de calidad necesarios para el consumo humano, sin representar riesgos para la salud. En la ciudad de Arequipa, el suministro y tratamiento del agua están a cargo de SEDAPAR S.A., una entidad responsable de garantizar su potabilización a través de infraestructuras especializadas, como la planta de La Tomilla.

En estas instalaciones, el agua es sometida a un sistema de tratamiento basado en múltiples barreras, cuyo objetivo es eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos. A lo largo de todo el proceso, se realizan controles y monitoreos permanentes que permiten asegurar la eficiencia del tratamiento y la calidad del agua distribuida a la población (46).

#### **b. Los pasos del proceso de potabilización**

El proceso de potabilización comprende una serie de etapas sucesivas diseñadas para transformar el agua cruda en agua apta para el consumo humano:

- **Captación**

En la fase inicial, el agua es captada mediante estructuras que permiten su conducción hacia la planta de tratamiento. Durante este proceso, se emplean sistemas de filtración preliminar que retienen partículas de gran tamaño. Posteriormente, el agua es sometida a un pretratamiento y conducida hacia unidades desarenadoras, donde se eliminan partículas pesadas en suspensión.

Luego, el agua cruda es dirigida hacia estructuras de distribución, como el rompe carga, desde donde se reparte hacia las distintas unidades de tratamiento.

- **Coagulación**

La coagulación tiene como objetivo desestabilizar las partículas coloidales responsables de la turbidez y el color del agua, las cuales no sedimentan de forma natural debido a su reducido tamaño y carga eléctrica negativa.

Mediante la adición de coagulantes con carga positiva, se neutralizan estas fuerzas de repulsión, permitiendo la formación de partículas de mayor tamaño. Este proceso ocurre en condiciones de mezcla rápida, caracterizadas por una agitación intensa que asegura la adecuada dispersión del reactivo en el menor tiempo posible.

- **Floculación**

Una vez neutralizadas las cargas, las partículas comienzan a agruparse mediante un proceso de agitación lenta y controlada, formando agregados de mayor tamaño conocidos como flóculos.

La eficiencia de esta etapa depende de condiciones hidráulicas adecuadas, ya que una agitación excesiva puede fragmentar los flóculos, mientras que una agitación insuficiente genera estructuras débiles y de difícil sedimentación.

- **Sedimentación y Decantación**

En la etapa de sedimentación, se reduce la velocidad del flujo, permitiendo que los flóculos se depositen por acción de la gravedad, separándose del agua clarificada.

Los decantadores, como los sistemas tipo Pulsator, optimizan este proceso mediante mecanismos que mantienen el lodo en suspensión controlada, facilitando la acumulación y posterior extracción del material sedimentado. Este diseño mejora la eficiencia del tratamiento y permite obtener un agua clarificada apta para las siguientes etapas.

- **Filtración**

La filtración constituye la fase final de la clarificación del agua. En esta etapa, el agua atraviesa medios porosos, generalmente compuestos por arena, que retienen partículas finas y flóculos remanentes.

Además de la remoción física de sólidos, esta etapa actúa como una barrera adicional frente a microorganismos patógenos. Los filtros requieren mantenimiento periódico, y el intervalo entre limpiezas se denomina carrera de filtración.

- **Desinfección**

Posteriormente, el agua es sometida a un proceso de desinfección, comúnmente mediante la aplicación de cloro. Este agente químico es ampliamente utilizado

por su capacidad oxidante y por su efecto residual, el cual permite mantener la calidad microbiológica del agua a lo largo del sistema de distribución.

La desinfección tiene como finalidad eliminar microorganismos patógenos, incluyendo bacterias como Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae y Escherichia coli, así como virus y protozoarios. Esta etapa es fundamental, ya que los procesos previos no garantizan su eliminación total.

- **Almacenamiento y distribución**

Finalmente, el agua tratada es almacenada en reservorios, donde se mantiene en condiciones adecuadas hasta su distribución. Desde estos depósitos, el agua es conducida a través de la red principal y las conexiones domiciliarias, asegurando su abastecimiento continuo a la población (46).

## **1.6 Agua de Zonas volcánicas y Subterráneas**

En la región de Arequipa, el abastecimiento hídrico proviene de diversas fuentes tanto superficiales como subterráneas. En particular, en el sector de Uchumayo, el recurso hídrico se origina en quebradas como Añashuayco, así como en sistemas de aguas subterráneas, entre los que destaca el área de San Jacinto.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la red hídrica de la región tiene su origen en los frentes de lava del Complejo Volcánico del Chachani, ubicándose en la zona de transición entre la subcuenca del río Yura y la del río Chili. En este contexto, las aguas subterráneas circulan lentamente a través de formaciones de ignimbritas de tonalidad salmón, cuya porosidad y permeabilidad permiten la formación de un acuífero superficial libre. Este acuífero se encuentra apoyado sobre una capa de ignimbrita blanca que actúa como barrera impermeable, condicionando su comportamiento hidráulico. Tanto la profundidad como el espesor del acuífero varían en función de la topografía y de los paleocauces por donde se desplaza el flujo subterráneo.

Asimismo, estudios geofísicos han evidenciado la existencia de un acuífero confinado subyacente, localizado por debajo de las ignimbritas blancas, cuyo espesor promedio es de aproximadamente 80 metros. Para alcanzar el nivel freático de este sistema, se requerirían perforaciones cercanas a los 180 metros de profundidad. En términos de dinámica, tanto las aguas subterráneas como los flujos superficiales siguen la pendiente del glacis, desplazándose en dirección suroeste hacia los sectores de Pachacútec y Uchumayo.

En relación con la calidad del recurso hídrico, se ha identificado la presencia de fuentes potenciales de contaminación. En particular, los efluentes industriales generados por curtiembres ubicadas en el parque industrial de Río Seco son vertidos en el cauce de la quebrada de Añashuayco. Estas descargas recorren aproximadamente 3 km antes de infiltrarse en el subsuelo, favorecidas por la presencia de materiales derivados de la explotación de sillar que cubren gran parte del lecho de la quebrada. Esta situación plantea un riesgo potencial de contaminación de los acuíferos locales.

Por otro lado, en la parte baja de la quebrada se han identificado alrededor de 20 manantiales, originados tanto por napas freáticas asociadas al sistema del Chachani como por filtraciones provenientes de las irrigaciones de Zamácola y El Cural. Estas últimas, al emplear sistemas de riego por gravedad, generan excedentes que se infiltran en el subsuelo y posteriormente emergen en la zona de San Jacinto a través de fisuras en las ignimbritas blancas.

Estos manantiales, conocidos como San Jacinto, presentan un caudal promedio cercano a 300 L/s, constituyendo una fuente importante para actividades agrícolas aguas abajo, especialmente en áreas cercanas a su confluencia con el río Chili. Además, esta zona posee valor como recurso turístico local (47).

Desde el punto de vista geomorfológico, la quebrada de Añashuayco se ubica en el sector noroeste del glacis de Arequipa y ha sido modelada por la acción conjunta de procesos endógenos y exógenos, destacando la erosión generada por aguas meteóricas. En esta área predominan materiales de origen volcánico y eluvial. La quebrada se origina a partir de la confluencia de tres cauces

localizados aproximadamente a 50 metros al noreste del puente Añashuayco, en la vía hacia Yura, uno de los cuales delimita terrenos del Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón. Estos cursos tienen su origen en las laderas orientales del complejo volcánico del Chachani.

Una de las características más relevantes de esta quebrada es la presencia de taludes verticales que, en algunos sectores, alcanzan profundidades de hasta 80 metros. La planicie circundante presenta una topografía predominantemente plana, con ligeras ondulaciones y una pendiente general orientada hacia el suroeste. Finalmente, la quebrada de Añashuayco desemboca en el río Chili en las proximidades del peaje y la comisaría de Uchumayo (47).

### **1.7 Juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS)**

Las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento son organizaciones comunales creadas con la finalidad de gestionar la administración, operación y mantenimiento de los servicios de saneamiento en uno o varios centros poblados del ámbito rural. Estas pueden adoptar diversas formas organizativas, como asociaciones o comités, y su conformación se realiza de manera participativa, siendo sus miembros elegidos por la propia comunidad.

Aunque la responsabilidad principal del abastecimiento de agua potable y alcantarillado recae en las municipalidades de cada jurisdicción, en contextos rurales dispersos se reconoce la necesidad de delegar estas funciones a organizaciones comunales. En este marco, las JASS cumplen un rol esencial en la provisión y gestión de dichos servicios, contribuyendo al acceso sostenible al agua y saneamiento en estas poblaciones (48).

- **Asistencia técnica:**

Para el adecuado funcionamiento de las JASS, resulta indispensable el acompañamiento técnico por parte de la municipalidad correspondiente. En este sentido, los gobiernos locales deben designar un área responsable de promover la conformación de estas organizaciones, así como de ejercer funciones de supervisión, fiscalización y asistencia técnica continua.

Este apoyo institucional es clave para fortalecer las capacidades de gestión de las JASS y garantizar la sostenibilidad y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento en el ámbito rural (48).

### **1.8 Flúor en agua subterránea**

El flúor ( $F^-$ ) es un anión que se encuentra naturalmente en el ambiente, especialmente en el agua subterránea, debido a la disolución de minerales fluorados como la fluorita ( $CaF_2$ ), criolita y apatita (49) (50) . Las concentraciones de flúor en aguas subterráneas pueden variar ampliamente según factores geológicos, hidroquímicos y climáticos, siendo especialmente altas en regiones de origen volcánico, como ocurre en diversas zonas del sur del Perú.

- **Origen Geológico y Factores de Enriquecimiento**

La liberación de flúor al agua subterránea ocurre principalmente a través de la interacción del agua con formaciones rocosas ricas en flúor. Este proceso se ve favorecido en condiciones de pH alcalino, alta temperatura del subsuelo y en la presencia de ciertos aniones como bicarbonato y sodio, que promueven la solubilización del flúor (51). A mayor profundidad del acuífero, mayor tiempo de contacto con los minerales, lo que incrementa la concentración del ión fluoruro (52) .

- **Distribución del Flúor en Zonas Áridas**

En regiones áridas o semiáridas, la escasa recarga de los acuíferos y la alta evaporación superficial pueden concentrar los minerales disueltos, incluyendo el flúor, generando niveles que superan los valores recomendados para el consumo humano (53) . Este fenómeno es común en zonas andinas de países como India, México, China y Perú.

- **Situación en el Perú**

Diversos estudios en el Perú han reportado niveles elevados de flúor en agua subterránea en regiones como Arequipa, Puno y Ayacucho, zonas de origen volcánico y con alta mineralización del suelo. En distritos como Characato y Sabandía, que dependen de pozos subterráneos, se han reportado concentraciones dentro del rango aceptable, pero se requiere monitoreo constante debido a la alta variabilidad geológica (54) (55).

## 1.9 Método potenciométrico

El método potenciométrico es una técnica analítica ampliamente utilizada para la determinación de iones fluoruro ( $F^-$ ) en muestras de agua, especialmente en estudios de control de calidad del agua potable y vigilancia ambiental. Este método se basa en la medición del potencial eléctrico generado por un electrodo selectivo de flúor (ISE, por sus siglas en inglés) en presencia del ion de interés (56) (57).

### • Principio del Método

El electrodo selectivo de flúor está diseñado con una membrana de lantano trifluoruro ( $LaF_3$ ), dopada con europio, que es altamente selectiva para el ion fluoruro. Cuando este electrodo se introduce en una solución acuosa que contiene  $F^-$ , se establece un potencial eléctrico que es proporcional a la concentración del ion en solución, conforme a la ecuación de Nernst (58) :

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln[F^-]$$

Donde:

- $E$  es el potencial medido,
- $E^0$  es el potencial estándar del electrodo,
- $R$  es la constante de los gases,
- $T$  es la temperatura en Kelvin,
- $n$  es el número de electrones intercambiados (1 en este caso),
- $F$  es la constante de Faraday,
- $[F^-]$  es la actividad del ion fluoruro en solución.

### • Procedimiento Analítico

Para realizar una medición precisa, se añade a la muestra una solución de ajuste de fuerza iónica total (TISAB, por sus siglas en inglés), que cumple varias funciones:

- ✓ Mantener constante la fuerza iónica,
- ✓ Evitar la formación de complejos de flúor con otros iones (como  $Al^{3+}$  o  $Fe^{3+}$ ),
- ✓ Estabilizar el pH de la solución, generalmente entre 5.0 y 5.5.

Posteriormente, se calibra el electrodo con soluciones estándar de concentración conocida y se realiza la lectura de potencial de las muestras problema. A partir de los datos obtenidos, se construye una curva de calibración que permite determinar la concentración de fluoruro en mg/L o ppm (59).

### 1.10 Seven Direct™ SD 50 de Mettler Toledo

El SevenDirect™ SD50 es un equipo de laboratorio diseñado para la medición precisa de parámetros químicos en soluciones acuosas, incluyendo pH, conductividad y concentración de iones específicos mediante electrodos selectivos de iones (ISE). Para la determinación de fluoruro, se emplea junto con un electrodo específico para ion flúor, como el ISE F<sup>-</sup> de Mettler Toledo, y una solución de ajuste de fuerza iónica (TISAB), que estabiliza el pH y elimina interferencias.

Este dispositivo cuenta con una pantalla táctil intuitiva, calibración automatizada y registro de datos, lo que asegura mediciones confiables. Su uso en el análisis de aguas permite detectar concentraciones de fluoruro en rangos bajos (mg/L), cumpliendo con los estándares analíticos recomendados para control de calidad del agua potable (60).

Figura1. SevenDirect SD50 Kit



*Nota: SD50 Kit (60)*

## 2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

### 2.2 Antecedentes Internacionales

Se realizó un estudio epidemiológico sobre las áreas afectadas por fluorosis asociada al tipo de agua potable y su impacto en la salud infantil en China durante los últimos 40 años. Realizaron un análisis epidemiológico, el estudio integró setenta investigaciones y evidenció que los programas de mejora y defluoración del agua redujeron significativamente los niveles de fluoruro, la prevalencia de fluorosis dental y el fluoruro urinario en niños. No obstante, se observó que los niños residentes en zonas con alta concentración de fluoruro presentaron coeficientes intelectuales significativamente menores en comparación con aquellos que habitan en zonas de baja exposición, concluyéndose que el control de la calidad del agua es una estrategia eficaz para la prevención y manejo de la afección (61).

Se realizó un estudio donde se evaluaron la asociación entre la exposición al fluoruro, medida a través del fluoruro en agua potable y en orina, y la presencia del trastorno por déficit de atención e hiperactividad en niños y adolescentes canadienses. Los resultados mostraron que mayores concentraciones de fluoruro en el agua del grifo se asociaron con un incremento significativo del riesgo de diagnóstico de TDAH y de síntomas de hiperactividad e inatención, especialmente en adolescentes. Estos hallazgos sugieren que la exposición elevada al fluoruro podría influir negativamente en el desarrollo neuroconductual en la población juvenil (62).

Se realizó un estudio en el que se evaluó la concentración de flúor y metales pesados presentes en aguas minerales embotelladas comercializadas en España, con el objetivo de determinar su papel como medida preventiva frente a la caries dental y el posible riesgo de fluorosis. Los resultados mostraron una considerable variabilidad en los niveles de fluoruro, encontrándose en la mayoría de las muestras concentraciones inferiores a las recomendadas para la prevención de caries. Asimismo, los metales pesados analizados se mantuvieron dentro de los límites permitidos. Se concluyó que el consumo de estas aguas minerales, en la mayoría de los casos, no proporciona un aporte suficiente de flúor, por lo que podría ser necesaria una suplementación controlada(63).

Se realizó un estudio donde se evaluaron la calidad fisicoquímica del agua del lago Coatetelco y de pozos subterráneos circundantes en el centro-sur de México, así como los posibles riesgos para la salud humana asociados al consumo de fluoruro y nitratos. Los resultados mostraron que una proporción significativa de las muestras presentó concentraciones de fluoruro superiores a los límites recomendados por la OMS, lo que implicaría riesgo de fluorosis dental y esquelética, especialmente en niños. El estudio concluyó que la exposición crónica al fluoruro representa un problema potencial de salud pública, asociado a la geología y a la interacción roca-agua de la zona (64).

Se realizó una investigación sobre el impacto del consumo de agua con altas concentraciones de flúor en la salud bucal colectiva de niños y adolescentes del Municipio Baralt, Venezuela. Tuvo como resultados un incremento considerable de la prevalencia y severidad de la fluorosis dental a lo largo del tiempo, asociado al consumo de agua subterránea con concentraciones de flúor superiores a los valores recomendados por la OMS. El estudio concluyó que la fluorosis dental constituye un problema de salud colectiva relacionado directamente con la calidad del agua de consumo humano (65).

### **2.3 Antecedente Local**

En su tesis evaluó la prevalencia, severidad y los factores asociados a la fluorosis dental en escolares del colegio nacional José Domingo Zuzunaga Obando, ubicado en el distrito de Uchumayo, Arequipa, mediante un estudio descriptivo, transversal y relacional en 190 escolares de ambos géneros, con edades entre 10 y 19 años. Los resultados evidenciaron una prevalencia de fluorosis dental del 67,9 %, con mayor afectación en los grupos etarios de 16 a 17 años y en el sexo masculino. Predominaron los grados cuestionable y muy leve, y el índice comunitario de fluorosis dental fue de 1,41, lo que permitió identificar a esta patología como un problema de salud pública. Entre los principales factores de riesgo se encontró el consumo de agua con concentraciones de fluoruro superiores al límite permisible, así como la influencia indirecta de actividades extractivas cercanas a la zona; mientras que las prácticas de fluoroterapia tópica fueron reconocidas como factores de protección (66).

**Tabla2. Resumen antecedentes locales**

<b>N° Autor / Año</b>	<b>Localización</b>	<b>Población</b>	<b>Hallazgos clave</b>	<b>Observaciones</b>
1 Santa María Aguilar PA, 2015 (67)	I.E. Peruarbo, Cerro Colorado, Arequipa	99 niños (8–12 años)	Prevalencia de fluorosis dental: 72,7 %	Predominó el grado muy leve (41,4 %)
2 Arias Guerra MA, 2018 (68)	Distrito de Chiguata, Arequipa	105 niños (6–12 años)	Fluorosis presente en $\geq 63,8$ % con flúor en agua $\approx 0,20$ mg/L	Fluorosis aun con niveles bajos de flúor
3 Apaza López FL, 2019 (69)	I.E. N.º 40074 J. L. Bustamante y Rivero, Sachaca, Arequipa	120 escolares (12–14 años)	Prevalencia de fluorosis: 82,5 %	Predominaron grados dudoso y muy leve; no relación con caries
4 Escobedo Rodríguez DC, 2019 (70)	P.J. Horacio Zeballos, Socabaya, Arequipa	129 escolares (8–12 años)	Fluorosis en 47,29 %; flúor en agua: 1,38–1,54 mg/L	Alta concentración de flúor en agua subterránea
5 Barrios Hurtado SD, 2023 (71)	Anexos Cochate, El Monte y La Real, Aplao, Arequipa	102 niños (6–15 años)	Prevalencia de fluorosis: 89,22 %	No relación clara con baja concentración de flúor
6 Díaz Valdivia JP, 2017 (72)	Distrito de Tiabaya, Arequipa	302 alumnos (12–14 años)	Predominaron grados dudoso (51,0 %) y muy leve (23,8 %)	Agua dentro de rangos OMS, fluorosis presente
7 Mamani Cahuata LD, Mercado Portal JL, 2019 (73)	Ciudad de Arequipa (6 pozos)	504 alumnos (12–15 años)	Mayor fluorosis en pozos con mayor concentración de flúor	Relación directa flúor–fluorosis

*Nota: Elaboración propia*



## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGIA**

### Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.

El presente trabajo de investigación empleó una técnica experimental de medición con la finalidad de determinar la concentración de flúor en agua, expresada en mg/L. Para el registro de los resultados obtenidos se utilizó una ficha laboratorial diseñada para consignar los valores determinados mediante el método potenciométrico con electrodo selectivo de ion fluoruro, utilizando el equipo Seven Direct TM SD50 de Mettler Toledo.

**Tabla3. Esquematización**

VARIABLE	TECNICA	INSTRUMENTO
Concentración de flúor en Agua	Medición	Ficha laboratorial

*Nota: Elaboración propia*

**1. Materiales de verificación:** hojas papel bond, lapiceros, corrector, tabla de madera, etc.

### 2. Campo de verificación

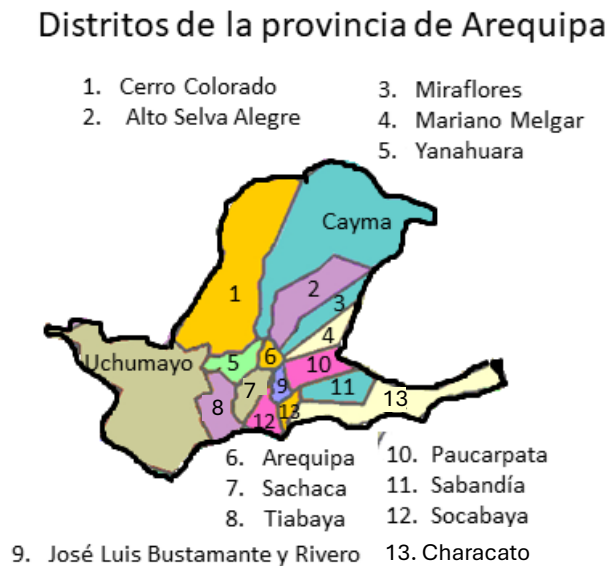
#### 2.1. Ubicación espacial

##### 2.1.2. Precisión del lugar

La investigación se realizará en el ámbito general de:

- País: Perú.
- Región: Arequipa.
- Provincia: Arequipa.
- Distritos:
  - Norte: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma y Alto Selva Alegre
  - Sur: Socabaya, Sachaca, Tiabaya
  - Este: Uchumayo, Congata, Huayco.
  - Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, Characato, Sabandia.

Figura2. Distritos de la Ciudad de Arequipa



*Nota: Elaboración Propia*

### 2.1.3. Caracterización del lugar

Las muestras de agua se obtuvieron de reservorios y fuentes subterráneas relevantes como el reservorio La Tomilla, JAPACEV (Cerro Verde), JAAP (San Jacinto) (Pueblo Tradicional de Uchumayo), los reservorios de Virgen del Rosario, Pueblo Libre, y fuentes subterráneas ubicadas en diferentes zonas geográficas de Arequipa. Estas fuentes abastecen a las zonas con antecedentes de fluorosis dental.

El reservorio de la JAAP, que se abastece del manantial de San Jacinto, constituye la principal fuente de distribución de agua en las zonas seleccionadas para el presente estudio, siendo el origen del recurso hídrico sujeto a análisis. Asimismo, se identificaron otras fuentes complementarias de abastecimiento, como las aguas subterráneas, las cuales también contribuyen al suministro en determinadas áreas.

## 2.2. Ubicación temporal

### 2.2.2. Cronología

Esta investigación se realizó entre Junio, Julio, Agosto, Setiembre y octubre 2024.

### 2.2.3. Visión temporal

Prospectivo observacional

#### **2.2.4. Corte temporal**

Comparativo Relacional **Longitudinal**

### **2.3. Unidades de estudio**

Muestras de agua

#### **2.3.2. Universo**

No corresponde

##### **A. Universo cualitativo**

No corresponde

##### **a. Criterios de inclusión**

- Muestra de Agua de proveniente del reservorio de la Tomilla
- Agua proveniente del reservorio de JAPACEV
- Agua proveniente del reservorio JAAP
- Agua proveniente de subsuelo
- Agua proveniente de manantial San Jacinto

##### **b. Criterios de exclusión**

- Zonas de menor Índice de fluorosis

##### **B. Universo cuantitativo**

El universo de esta investigación es agua de consumo humano de las zonas del Norte, Sur, Este y Oeste de Arequipa.

#### **2.3.3. Muestra**

##### **A. Criterios estadísticos**

##### **a. Confiabilidad**

En este trabajo de investigación se utilizó una muestra con 95 % de confiabilidad.

##### **b. Margen de error**

En este trabajo de investigación se utilizó una muestra con 5% de margen de error.

##### **c. Probabilidad**

La probabilidad del presente trabajo de investigación es 50%.

##### **B. Tamaño de la muestra**

Muestreo por Conveniencia

75 muestras

### **C. Tipo de muestreo**

No probabilístico-intencional.

## **3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.1. Organización**

#### **3.1.1 Prueba Piloto**

Se efectuó una prueba piloto en 15 Muestras de agua de las zonas de investigación, que reúnan las condiciones de inclusiones establecidas.

### **3.2. Recursos**

#### **a. Humanos**

Autora: Alicia del Carmen Huamán Morales

Asesor: Dra. Zaida Moya de Calderón

Equipo de trabajo de Investigación de fluorosis de UCSM

Se conto con el apoyo del Vicerrectorado de investigación de la UCSM

#### **b. Físicos**

En cuanto a recursos físicos se utilizó:

- Ficha laboratorial para la toma de muestra del agua y su correspondiente resultado, que será la base de datos para elaboración de tablas y gráficos.
- Materiales de escritorio (lapiceros, lápices, borradores, engrapador)
- Medidor de Flúor
- Tubos
- Micropipetas
- Tips
- Rejillas
- Matraz
- Potenciómetro SevenDirect™ SD50 de Mettler Toledo

### c. Institucionales

Se utilizaron las instalaciones de las Instituciones Educativas donde se encontró brote de fluorosis, domicilios de los niños con fluorosis y de distintas Áreas geográficas de la ciudad de Arequipa.

### 3.3. Validación del instrumento

Se utilizaron un INSTRUMENTO VALIDADO, que se usa en investigaciones de diseño similar. Prueba piloto: Ejemplo

#### a. Procedimiento

La prueba piloto se realizará en 15 frascos de agua tomados de distintos distritos de la ciudad de Arequipa.

- **Método potenciométrico:**

Se utilizó para medir la diferencia de potencial entre dos electrodos en una celda electroquímica: uno de referencia y otro indicador sensible y selectivo al analito. Este método es adecuado para concentraciones de fluoruro desde 0.1 a 10 mg/L; es necesario adicionar una solución amortiguadora de alta fuerza iónica (TISAB por sus siglas en inglés) para el control del pH, el ajuste de la fuerza iónica total y mantener libre al ion fluoruro en la solución.

- **Preparación de patrones y curva de calibración:** Para la determinación de fluoruro se empleó el potenciómetro SevenDirect TM SD50 de Mettler Toledo, equipo que permite seleccionar el método analítico y el sensor correspondiente según el parámetro a evaluar. El sistema posibilita realizar calibraciones tanto para pH como para iones fluoruro mediante el uso del electrodo selectivo de ion (ISE). Asimismo, el equipo dispone de un software integrado que automatiza el registro y procesamiento de las mediciones obtenidas.

- **Curva de calibración de ion flúor:** Previamente al análisis de las muestras, se configuraron la temperatura y los rangos de calibración del equipo. Para ello, se utilizó un electrodo selectivo de ion fluoruro acoplado al potenciómetro SevenDirect TM SD50. El electrodo está constituido por un cristal de fluoruro de lantano ( $\text{LaF}_3$ ) dopado con 0,3 % de europio, el cual funciona como una membrana selectiva conductora específica para el ion fluoruro. Este método potenciométrico

mediante electrodo selectivo de ion es ampliamente reconocido y recomendado por organismos especializados en procedimientos analíticos.

Para la elaboración de la curva de calibración se preparó una serie de soluciones estándar a partir de una solución patrón de fluoruro de 1000 mg/L proporcionada por la misma empresa fabricante. Se prepararon cinco soluciones estándar con concentraciones de 0,1; 0,5; 1,0; 5,0 y 10,0 mg/L.

Posteriormente, a cada solución estándar se añadió TISAB II, solución acondicionadora adquirida del mismo fabricante, en una relación 1:1, con el propósito de minimizar posibles interferencias y mantener constante la fuerza iónica del medio. Luego de homogenizar las soluciones, se procedió a realizar la calibración potenciométrica del equipo.

Las mediciones obtenidas inicialmente en milivoltios fueron transformadas automáticamente a unidades de ppm o mg/L por el software del equipo. El sistema indicó en pantalla la aceptación o rechazo de la calibración realizada, permitiendo identificar posibles inconvenientes asociados al estado del sensor, tales como suciedad, deterioro o desgaste. Una vez validada la calibración del electrodo selectivo de fluoruro, se efectuó la verificación correspondiente mediante la comparación de las concentraciones obtenidas con los valores de los estándares preparados. Finalmente, se procedió a la lectura y análisis de las muestras de agua.

- **Medición de flúor:** Las muestras de agua recolectadas en los diferentes puntos de muestreo fueron colocadas en tubos con capacidad de 10 mL. Para cada determinación se utilizaron 2,5 mL de muestra, a los cuales se adicionaron 0,5 mL de solución TISAB II, con la finalidad de estabilizar la fuerza iónica y reducir posibles interferencias durante la medición del ion fluoruro.

Posteriormente, las lecturas se realizaron mediante el potenciómetro SevenDirect TM SD50 de Mettler Toledo, utilizando un electrodo selectivo de ion fluoruro (ISE). Después de cada medición, el electrodo fue enjuagado con agua desionizada estéril para evitar contaminación cruzada entre muestras y garantizar la precisión analítica.

Los valores obtenidos fueron registrados automáticamente por el equipo y posteriormente exportados a Microsoft Excel para su procesamiento y análisis. Cada muestra fue analizada por duplicado con el propósito de incrementar la

confiabilidad de los resultados. Finalmente, al obtenerse dos mediciones de concentración de fluoruro por cada muestra, se calculó el promedio correspondiente para el análisis final.

#### **b. Finalidad**

La finalidad de la prueba piloto es: juzgar cuan eficaz resultaría la investigación con las unidades de estudio y si se puede aplicar el instrumento en otras investigaciones similares. Por tanto, se juzgo la validez y confiabilidad.

### **4. CRITERIOS PARA EL MANEJO DE RESULTADOS**

#### **A nivel de recolección:**

Vaciado manual del protocolo de recolección de datos a la matriz de datos.

#### **A nivel de sistematización:**

Para el procesamiento de los datos se procedió a tabular manualmente los datos recogidos, para luego convertirlos al sistema digital, para su posterior análisis estadístico, en el programa Estadístico SPSS 21.0 for Windows.

#### **A nivel de estudio de datos:**

Basados en los resultados obtenidos del Software SPSS y el análisis estadístico correspondiente

[https://www.mcafee.com/content/dam/global/icons/btn\\_close-grey.svg](https://www.mcafee.com/content/dam/global/icons/btn_close-grey.svg)

### **5. PLAN DE PROCESAMIENTO**

#### **a. Tipo de procesamiento**

En el presente trabajo de investigación se opto por un procesamiento mixto (procesamiento electrónico y procesamiento manual).

#### **b. Operaciones de la sistematización**

Se realizo un plan de tabulación y un plan de graficación, en el plan de tabulación se utilizó tablas de entrada simple y doble entrada, estos además serán numéricos y literales; y en el plan de graficación se utilizó gráficos de barras y torta.

Los datos registrados en el protocolo de recolección de datos, serán calificados, tabulados para su análisis e interpretación empleando cuadros y gráficos.

Análisis Estadístico:

Tabla4. Tabla de Análisis estadístico de la variable

Variable	Tipo	Escala de medicion	Estadística
<b>Agua de consumo humano en zonas de brote de fluorosis: norte, sur, este y oeste de Arequipa</b>	Cuantitativa Continua	De razon	ANOVA

*Nota: Elaboración Propia*



**CAPITULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSION**

## 1. RESULTADOS

Tabla5. Nivel de concentración de flúor en agua de manantial y de reservorio que consume la población del Este de Arequipa (Uchumayo, Huayco, Congata)

### ESTE AREQUIPA

Distrito	Fuentes de agua	Promedio	Nivel de concentración de flúor
Uchumayo	Manantial	0.5015	Rango aceptable
Uchumayo	Reservorio	0.9065	Rango fluorosis
Huayco	Reservorio	0.531	Rango aceptable
Congata	Reservorio	0.5665	Rango aceptable

*Nota: Elaboración propia (Matriz de Sistematización).*

En la Tabla 5 se presentan los niveles de concentración de flúor en diferentes fuentes de agua consumidas por la población en los distritos de Uchumayo, Huayco y Congata, en el Este de Arequipa.

En el distrito de Uchumayo, el agua de manantial tiene un nivel promedio de concentración de flúor de 0.5015, clasificándose dentro del rango aceptable. Sin embargo, el agua proveniente del reservorio en el mismo distrito muestra un nivel más alto, con un promedio de 0.9065, que corresponde al rango de fluorosis. En el distrito de Huayco, el agua de reservorio presenta un nivel promedio de 0.531, siendo también clasificado como rango aceptable. Finalmente, en Congata, el agua de reservorio tiene un nivel promedio de 0.5665, manteniéndose dentro del rango aceptable.

Se observa que, en general, las concentraciones más bajas de flúor corresponden a los rangos aceptables, mientras que un único valor, correspondiente al agua de reservorio en Uchumayo, excede este rango, ubicándose en niveles asociados a riesgos de fluorosis.

Tabla6. El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Norte de Arequipa: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma, Alto Selva Alegre

**NORTE DE AREQUIPA**

<b>Distrito</b>	<b>Fuentes de agua</b>	<b>Promedio</b>	<b>Nivel de concentración de flúor</b>
<b>Yanahuara</b>	Suministro público	0.2175	Rango aceptable
<b>Cerro Colorado</b>	Suministro público	0.1915	Rango aceptable
<b>Cayma</b>	Suministro público	0.169	Rango aceptable
<b>Alto Selva Alegre</b>	Suministro público	0.332	Rango aceptable

*Nota: Elaboración propia (Matriz de sistematización).*

Tabla7. El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Oeste de Arequipa: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R.

**OESTE DE AREQUIPA**

<b>Distrito</b>	<b>Fuentes de agua</b>	<b>Promedio</b>	<b>Nivel de concentración de flúor</b>
<b>Paucarpata</b>	Suministro público	0.21	Rango aceptable
<b>Miraflores</b>	Suministro público	0.126	Rango aceptable
<b>Mariano Melgar</b>	Suministro público	0.149	Rango aceptable
<b>José L. Bustamante</b>	Suministro público	0.107	Rango aceptable

*Nota: Elaboración propia (Matriz de Sistematización).*

En la Tabla 6 y 7 se detallan los niveles de concentración de flúor en el agua de suministro público consumida por la población de diversas zonas del norte y oeste de Arequipa.

En el norte de Arequipa, el distrito de Alto Selva Alegre presenta el nivel promedio más alto de concentración de flúor con 0.332, seguido por Yanahuara con 0.2175, y Paucarpata con 0.21, manteniéndose todos dentro del rango aceptable. Los niveles más bajos corresponden al oeste de Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero con 0.107, Miraflores con 0.126 y Mariano Melgar con 0.149, también dentro del rango aceptable.

Tabla8. El nivel de concentración de flúor en el agua de suministro público, que consume la población del Sur de Arequipa: Socabaya, Tiabaya y Sachaca.

<b>SUR DE AREQUIPA</b>			
<b>Distrito</b>	<b>Fuentes de agua</b>	<b>Promedio</b>	<b>Nivel de concentración de flúor</b>
<b>Socabaya</b>	Suministro público	0.255	Rango aceptable
<b>Tiabaya</b>	Suministro público	0.3005	Rango aceptable
<b>Sachaca</b>	Suministro público	0.185	Rango aceptable

*Nota: Elaboración propia (Matriz de Sistematización).*

En la tabla 8 el sur de Arequipa, los distritos presentan valores más homogéneos. El nivel promedio más alto es el de Tiabaya con 0.3005, seguido de Socabaya con 0.255 y finalmente Sachaca con 0.185, clasificándose todos en el rango aceptable.

En general, en todas las zonas analizadas, los niveles de concentración de flúor se encuentran dentro de los rangos aceptables, sin valores que indiquen riesgos de fluorosis.

Tabla9. El nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandía de la Ciudad de Arequipa.El nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandía de la Ciudad de Arequipa.

<b>Distrito</b>	<b>Fuentes de agua</b>	<b>Promedio</b>	<b>Nivel de concentración de flúor</b>
Characato	Subsuelo	0.1645	Rango aceptable
Sabandía	Subsuelo	0.1235	Rango aceptable

*Nota: Elaboración propia (Matriz de sistematización).*

En la Tabla 9 se presentan los niveles de concentración de flúor en el agua de subsuelo consumida por la población de los distritos de Characato y Sabandía, en la ciudad de Arequipa.

El distrito de Characato registra un nivel promedio de concentración de flúor de 0.1645, mientras que Sabandía presenta un nivel ligeramente inferior, con un promedio de 0.1235. En ambos casos, los valores se clasifican dentro del rango aceptable.

Estos resultados indican que el agua de subsuelo en los distritos analizados no representa un riesgo por exceso de flúor, manteniéndose dentro de los límites seguros para el consumo humano.

Tabla10. Mayor concentración de flúor de los diferentes distritos del Norte: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma y Alto Selva Alegre; Sur: Socabaya Tiabaya y Sachaca ; Este: Uchumayo, Congata, Huayco,; Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, Characato y Sabandia, de la ciudad de Arequipa.

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
<b>Uchumayo</b>	2	0,90650	0,013435	0,009500	0,78579	1,02721	0,897	0,916
<b>Huayco</b>	2	0,53100	0,001414	0,001000	0,51829	0,54371	0,530	0,532
<b>Congata</b>	2	0,56650	0,033234	0,023500	0,26790	0,86510	0,543	0,590
<b>Yanahuara</b>	2	0,21750	0,003536	0,002500	0,18573	0,24927	0,215	0,220
<b>Cerro Colorado</b>	2	0,19150	0,002121	0,001500	0,17244	0,21056	0,190	0,193
<b>Cayma</b>	2	0,16900	0,001414	0,001000	0,15629	0,18171	0,168	0,170
<b>Alto Selva Alegre</b>	2	0,33200	0,000000	0,000000	0,33200	0,33200	0,332	0,332
<b>Paucarpata</b>	2	0,21000	0,007071	0,005000	0,14647	0,27353	0,205	0,215
<b>Miraflores</b>	2	0,12600	0,004243	0,003000	0,08788	0,16412	0,123	0,129
<b>Mariano Melgar</b>	2	0,14900	0,001414	0,001000	0,13629	0,16171	0,148	0,150
<b>José L. Bustamante</b>	2	0,10700	0,002828	0,002000	0,08159	0,13241	0,105	0,109
<b>Socabaya</b>	2	0,25500	0,005657	0,004000	0,20418	0,30582	0,251	0,259
<b>Tiabaya</b>	2	0,30050	0,020506	0,014500	0,11626	0,48474	0,286	0,315
<b>Sachaca</b>	2	0,18500	0,007071	0,005000	0,12147	0,24853	0,180	0,190
<b>Characato</b>	2	0,16450	0,002121	0,001500	0,14544	0,18356	0,163	0,166
<b>Sabandia</b>	2	0,12350	0,000707	0,000500	0,11715	0,12985	0,123	0,124
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>0,28341</b>	<b>0,210792</b>	<b>0,037263</b>	<b>0,20741</b>	<b>0,35940</b>	<b>0,105</b>	<b>0,916</b>

*Nota: Elaboración propia (Matriz de Sistematización).*

**Prueba ANOVA p=0.000**

En la Tabla 10 se presentan las estadísticas descriptivas de la concentración de ion flúor en los diferentes distritos evaluados de las zonas norte, sur, este y oeste de la ciudad de Arequipa, incluyendo valores mínimos, máximos, medias e intervalos de confianza al 95 %. Asimismo, se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA), el cual evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los distritos evaluados ( $p = 0,000$ ).

El promedio general de concentración de flúor fue de 0,28341 mg/L (IC95%: 0,20741–0,35940), con valores que oscilaron entre 0,105 y 0,916 mg/L. Los resultados evidencian una marcada variabilidad espacial en la distribución del ion flúor en las fuentes de agua analizadas.

Las concentraciones más elevadas se registraron en el distrito de Uchumayo, con una media de 0,90650 mg/L (IC95%: 0,78579–1,02721), valor que representa aproximadamente 3,2 veces el promedio general de todas las muestras analizadas. Le siguieron los sectores de Congata (0,56650 mg/L) y Huayco (0,53100 mg/L), ubicados en la zona este de la ciudad. Por otro lado, las concentraciones más bajas se observaron en José Luis Bustamante y Rivero, con una media de 0,10700 mg/L (IC95%: 0,08159–0,13241), seguido de Sabandía (0,12350 mg/L) y Miraflores (0,12600 mg/L).

La mayoría de los distritos ubicados en las zonas norte, sur y oeste, así como aquellos correspondientes a fuentes de agua de subsuelo, presentaron concentraciones inferiores a 0,35 mg/L, consideradas bajas a moderadas en comparación con los valores más elevados registrados en la zona este. Estos hallazgos sugieren una distribución heterogénea del fluoruro en el área de estudio, posiblemente influenciada por factores geológicos, hidrogeológicos y las características particulares de las fuentes de abastecimiento de agua de cada distrito.

Tabla 11. Priorización de intervención según concentración de flúor en agua por distrito, Arequipa 2024

Zona	Distrito	Fuente de agua	Promedio (mg/L)	Clasificación OMS (2022)	Nivel de riesgo sanitario	Prioridad de intervención	Recomendación principal
Este	Uchumayo (reservorio)	Agua de reservorio	0.9065	Excede rango ideal (riesgo de fluorosis)	Alto	<b>Alta</b>	Implementar tratamiento de remoción o mezcla de fuentes; monitoreo mensual.
Este	Huayco	Agua de reservorio	0.5310	Límite superior aceptable	Moderado	<b>Media-Alta</b>	Evaluar alternativas de mezcla o tratamiento; control de pH.
Este	Congata	Agua de reservorio	0.5665	Límite superior aceptable	Moderado	<b>Media-Alta</b>	Control de calidad continua; evaluación geológica local.
Este	Uchumayo (manantial)	Agua de manantial	0.5015	Rango aceptable, límite superior	Moderado	<b>Media</b>	Educación comunitaria y monitoreo semestral.
Sur	Tiabaya	Suministro público	0.3005	Rango aceptable	Bajo	<b>Media</b>	Continuar vigilancia semestral; verificar variaciones estacionales.
Sur	Socabaya	Suministro público	0.255	Rango aceptable	Bajo	<b>Media-Baja</b>	Monitoreo anual; análisis fisicoquímico complementario.

<b>Sur</b>	<b>Sachaca</b>	Suministro público	0.185	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Mantener control rutinario.
<b>Norte</b>	<b>Alto Selva Alegre</b>	Suministro público	0.332	Rango aceptable	Bajo	<b>Media</b>	Continuar monitoreo y control técnico.
<b>Norte</b>	<b>Yanahua</b>	Suministro público	0.2175	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Sin acciones urgentes.
<b>Norte</b>	<b>Cerro Colorado</b>	Suministro público	0.1915	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Vigilancia estándar.
<b>Norte</b>	<b>Cayma</b>	Suministro público	0.169	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Sin acciones urgentes.
<b>Oeste</b>	<b>Paucarpata</b>	Suministro público	0.210	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Vigilancia rutinaria.
<b>Oeste</b>	<b>Miraflor</b>	Suministro público	0.126	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Vigilancia rutinaria.
<b>Oeste</b>	<b>Mariano Melgar</b>	Suministro público	0.149	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Sin acciones inmediatas.
<b>Oeste</b>	<b>José L. Bustamante y Rivero</b>	Suministro público	0.107	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Control anual.
<b>Subsuelo</b>	<b>Characato</b>	Agua subterránea	0.1645	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Sin intervención; monitoreo cada 2 años.
<b>Subsuelo</b>	<b>Sabandía</b>	Agua subterránea	0.1235	Rango óptimo	Muy bajo	<b>Baja</b>	Mantener control de rutina.

*Nota: Elaboración propia, datos OMS (74) (75)*

### Leyenda interpretativa

- Rango óptimo: <0,3 mg/L
- Rango aceptable: 0,3–0,5 mg/L
- Rango de riesgo de fluorosis: >0,5 mg/L  
(Criterio basado en OMS, 2022; MINSA, 2020) (75) (74)

### Síntesis interpretativa

- Solo Uchumayo (reservorio) presenta un valor claramente sobre el rango ideal, indicando necesidad urgente de intervención técnica.
- Distritos como Huayco y Congata requieren vigilancia estrecha y posible mitigación preventiva.
- En el resto de distritos, los valores son seguros para consumo humano, pero deben mantenerse los programas de control de calidad del agua.

Figura3. Mapa de prioridad de intervención por distrito según concentración de ion flúor en fuentes de agua potable y subsuelo, Arequipa 2024.



*Nota: Elaboración propia.*

El mapa muestra la distribución espacial del nivel de riesgo por concentración de flúor en el agua potable y de subsuelo en los distritos del norte, sur, este y oeste de Arequipa. Las zonas con color rojo corresponden a prioridad alta de intervención (valores superiores a 0.5 mg/L), amarillo a prioridad media (0.3–0.5 mg/L), y verde a prioridad baja (<0.3 mg/L).

### **Implicaciones de salud pública**

a) Evaluación del riesgo: Aunque la mayoría de mediciones están por debajo del límite máximo sugerido por la OMS (1,5 mg/L), la presencia de un valor promedio cercano a 0,9 mg/L en Uchumayo y otros valores cercanos o superiores a ~0,5 mg/L (Huayco, Congata) sugiere la necesidad de vigilancia. Niveles moderadamente elevados, sostenidos en el tiempo, aumentan el riesgo de fluorosis dental (especialmente en niños durante la formación dental) y, en exposiciones mucho mayores y crónicas, riesgos de fluorosis esquelética.

b) Prioridad de intervención: Desde un enfoque preventivo, las localidades con medias por encima de 0,5 mg/L (Uchumayo, Huayco, Congata; y manantial de Uchumayo en 0,5015) deben recibir prioridad para monitoreo más intenso, estudios epidemiológicos (prevalencia de fluorosis en escolares) y evaluación de alternativas de suministro.

## 2. DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó los niveles de concentración de flúor en diversas fuentes de agua destinadas al consumo humano en las zonas norte, sur, este y oeste de la ciudad de Arequipa durante el año 2024, en el contexto de un brote reportado de fluorosis dental. Los resultados obtenidos reflejan una variabilidad significativa en los niveles de flúor entre distritos y tipos de fuente, con una diferencia estadísticamente significativa (ANOVA,  $p = 0.000$ ), lo que permite establecer asociaciones relevantes con la distribución geográfica del brote.

En la zona este de Arequipa, específicamente en el distrito de Uchumayo, se identificó el nivel más elevado de flúor, con un promedio de 0.9065 mg/L en agua de reservorio, superando el umbral aceptable y clasificándose dentro del rango de riesgo de fluorosis. Este hallazgo es especialmente preocupante, dado que la fluorosis dental se ha asociado con exposiciones prolongadas a concentraciones superiores a 0.7 mg/L según la OMS, sobre todo durante la etapa de formación del esmalte dental en niños. A diferencia de Uchumayo, los distritos de Huayco y Congata presentan valores dentro del rango aceptable, con promedios de 0.531 y 0.5665 mg/L respectivamente.

En contraste, los distritos del norte y sur de Arequipa mostraron niveles homogéneos y significativamente más bajos. En el norte, todos los distritos evaluados (Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma, Alto Selva Alegre) registraron concentraciones dentro del rango aceptable (entre 0.107 y 0.332 mg/L). Aunque Alto Selva Alegre presentó el valor más alto dentro de esta región (0.332 mg/L), este aún se encuentra por debajo del umbral de riesgo.

En el sur, los valores se mantuvieron también dentro de parámetros aceptables, con un promedio máximo de 0.3005 mg/L en Tiabaya, seguido de Socabaya (0.255 mg/L) y Sachaca (0.185 mg/L). La homogeneidad en los valores y su permanencia dentro de rangos seguros indican un bajo riesgo de fluorosis en estas zonas.

Por otro lado, en el análisis de aguas de subsuelo en los distritos de Characato y Sabandía, se identificaron las concentraciones más bajas del estudio (0.1645 y 0.1235 mg/L respectivamente), evidenciando que este tipo de fuente subterránea representa una alternativa segura para el consumo humano, al menos en estos sectores.

El análisis estadístico general, resumido en la Tabla 6, confirma que existe una dispersión importante en los niveles de flúor entre distritos, con un rango que va desde 0.105 mg/L (José Luis Bustamante y Rivero) hasta 0.916 mg/L (Uchumayo). Este último distrito, además, presenta un intervalo de confianza alto (0.78579 - 1.02721), reafirmando su condición como zona crítica frente al riesgo de fluorosis. Como se menciona en estudios a nivel local, el estudio de prevalencia, severidad y los factores asociados a la fluorosis dental en escolares del colegio nacional José Domingo Zuzunaga Obando de Uchumayo-Arequipa corrobora esta problemática. La prevalencia del 67,9% de fluorosis dental entre escolares, con predominancia de grados muy leve y leve, y la alta concentración de fluoruro en el agua (1,8 ppm), ponen de manifiesto un patrón recurrente (66). A pesar de la existencia de factores de protección como el uso de fluoruros tópicos, estos no han sido suficientes para contrarrestar la exposición sistémica por vía hídrica. Este escenario es comparable al observado en regiones de China, donde la persistencia de fluorosis leve a moderada persiste a pesar de las mejoras en la calidad del agua. En consonancia con el estudio se evidencia que las regiones de China afectadas por fluorosis han experimentado una disminución significativa de los niveles de fluoruro en el agua potable tras la implementación sostenida de proyectos de mejora y defluoración del agua (61). Este hallazgo destaca la eficacia de las intervenciones a largo plazo como estrategias preventivas. Asimismo, se observó una reducción en los niveles de fluoruro urinario y en la prevalencia de fluorosis dental en niños, coincidiendo con la mejora de los sistemas de abastecimiento.

Estos resultados sugieren que la fuente de agua y la ubicación geográfica influyen significativamente en la exposición al flúor, siendo las zonas abastecidas por reservorios mal regulados, como en el caso de Uchumayo, las más vulnerables. Este patrón coincide con estudios previos en zonas andinas del Perú, donde la concentración de flúor varía ampliamente en función de factores geológicos y antrópicos, tiene una relación con el estudio en el contexto latinoamericano, como en el estudio donde se evaluó la calidad fisicoquímica del agua del lago Coatetelco y de pozos subterráneos circundantes en el centro-sur de México (64) así también la investigación sobre el impacto del consumo de agua con altas concentraciones de flúor en la salud bucal colectiva de niños y adolescentes (65) refuerzan la existencia de regiones con niveles de fluoruro en agua por encima de los estándares establecidos por la OMS (1,5 mg/L),

lo que ha generado un aumento en la prevalencia de fluorosis dental y esquelética. En particular, el caso del Municipio Baralt en Venezuela y el lago Coatetelco en México ilustran cómo la geología local y las fuentes de agua subterránea influyen directamente en la exposición poblacional. Estos datos respaldan la necesidad de una vigilancia sistemática de la calidad del agua, particularmente en zonas rurales o de difícil acceso.

Las implicancias de estos hallazgos son relevantes desde el punto de vista de salud pública. La exposición prolongada a altos niveles de flúor puede generar formas moderadas y severas de fluorosis dental, lo cual no solo afecta la estética dental sino también, en casos más graves, la estructura del esmalte o pudiendo intervenir en el desarrollo intelectual infantil así como se evidenció en un hallazgo especialmente relevante en la relación estadísticamente significativa entre la exposición al fluoruro y el nivel de inteligencia infantil. La evidencia de que los niños en áreas de alta fluorosis presentan coeficientes intelectuales más bajos en comparación con aquellos en zonas de baja exposición refuerza estos hallazgos (62), quienes observaron que un aumento en la concentración de fluoruro en el agua del grifo en Canadá se asociaba con un mayor riesgo de síntomas de TDAH, particularmente en adolescentes. Esta coincidencia entre distintos contextos geográficos subraya el potencial neurotóxico del fluoruro cuando se encuentra en concentraciones elevadas, especialmente durante etapas críticas del desarrollo infantil. Por tanto, es urgente implementar medidas como el monitoreo continuo de los niveles de flúor, el uso de tecnologías de defluorización (como filtros de alúmina activada o intercambio iónico), y campañas de educación sanitaria en las zonas identificadas como de alto riesgo.

Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas ( $p = 0.000$ ) en las concentraciones de ion flúor entre las distintas zonas geográficas de Arequipa (norte, sur, este y oeste), lo que sugiere que los valores detectados no responden a un patrón uniforme, sino que están condicionados por una combinación de factores ambientales, sociales y económicos.

Desde el punto de vista ambiental, la geología y composición del suelo juegan un papel determinante. En el distrito de Uchumayo, donde se registró la mayor concentración promedio (0.9065 mg/L), el agua proviene principalmente de reservorios alimentados por acuíferos ubicados en formaciones volcánicas y depósitos de cenizas, materiales ricos en minerales fluorados. Esta condición natural favorece la disolución del flúor

en el agua subterránea, especialmente cuando el pH es ligeramente alcalino y la temperatura favorece la solubilidad. Según estudios realizados en Arequipa (Mollebaya), la presencia de ignimbritas y tobas volcánicas incrementa el contenido natural de fluoruros en las aguas subterráneas (76).

En contraste, los distritos del norte y oeste —como José Luis Bustamante y Rivero (0.107 mg/L) y Miraflores (0.126 mg/L)— presentan las menores concentraciones, posiblemente debido a que las fuentes de agua son de suministro público, tratadas y con un origen distinto (acuíferos con menor influencia volcánica o aguas de red más diluidas). Además, estas zonas cuentan con mayor cobertura de redes de agua potable y mejor infraestructura de tratamiento, lo que reduce la exposición a fuentes naturales con alto contenido de flúor.

Los factores hidrogeológicos también influyen. Las fuentes de subsuelo, como en Characato (0.1645 mg/L) y Sabandía (0.1235 mg/L), mostraron niveles dentro del rango aceptable, lo que podría deberse a la menor interacción del agua con rocas volcánicas profundas o al mayor flujo y renovación de los acuíferos en esas zonas. Asimismo, la variabilidad de los valores —con un promedio general de 0.28341 mg/L y extremos entre 0.105 y 0.916 mg/L— refleja la influencia de parámetros locales como la profundidad de los pozos, la mineralogía del subsuelo y las condiciones climáticas (precipitación y evaporación estacional) (77) (78).

Desde el ámbito social y económico, se observa que las áreas con mayor concentración de flúor corresponden a distritos donde el acceso a servicios de tratamiento y control del agua es limitado o depende de sistemas comunales, como **Uchumayo y Congata**. En cambio, los distritos urbanos con redes públicas (Yanahuara, Cayma, Paucarpata, etc.) presentan valores bajos, lo que evidencia la influencia de la infraestructura en la calidad del agua. La desigualdad en la distribución de recursos hídricos y tecnológicos genera una brecha entre zonas urbanas y periurbanas. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la cobertura de agua tratada en zonas rurales de Arequipa es inferior al 70 %, lo que aumenta la probabilidad de consumo de fuentes no tratadas (79).

En términos socioeducativos, el nivel de conocimiento sobre los efectos del flúor y la fluorosis dental también puede influir en los patrones de consumo. Las poblaciones rurales o periurbanas, con menor acceso a información o campañas de salud bucal,

podrían no percibir los riesgos asociados a consumir agua con niveles ligeramente elevados. Estudios realizados en distritos de Lima y Arequipa reportan que el desconocimiento sobre la fluorosis y el uso limitado de sistemas de purificación doméstica contribuyen a una exposición sostenida (80) (81).

Finalmente, los factores económicos condicionan la capacidad de respuesta frente a este problema. La implementación de tecnologías de remoción de flúor, como la ósmosis inversa o la adsorción con alúmina activada, requiere inversión y mantenimiento, lo que limita su aplicación en comunidades de bajos recursos. Esta situación sugiere que las variaciones de concentración observadas no solo tienen un origen geogénico, sino también una raíz estructural asociada a la desigualdad social y la gestión ambiental del agua.

En conjunto, los resultados muestran que el exceso de flúor en zonas específicas como Uchumayo responde a la interacción de condiciones geológicas favorables para la liberación natural del elemento y factores socioeconómicos que dificultan su control. Por ello, se recomienda fortalecer el monitoreo permanente de las fuentes subterráneas, mejorar los sistemas de tratamiento en distritos periurbanos y promover la educación sanitaria para reducir los riesgos de fluorosis dental en la población.

Entre las limitaciones del estudio, se encuentra el número reducido de muestras por distrito y la falta de datos sobre otras posibles fuentes de exposición al flúor (por ejemplo, pasta dental, alimentos procesados o suplementos fluorados). Sin embargo, los resultados ofrecen una base sólida para investigaciones futuras y para la intervención del sistema de salud local.

## **CONCLUSIONES**

### **PRIMERA**

Se determinó que el nivel de concentración de flúor en el agua potable, que consume la población del Norte de Arequipa: Yanahuara, Cerro Colorado, Cayma, Alto Selva Alegre y del Oeste: Paucarpata, Miraflores, M Melgar, JLB y R, y Sur de Arequipa: Socabaya, Hunter, Tiabaya y Sachaca. existen diferencias significativas en los niveles de concentración de flúor en el agua destinada al consumo humano.

### **SEGUNDA**

Se determinó que el nivel de concentración de flúor del distrito de Uchumayo, ubicado al este de la ciudad, presenta un valor promedio de 0.9065 mg/L de flúor, superando el rango considerado aceptable por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo cual lo sitúa dentro de un nivel de riesgo para el desarrollo de fluorosis dental en la población expuesta.

### **TERCERA**

Se determinó que el nivel de concentración de flúor en el agua, de subsuelo, que consume la población de Characato y Sabandía de la Ciudad de Arequipa, que se abastecen principalmente de aguas subterráneas, presentan las concentraciones más bajas de flúor, ubicándose dentro del rango seguro establecido por organismos internacionales, lo que confirma la seguridad de estas fuentes de agua.

### **CUARTA**

Los resultados obtenidos permiten establecer una relación directa entre el consumo de agua con altos niveles de flúor y la incidencia de fluorosis dental, resaltando la necesidad de implementar medidas preventivas y correctivas en zonas vulnerables como Uchumayo, con el fin de proteger la salud pública y evitar futuros brotes de esta enfermedad.

## RECOMENDACIONES

1. Monitoreo permanente del agua del Reservorio Uchumayo, El Rosario, Pueblo Libre; Establecer un sistema de vigilancia constante de los niveles de flúor en el agua de consumo humano, con especial énfasis en distritos donde se han identificado concentraciones elevadas, como Uchumayo.
2. Implementación de tecnologías de defluorización: En zonas de alto riesgo, se recomienda instalar sistemas de tratamiento del agua que reduzcan la concentración de flúor, como filtros de alúmina activada, carbón óseo o sistemas de ósmosis inversa.
3. Educación y concientización: Realizar campañas de sensibilización dirigidas a la población sobre los efectos del exceso de flúor en la salud, especialmente en niños, y promover buenas prácticas como el uso moderado de pastas dentales fluoradas.
4. Intervención de salud pública: Implementar programas de detección temprana de fluorosis dental en centros de salud y escuelas de los distritos más afectados (Uchumayo), con enfoque preventivo y correctivo.
5. Investigación futura: Profundizar en estudios que analicen otras fuentes de exposición al flúor (como dieta, productos dentales y medicamentos), así como factores hidrogeológicos y antrópicos que puedan incidir en la variación de los niveles de flúor en el agua.
6. Normativa local: Promover la actualización y cumplimiento de normas municipales (Uchumayo) o regionales (Arequipa) relacionadas con la calidad del agua, alineadas con los estándares nacionales e internacionales.

### **Recomendaciones A corto plazo (acción prioritaria):**

1. Monitoreo focalizado en Uchumayo, Huayco y Congata: muestreos mensuales por 12 meses (incluyendo estaciones) y mediciones concomitantes de pH, conductividad, dureza, profundidad de extracción y datos climáticos.
2. Vigilancia epidemiológica en escolares: examen odontológico estandarizado en escuelas de las zonas con valores  $\geq 0,5$  mg/L para estimar prevalencia de fluorosis.
3. Comunicación de riesgos y educación comunitaria: campañas con mensajes claros sobre consumo de agua, riesgos y medidas domésticas temporales (por ejemplo, evitar agua de cierta fuente para consumo infantil hasta evaluar).

#### **Recomendaciones a mediano plazo (tecnologías y gestión):**

4. Evaluar e implementar soluciones de tratamiento adaptadas: priorizar unidades comunitarias de tratamiento en Uchumayo (por ejemplo, plantas de ósmosis inversa comunitaria o sistemas de adsorción por alúmina activada/bone char) y alternativas de mezcla de fuentes para diluir concentraciones. Evaluar costo-beneficio y sostenibilidad.
5. Mejorar gestión y monitoreo institucional: coordinar con la municipalidad, ANA y MINSA para inclusión de estas zonas en programas de control de la calidad del agua.

#### **Recomendaciones a largo plazo (política y planificación):**

6. Mapeo hidrogeoquímico y planificación territorial: integrar los datos en GIS con mapas de litología, uso de suelo y extracción para orientar obras de infraestructura y protección de acuíferos.
7. Políticas de priorización de inversión: destinar recursos para provisión de agua segura en distritos periurbanos con riesgo permanente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADA. AMERICA DENTAL ASSOCIATION. [Online].; "2018" [cited 2024 05]. Available from: <https://www.mouthhealthy.org/es-MX/az-topics/f/fluoride>.
2. Calderón Z, Abanto J, Oliveira GS, Haddad AE, Bonecker M. Does fluorosis have an impact on Peruvian children's oral health related quality of life? *Revista Gaúcha de Odontologia*. 2021 febrero; 69(003.).
3. Environmental Protection Agency (US). Fluoride: exposure and relative source contribution analysis. Health and ecological criteria division office of water. In. US; 2010. p. 210.
4. Vázquez T. "Endemic Fluorosis in. México". *Fluoride*. 1997; 30(4)(pp 233-239).
5. Arnold J, Likins R, Russell A, Scott D. Fifteenth year of the Grand Rapids Fluoridation Study. *Journal American Dental Association*. 1962; 65(pp 780-785).
6. Department of Health EaW(. Public Health Service drinking water standards, revised 1962. Public Health Service, Department of Health, Education, and Welfare. 1962; 956.
7. Services DoHaH. Public Health Service recommendation for fluoride concentration in drinking water for the prevention of dental caries. *Public Health Reports*. 2015; 130(318-331).
8. Villena R. Concentración natural de fluoruro en las aguas de consumo de Lima Metropolitana y Callao. 1988. Universidad Peruana Cayetano Heredia Tesis.
9. Ambiental DgdS. Declara la obligación a las empresas procesadoras de sal de consumo a la adición de flúor a este producto. 1984. Decreto Supremo N° 015-84-SA.
10. Resolución Ministerial N° 0131-85- SA/DVM. 1985. Aprueba las normas de adición del flúor a la sal de consumo humano..
11. Health OPA. The Use of Salt Fluoridation to Prevent Dental Caries. Promoting Oral Health. 2005.
12. Ministerio de salud Peru. Norma Técnica Sanitaria para la adición de Fluoruros en Cremas Dentales, Enjuagatorios y otros productos. 2001..
13. Peru COd. Convenio Interinstitucional entre el Colegio Odontológico del Perú y la empresa Colgate Palmolive Perú. S.A. Lima. Noviembre de 1995..
14. COP. Análisis del convenio entre el Colegio Odontológico del Perú y la empresa Colgate Palmolive del Perú. Informe de los miembros de la Comisión de Salud Bucal del COP. 2005..
15. GREJ COdP. Convenio Marco Interinstitucional entre el Colegio Odontológico del Perú y el Gobierno Regional de Junín. 2013. Resolución Ejecutiva Regional N° 426 – 2013 –GR- JUNIN/PR.

16. Descriptores de Ciencias de la Salud - DeCS. [Online].; 2013 [cited 2024 06]. Available from: <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver/>.
17. Febrer I, Carretero L, al. e. Cómo entender un análisis de coste-efectividad. *Piel*. 2005; 20(4):172-6.
18. fluor de aplicacion profesional Universidad de granada. [Online]. [cited 2019 12]. Available from: <https://www.ugr.es/~pbaca/p7fluordeaplicacionprofesional/02e60099f4106911f/prac07.pdf>.
19. Centers for Disease Control and Prevention. Public Health Service report on fluoride benefits and risks.. *JAMA* - [PubMed Abstract]. 1991;; p. 266(8):1061–1067.
20. Sal Roche, columna del nutriólogo. [Online].; 2018 [cited 2024 05]. Available from: <https://salroche.com/blogs/la-columna-del-nutriologo/para-que-sirve-la-sal-fluorada>.
21. Ministerio de salud del Peru. [Online].; 2005 [cited 2024 06]. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/42191-minsa-promueve-fluoracion-de-sal-para-reducir-las-caries-dentales-en-la-poblacion>.
22. The Alliance for a Cavity-Free Future. [Online]. [cited 2024 05 30]. Available from: <https://www.acffglobal.org/es/fluoracion-de-la-leche/>.
23. Yeung C, Hitchings J, Threlfall A, Tickle M, Glenny A. Fluoridated milk for preventing dental caries. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005 July 23; 3.
24. Tubert-Jeannin S, Auclair C, Amsallem E, Tramini P, Gerbaud L, Ruffieux C, et al. *Cochrane*. [Online].; 2011 [cited 2024 05 30]. Available from: [https://www.cochrane.org/es/CD007592/ORAL\\_suplementos-de-fluor-comprimidos-gotas-tabletas-o-goma-de-mascar-para-la-prevencion-de-la-caries](https://www.cochrane.org/es/CD007592/ORAL_suplementos-de-fluor-comprimidos-gotas-tabletas-o-goma-de-mascar-para-la-prevencion-de-la-caries).
25. Driscoll G, Nowjack LS, Heifetz S. A comparison of the caries preventive effects of fluoride mouthrinsing, fluoride tablets and both procedures combined: final results after eight years. *J Public Health Dent*. 1992; 52(111-6).
26. Salud Md. Ministerio de Salud. Aprueban Norma Técnica Sanitaria para la Adición de Fluoruros en Cremas Dentales, Enjuagatorios y otros productos utilizados en la Higiene Bucal. [Online].; 2001 [cited 2024 05 22]. Available from: [http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/RESOLUCIONMINISTERIALN454-2001-SA\\_DM.pdf](http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/RESOLUCIONMINISTERIALN454-2001-SA_DM.pdf).
27. Salud Md. Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública, Ministerio de Salud. [Online].; 2017 [cited 2024 05]. Available from: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4195.pdf>.
28. Dermofarmacia. Elsevier. [Online].; 2001 [cited 2024 05]. Available from: <https://www.elsevier.es/pt-revista-farmacia-profesional-3-articulo-colutorios-enjuagues-elixires-bucales-higiene>



42. Bordoni N, Rojas A, Castillo R. La Salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual. In Bordoni N, Rojas A, Castillo R. La Salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual. Buenos Aires: Médica Panamericana.; 2010. p. 34.
43. Arrieta K, González F. Exploración del riesgo para fluorosis dental en niños de las clínicas odontológicas. Universidad de Cartagena. Revista Salud Pública. 2011; 13.
44. Ramírez B, Franco A, Gómez A, Corrales A. Fluorosis dental en escolares de instituciones educativas privadas. Medellín, Colombia, 2007. Rev Fac Odontol de Antioquia. 2010; 21(2).
45. Ruiz O, al. e. Estudio del contenido natural de flúor en el agua de consumo humano de los bastecimientos del Ecuador. ministerio de salud Ecuador. 1996.
46. SEDAPAR. sedapar. [Online].; 2018 [cited 2024 05]. Available from: <https://www.sedapar.com.pe/portal-doctor/el-agua/produccion-del-agua-potable/>.
47. Trujillo C, Arias-Barahona H, Zenteno J. Elementos del geosistema de las canteras de sillar, Añashuayco Arequipa. Universidad Nacional San Agustín. [Online].; 2008 [cited 2024 mayo 22]. Available from: <https://carlostrujillove.blogspot.com/2008/12/geosistema-aashuayco.html>.
48. Peru Gd. Plataforma Unica Digital del Estado Peruano. [Online].; 2024 [cited 2024 Mayo 23]. Available from: <https://www.gob.pe/12295-rol-de-las-municipalidades-en-relacion-con-las-juntas-administradoras-de-servicios-de-saneamiento-jass>.
49. Edmunds W, Smedley P. Fluoride in natural waters. Essentials of Medical Geology. 2nd ed. London: Elsevier Academic. 2013;(311-36).
50. Fawell J, Bailey K, Chilton J, Dahi E, Magara. Fluoride in Drinking-water. Geneva: World Health Organization. 2006.
51. Rango T, Bianchini G, Scheibler F, Tiberi M. Fluoride contamination in groundwater: A major challenge. Expo Health. 2013; 5(2)(87-95).
52. Gaciri S, Davies T. The occurrence and geochemistry of fluoride in some natural waters of Kenya. J Hydrol. 1993; 143 (1-2)(395-412).
53. Mohapatra M, Anand S, Mishra B, Giles D, Singh P. Review of fluoride removal from drinking water. Environ Manage. 2009; 91(1)(67-77).
54. Paredes-Arce M, Palomino-Camargo C. Evaluación de la concentración de flúor en agua de consumo humano en zonas rurales de Arequipa. Rev Peru Salud Pública. 2019; 36(3)(45-52).
55. Cárdenas D, Valencia R, Gutiérrez B. Contenido de flúor en aguas subterráneas de la región sur del Perú. Rev Ciencias Ambientales. 2018; 14(1)(23-31).

56. Frant M, Ross J. Electrode for sensing fluoride ion activity in solution. *Science*. 1966; 154 (3756)(1553-5).
57. Clesceri L, Greenberg A, Eaton A. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington: American Public Health Association. 1998; 4(69-72).
58. Roux A, Vallée G, Bénard P. Fluoride determination using ion selective electrodes. *Talanta*. 1995; 42(3)(405-11).
59. Organization WH. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva: WHO; 2017.
60. Toledo M. Mettler Toledo. [Online].; 2025 [cited 2025 mayo 5]. Available from: <https://www.mt.com>.
61. Wang F, Li Y, Tang D, Zhang J. Análisis epidemiológico de las áreas de fluorosis de tipo agua potable y el impacto de la fluorosis en la salud de los niños en los últimos 40 años en China. *Environ Geochem Health*. 2023 diciembre; 45(12)(9925-9940).
62. Riddell J, Malin A, Flora D, McCague H, Christine T. Asociación de las concentraciones de fluoruro de agua y fluoruro urinario con el trastorno por déficit de atención con hiperactividad en jóvenes canadienses. *Hugh Mc Environment Internacional*. 2019 Diciembre; 133(105190).
63. Gallegos S, Martínez Y, Serna C, Pérez A, Aparecido J, Ortiz J. Concentración de flúor y metales pesados en aguas embotelladas: medidas de barrera frente a caries dental y fluorosis 2019. *Revista Española de Salud Pública*. 2019 Diciembre;(17).
64. De Roy P, García O, Sekar S, Vargas G, Sánchez J. Evaluación del agua del lago Coatetelco en el centro-sur de México y pozos subterráneos circundantes para beber y riego, y los posibles riesgos para la salud. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Nov; 30(54):(115430-115447.).
65. Castellano J, Santana Y, Quintero T, Fuenmayor G, Suárez I, Rincón M. Flúor en el agua: un problema de salud bucal colectiva. *Investigación Clínica Universidad de Zulia*. 2017; 58(744).
66. Moya Z. Repositorio de Tesis UCSM. [Online].; 2015 [cited 2024 05 13]. Available from: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/813b45d7-a794-44e5-9750-19081d5ecd29>.
67. PA. SMA. Prevalencia de fluorosis dental en escolares de la I.E. Peruarbo, distrito de Cerro Colorado, Arequipa – 2015 [tesis]. 2015. Disponible en: [repositorio.ucsm.edu.pe](https://repositorio.ucsm.edu.pe).
68. MA. AG. Relación entre la concentración de flúor en el agua potable y la fluorosis dental en escolares del distrito de Chiguata, Arequipa – 2018 [tesis]. 2018. Disponible en: [repositorio.ucsm.edu.pe](https://repositorio.ucsm.edu.pe).
69. FL. AL. Prevalencia de fluorosis dental y su relación con caries en escolares de la I.E. N.º 40074 José Luis Bustamante y Rivero, Sachaca – Arequipa, 2019 [tesis]. 2019. Disponible en: [repositorio.uap.edu.pe](https://repositorio.uap.edu.pe).

70. DC. ER. Concentración de flúor en agua de subsuelo y fluorosis dental en escolares del P.J. Horacio Zeballos, Socabaya – Arequipa, 2019 [tesis]. 2019. Disponible en: [repositorio.ucsm.edu.pe](http://repositorio.ucsm.edu.pe).
71. SD. BH. Fluorosis dental en niños de los anexos Cochate, El Monte y La Real, distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, 2023 [tesis]. 2023. Disponible en: [repositorio.ucsm.edu.pe](http://repositorio.ucsm.edu.pe).
72. JP. DV. Concentración de flúor en el agua potable y fluorosis dental en escolares del distrito de Tiabaya, Arequipa – 2017 [tesis]. 2017. Disponible en: [repositorio.uap.edu.pe](http://repositorio.uap.edu.pe).
73. Mamani Cahuata LD MPJ. Relación entre la concentración de flúor en fuentes de abastecimiento y fluorosis dental en escolares de la ciudad de Arequipa [tesis].. 2019. Disponible en: [alicia.concyt](http://alicia.concyt).
74. (OMS) OMDIS. Guías para la calidad del agua potable. 4.<sup>a</sup> edición. 2022..
75. (MINSA). MdSdP. Estándares de calidad ambiental para agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM). Lima. 2020..
76. Cahui Quispe DR. Repositorio de tesis de la UCSM. [Online].; 2024 [cited 2025 11 05]. Available from: [https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/f0f5b832-a7dd-49c9-804d-d0d37a4a108b?utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/f0f5b832-a7dd-49c9-804d-d0d37a4a108b?utm_source=chatgpt.com).
77. (WHO) WHO. Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: WHO; 2022..
78. Gómez J, Castañeda R, Salazar C. Hydrogeochemical assessment of fluoride in volcanic aquifers of the Andean region of Peru. *J Environ Sci Health*. 2020; 55(10)(1223-33).
79. (ANA) ANdA. Informe sobre la calidad del agua para consumo humano en el departamento de Arequipa. Lima: ANA, Lima; 2022.
80. Reinoso C, Cárdenas M, Delgado A. Prevalencia de fluorosis dental y concentración de flúor en agua potable en escolares de Lima Metropolitana. *Rev Estomatol Herediana*. 2021; 31(2)(98–104.).
81. (MINSA) MdSdP. Guía técnica: Concentración de flúor en agua de consumo humano y salud bucal. 2020..
82. Harris N. *Odontología Preventiva Primaria*; 2004.
83. Centers for Disease Control and Prevention. Public Health Service report on fluoride benefits and risks. *JAMA*. 1991;; p. 266(8):1061–1067.
84. America Dental Association. ADA. [Online]. [cited 2024 05]. Available from: <https://www.mouthhealthy.org/es-MX/az-topics/f/fluoride>.
85. Arrieta K, González F. Exploración del riesgo para fluorosis dental en niños de las clínicas odontológicas. *Universidad de Cartagena. Revista Salud Pública*. 2011; 13.



# **ANEXOS**

**Anexo1. MODELO DE FICHA LABORATORIAL.**

MINISTERIO DE SALUD

Dirección General de Salud Ambiental

N° Estación de Muestreo:

(DIGESA)

Código de Laboratorio: \_\_\_\_\_

**LABORATORIO FISICO – QUIMICO**

Solicitante/Programa:

Origen de la Fuente:

Punto de Muestreo:

Localidad:

Fecha y Hora de Muestreo:

Distrito:

Fecha y Hora de Llegada Lab.:

Provincia:

Cantidad de Muestra:

Departamento:

Muestreador:

Preservada: SI NO

Aguas: \_\_\_\_\_ Sólidos: \_\_\_\_\_ Otros:

Observaciones/Parámetros:

Niveles de Flúor en Agua

**Anexo2. SOLICITUD DE PERMISO AL RESERVORIO JAAP**

SEÑOR: FELIX CALDERON ARANIBAR

09, Setiembre 2024

VICEPRESIDENTE

PRESENTE.

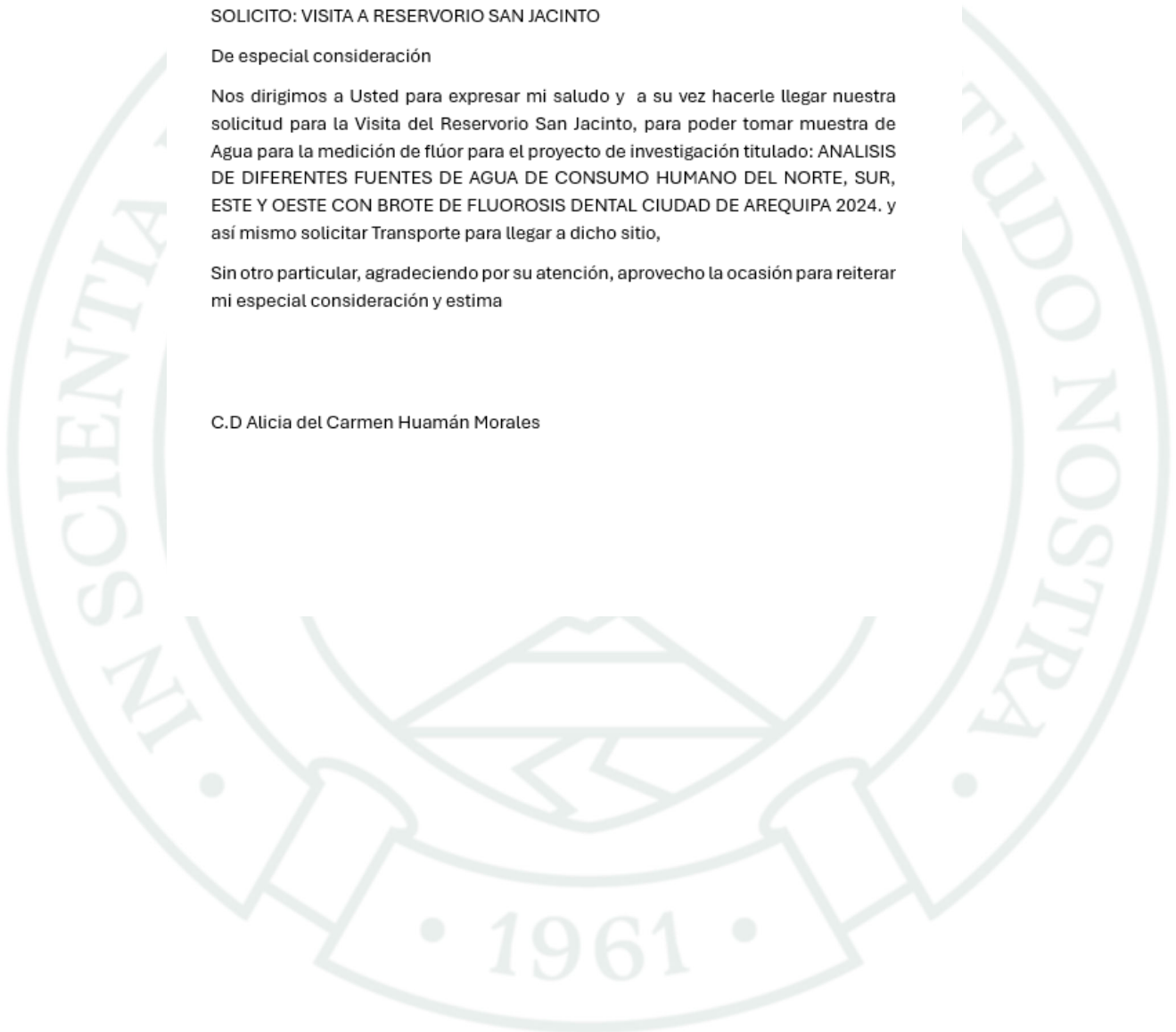
SOLICITO: VISITA A RESERVORIO SAN JACINTO

De especial consideración

Nos dirigimos a Usted para expresar mi saludo y a su vez hacerle llegar nuestra solicitud para la Visita del Reservoirio San Jacinto, para poder tomar muestra de Agua para la medición de flúor para el proyecto de investigación titulado: ANALISIS DE DIFERENTES FUENTES DE AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL NORTE, SUR, ESTE Y OESTE CON BROTE DE FLUOROSIS DENTAL CIUDAD DE AREQUIPA 2024. y así mismo solicitar Transporte para llegar a dicho sitio,

Sin otro particular, agradeciendo por su atención, aprovecho la ocasión para reiterar mi especial consideración y estima

C.D Alicia del Carmen Huamán Morales



**Anexo3. MATRIZ DE SISTEMATIZACIÓN**

<b>DISTRITO</b>	<b>Fuentes de agua</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PH</b>	<b>Flúor 1</b>	<b>Flúor 2</b>	<b>Promedio</b>	<b>Fecha</b>
Sabandía	Subsuelo	SAB1	7.29	0.075	0.080	0.0775	27/06/2024
José L. Bustamante	Suministro público	JLB1	7.95	0.109	0.105	0.1070	27/06/2024
José L. Bustamante	Suministro público	JLB2	7.87	0.131	0.138	0.1345	27/06/2024
Characato	Subsuelo	CHA1	8.37	0.123	0.130	0.1265	27/06/2024
Characato	Subsuelo	CHA2	7.93	0.158	0.158	0.1580	27/06/2024
Miraflores	Suministro público	MIR1	7.92	0.139	0.139	0.1390	27/06/2024
Miraflores	Suministro público	MIR2	7.85	0.123	0.129	0.1260	27/06/2024
Miraflores	Suministro público	MIR3	8.03	0.139	0.140	0.1395	27/06/2024
Alto Selva Alegre	Suministro público	ASA	7.82	0.332	0.332	0.3320	27/06/2024
Mariano Melgar	Suministro público	MME	8.12	0.148	0.150	0.1490	27/06/2024
Cayma	Suministro público	CAY	7.87	0.168	0.170	0.1690	27/06/2024
Yanahuara	Suministro público	YAN	8.13	0.215	0.220	0.2175	27/06/2024
Uchumayo	Reservorio Jaas	UCH	8.15	0.594	0.600	0.5970	27/06/2024
Cerro Colorado	Suministro público	CC	7.96	0.190	0.193	0.1915	27/06/2024
Huayco	Reservorio Jaas	HYC	8.50	0.608	0.610	0.6090	27/06/2024
Cercado	Suministro público	CRD	8.11	0.243	0.243	0.2430	27/06/2024
Paucarpata	Suministro público	PRP	8.05	0.215	0.205	0.2100	27/06/2024
Socabaya	Suministro público	SOC	8.34	0.259	0.251	0.2550	27/06/2024
Sachaca	Suministro público	SCH	8.39	0.375	0.378	0.3765	27/06/2024
Triunfo	Reservorio	TRF	8.34	0.531		0.5310	27/06/2024
Congata	Rervorio JAPACEV	CGT1	8.71	0.452	0.454	0.4530	27/06/2024
Congata	Rervorio JAPACEV	CGT2	8.58	0.481	0.480	0.4805	27/06/2024
Congata	Suministro público	CGT3	8.46	0.353	0.350	0.3515	27/06/2024

Congata	Rervorio JAPACEV	CGT4	8.31	0.543	0.590	0.5665	27/06/2024
Congata	Rervorio JAPACEV	CGT5	8.11	0.243	0.244	0.2435	27/06/2024
Congata	Suministro público	CGT6	8.74	0.243	0.243	0.2430	27/06/2024
Congata	Suministro público	CGT7	8.41	0.275	0.190	0.2325	27/06/2024
Congata	Rervorio JAPACEV	CGT8	8.50	0.452		0.4520	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB1	8.50	0.621	0.621	0.6210	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB2	8.50	0.556	0.500	0.5280	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB3	8.50	0.531	0.540	0.5355	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB4	8.52	0.608	0.610	0.6090	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB5	8.52	0.581	0.590	0.5855	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB6	8.55	0.650	0.660	0.6550	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB7	8.41	0.650	0.650	0.6500	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB8	8.52	0.679	0.701	0.6900	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB9	8.44	0.710	0.715	0.7125	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB10	8.45	0.726	0.726	0.7260	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB11	8.42	0.621	0.630	0.6255	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB12	8.52	0.650	0.650	0.6500	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB13	8.52	0.679	0.690	0.6845	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB14	8.50	0.635	0.640	0.6375	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB15	8.08	0.293	0.310	0.3015	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB16	8.04	0.695	0.710	0.7025	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB17	8.50	0.777	0.780	0.7785	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB18	8.03	0.743	0.750	0.7465	27/06/2024
Reino de Bélgica	Reservorio Jaap	RB19	8.35	0.635	0.650	0.6425	27/06/2024

José A. Sucre	Suministro público	JAS1	7.90	0.215	0.218	0.2165	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS2	8.04	0.215	0.215	0.2150	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS3	8.08	0.229	0.300	0.2645	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS4	8.08	0.158	0.158	0.1580	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS5	8.09	0.243	0.243	0.2430	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS6	8.06	0.168	0.170	0.1690	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS7	8.06	0.275	0.280	0.2775	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS8	8.01	0.229	0.227	0.2280	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS9	7.97	0.275	0.271	0.2730	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS10	8.14	0.511	0.516	0.5135	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS11	8.12	0.293	0.289	0.2910	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS12	8.15	0.399	0.389	0.3940	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS13	8.03	0.312	0.316	0.3140	27/06/2024
José A. Sucre	Suministro público	JAS14	8.10	0.293	0.289	0.2910	27/06/2024
Colegio SM	Reservorio Jaas	COL1	8.78	0.520	0.525	0.5225	27/06/2024
Colegio RB	Reservorio Jaap	COL2	8.42	0.777	0.777	0.7770	27/06/2024
Colegio JAS	Suministro público	COL3	8.06	0.353	0.358	0.3555	27/06/2024
Colegio AM	Reservorio Jaas	COL4	8.49	0.635	0.625	0.6300	27/06/2024
Colegio JRV	Suministro público	COL5	8.02	0.293	0.290	0.2915	27/06/2024
Sabandía	Subsuelo	SBD1	8.04	0.124	0.123	0.1235	5/09/2024
Jose L.Bustmante	Suministro público	JLB1	7.92	0.172	0.168	0.1700	5/09/2024
Jose L.Bustmante	Suministro público	JLB2	7.92	0.179	0.174	0.1765	5/09/2024
Miraflores	Suministro público	MIR1	8.05	0.183	0.175	0.1790	5/09/2024
cerro colorado	Suministro público	CC1	8.06	0.195	0.164	0.1795	5/09/2024
Cerro Colorado	Suministro público	CC2	8.04	0.185	0.166	0.1755	5/09/2024

Paucarpata	Suministro público	PRP1	8.21	0.164	0.167	0.1655	5/09/2024
paucarpata	Suministro público	PRP2	8.01	0.156	0.160	0.1580	5/09/2024
Characato	Subsuelo	CHR1	8.19	0.136	0.123	0.1295	5/09/2024
Characato	Subsuelo	CHR2	8.45	0.166	0.163	0.1645	5/09/2024
M Melgar	Suministro público	MMG1	8.17	0.177	0.173	0.1750	5/09/2024
Cercado	Suministro público	CER1	8.13	0.156	0.154	0.1550	5/09/2024
Tiabaya	Suministro público	TBY1	7.98	0.286	0.315	0.3005	5/09/2024
Tiabaya	Suministro público	TBY2	7.86	0.264	0.283	0.2735	5/09/2024
Sachaca	Suministro público	SCH1	8.09	0.165	0.176	0.1705	5/09/2024
Sachaca	Suministro público	SCH2	8.14	0.190	0.180	0.1850	5/09/2024
Cayma	Suministro público	CAY1	8.04	0.181	0.173	0.1770	5/09/2024
Yanahuara	Suministro público	YAN 1	7.84	0.180	0.168	0.1740	5/09/2024
Uchumayo	Reservorio Jaap	UCH1	8.30	0.916	0.897	0.9065	5/09/2024
Uchumayo	Reservorio Jaap	UCH2	8.26	0.789	0.824	0.8065	5/09/2024
Uchumayo	Reservorio Jaap	UCH3	8.31	0.633	0.582	0.6075	5/09/2024
Congata	Reservorio Jaas	CGT1	7.87	0.389	0.411	0.4000	5/09/2024
Rio Regadio	Suministro público	RR1	8.31	0.218	0.239	0.2285	5/09/2024
Rio Regadio	Reservorio Jaas	RR2	8.41	0.634	0.621	0.6275	5/09/2024
Rio Regadio	Suministro público	RR3	8.27	0.203	0.199	0.2010	5/09/2024
Huayco	Reservorio Jaas	HYC1	8.32	0.532	0.530	0.5310	5/09/2024
Triunfo	Suministro público	TRF1	8.03	0.176	0.154	0.1650	5/09/2024
Pozo Manantial 1	Manantial	PM1	8.06	0.503	0.500	0.5015	5/09/2024
Pozo Manantial	Manantial	PM2	7.70	0.500	0.500	0.5000	5/09/2024
Pozo Manantial	Manantial	PM3	8.43	0.498	0.499	0.4985	5/09/2024
Pozo Manantial	Manantial	PM4	8.22	0.500	0.503	0.5015	5/09/2024

Pozo Manantial	Manantial	PM5	8.32	0.489	0.498	0.4935	5/09/2024
Pueblo Libre	Reservorio Jaap	PBL1	7.94	0.839	0.841	0.8400	5/09/2024
Pueblo Libre	Reservorio Jaap	PBL2	8.04	0.218	0.220	0.2190	5/09/2024
Pueblo Libre	Reservorio Jaap	PBL3	8.03	0.584	0.590	0.5870	5/09/2024
Cural	Reservorio Jaas	CUR1	8.23	0.565	0.570	0.5675	5/09/2024
Alonso	Reservorio Jaap	ALON1	8.20	0.707	0.706	0.7065	5/09/2024
Colegio Santa Maria	Reservorio Jaas	COL1	7.93	0.407	0.436	0.4215	5/09/2024
Colegio Reino de Belgica	Reservorio Jaap	COL2	8.08	0.877	0.973	0.9250	5/09/2024
Colegio Alma mater	Reservorio Jaas	COL3	8.37	0.523	0.541	0.5320	5/09/2024
Colegio Sta Rosa de Viterbo	Suministro público	COL4	8.09	0.203	0.209	0.2060	5/09/2024
Leche 1	Establo	LEC1	6.73	0.049		0.0490	5/09/2024
Leche 2	Establo	LEC2	6.74	0.040		0.0400	5/09/2024
Alonso		LEC1*		0.019		0.0190	5/09/2024
		LEC2*		0.022		0.0220	5/09/2024
Manantial San Jacinto	Manantial	MSJ1	7.39	0.925	0.947	0.936	20/09/2024
Manantial San Jacinto	Manantial	MSJ2	7.48	0.858	0.854	0.856	20/09/2024

**Anexo4. FOTOGRAFIAS**

- **Recolección de agua de distintas zonas casas, colegio**

Huayco



Sabandia



Yanahuara



Characato



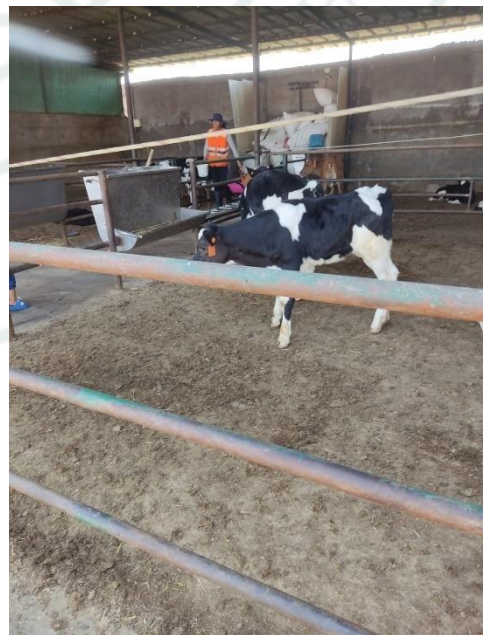
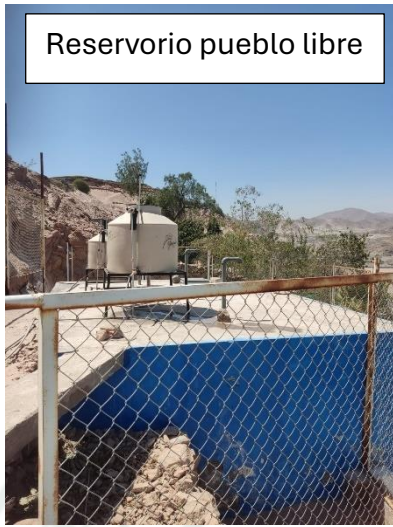
Congata I.E Alma Mater



Uchumayo



- **Recolección de agua en la zona de pueblo libre**

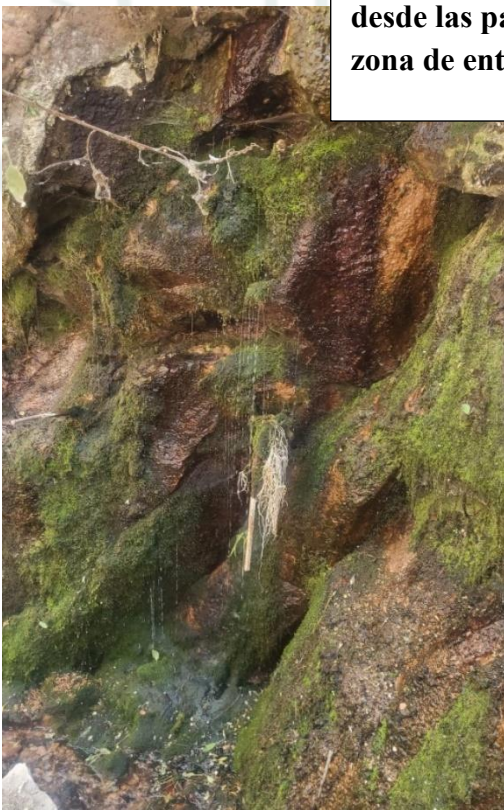


- **Recolección de agua en el manantial del huayco**  
Este manantial es el que alimenta a la zona del huayco y el triunfo





**Se tomo muestra de agua de puntos distintos del manantial desde las paredes, hasta la zona de entrada al reservorio.**

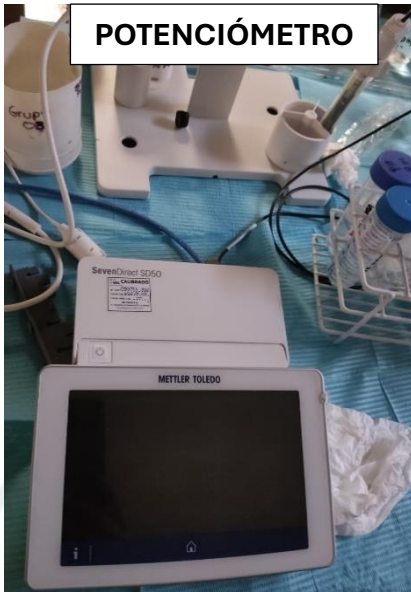


- **Recolección del reservorio de uchumayo (san jacinto)**



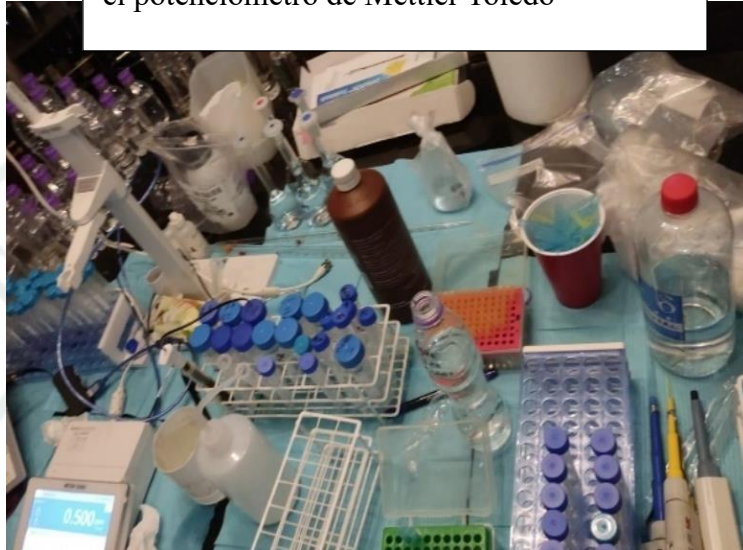


- **Materiales para medición de agua**



- **PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MEDICION DE FLUOR**

1. Se alista todos los materiales previos a la realización de la medición de ion de flúor con el potenciómetro de Mettler Toledo



2. Se limpia con agua desionizada los matraces para así eliminar cualquier ion que pueda quedar adentro.



3. Se prepararon soluciones estándar a partir de una solución patrón de fluoruro de 1000 mg/L. A partir de esta solución madre se elaboraron cinco disoluciones estándar con concentraciones de 0,1; 0,5; 1,0; 5,0 y 10,0 mg/L, utilizadas para la construcción de la curva de calibración.



Posteriormente, a cada solución estándar se le añadió solución TISAB II en una proporción 1:1, con la finalidad de controlar la fuerza iónica del medio y minimizar posibles interferencias durante la medición del ion fluoruro. Luego de homogenizar las soluciones mediante agitación, se procedió a realizar la calibración y posterior verificación potenciométrica del equipo.

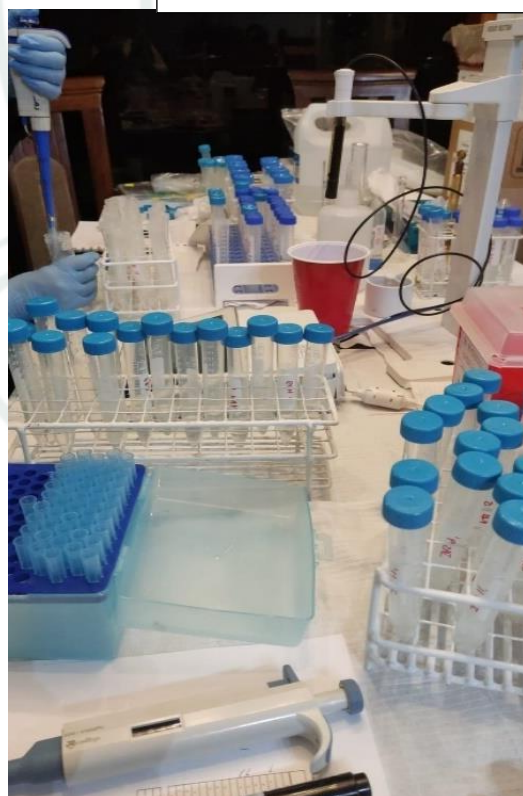


4. Se alista el Agua para poder distribuirla en los tubos de 10 ml. Se duplicarán los tubos para tener un margen de error mínimo

6. Con una micropipeta se va a distribuir en los tubos de 10 ml, tomando la cantidad de 2.5 ml de agua y agregándole 0.5 ml de TISAB



7. Luego se procederá a la lectura con el potenciómetro, después de cada lectura se deberá lavar el cabezal del ION con agua desionizada





8. Las lecturas obtenidas fueron registradas automáticamente por el equipo y posteriormente exportadas a hojas de cálculo de Microsoft Excel para su procesamiento y análisis. Debido a que cada muestra de agua fue analizada por duplicado, se obtuvieron dos valores de concentración de fluoruro por muestra; en consecuencia, para el análisis final se consideró el valor promedio de ambas mediciones.

