



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, 6 de diciembre 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Martha Lucia Solano Moreno, con C.C. No. 52.779.432

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Formulación un plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada por el acueducto de la vereda El Juncal, Palermo, Huila presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería y gestión ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Martha Lucia Solano Moreno

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Solano Moreno	Martha Lucia

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Delgado	Daniel Ricardo
Cerquera	Nestor

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en ingeniería y gestión ambiental

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría y gestión ambiental

CIUDAD:

AÑO DE PRESENTACIÓN:

NÚMERO DE PÁGINAS:

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros x

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.uscc.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Agua</u>	<u>wather</u>	6. <u>Sorcion</u>	<u>sorption</u>
2. <u>Calidad</u>	<u>quality</u>	7. <u>Moringa</u>	<u>Moringa</u>
3. <u>Flúor</u>	<u>fluoridation</u>	8. <u>Hueso calcinado</u>	<u>calcined bone</u>
4. <u>Resolución</u>	<u>resolution</u>	9. <u>Concentración</u>	<u>concentration</u>
5. <u>decreto</u>	<u>decree</u>	10. <u>Acueducto</u>	<u>aqueduct</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

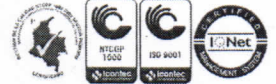
El objetivo de este trabajo es formular un plan estratégico para la disminución de flúor del agua potable suministrada por el acueducto en la Vereda El Juncal; las muestras analizadas arrojaron valores mínimos de 1.7 y máximo 14 mg/l. El Ministerio de la Protección Social, en el decreto 1575 del 2007, establece que las empresa prestadores de servicios públicos deben garantizar un sistema de protección y control de calidad de agua para el consumo humano y este ente deben cumplir con los parámetros establecidos en el decreto 2115 del 2007 de 1 mg/l de flúor. Ante esta situación se identificó que el punto de captación del acueducto de la vereda El juncal la cual proviene de aguas subterráneas que según el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales son generadas por agua lluvia, agentes contaminantes, concentraciones que aportan las rocas y materiales solubles.

La presencia del flúor en el cuerpo es necesario como mecanismo de defensa contra la caries, este se acumula dentro de la capa del esmalte del diente haciendo que sea sólido pero en caso de exceso de flúor, el cuerpo presenta osteoporosis y/o espolones la cual los huesos se vuelven más densos y tienen una estructura cristalina de igual manera sucede en los dientes.

Se propone analizar la sorcion que tiene la semilla de moringa y el hueso calcinado; donde la moringa como agente natural mejora la calidad de agua pero no realiza sorcion del flúor. El hueso calcinado elimina hasta el 60% del flúor en el agua pero luego presenta una desorción. De igual manera se analizó con MgO, Al₂O₃ y el

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



hueso calcina tienen un comportamiento directamente proporcional entre la dosis del absorbente y la cantidad de eliminación de flúor pero una vez se saturan, la concentración pierde eficiencia.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The main purpose of the work is to propose a strategic plan to reduce the amount of fluoride content in the drinkable water given by the aqueduct from La Vereda El Juncal; the analysis test samples gave values from 1.7 to 14 mg/l. The Social Protection Ministry, in the ordinance number 1575 from 2007, appoint the public services companies to guarantee a quality control and protection system to the water for human consumption and must fulfil the established requirements in the ordinance number 2115 of 2007, of 1 mg/l of fluoride content. Given this situation, it was identified that the water catchment comes from the underground which according to the hydrology, meteorology and environmental studies Institute are generated from raining water, polluted agents, concentrations from rocks and soluble materials.

The presence of fluoride content is necessary in the human body as a defence mechanism against cavities. The fluoride content is amassed inside the layer of enamel from the tooth making it solid, but in excess the body can have osteoporosis or spurs on the bones becoming dense and with cracked structures.

It is proposed to analyse the sorption on the Moringa's seed and the calcined bone; where Moringa as a natural agent improves the water quality but does not do the sorption of the fluoride content. A calcined bone get ride up to 60% of the fluoride content in water but then it presents desorption. At the same time it was analyzed with MgO, Al₂O₃ and the calcined bone and they present a directly proportional behaviour between the absorbent dosis and the quantity of fluoride content elimination but once they become saturated, the quantity loses efficiency.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: *Luz Marina Botero R.*

Firma: *[Handwritten signature]*

Nombre Jurado: *Jennifer Katusca Castro C.*

Firma: *Jennifer K. Castro C.*

Nombre Jurado: *Luz Marina Botero R.*

Firma: *[Handwritten signature]*

Vigilada mieducación

Formulación de un plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada
por el acueducto de la vereda El Juncal, Palermo, Huila

Martha Lucia Solano Moreno

Código: 20162153791

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

Neiva, 2019

Formulación de un plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada
por el acueducto de la vereda El Juncal, Palermo, Huila

Martha Lucia Solano Moreno

Código: 20162153791

Trabajo de grado presentado como requisito académico para optar al título de: Magister en
ingeniería y gestión ambiental

Director

Ph. Daniel Ricardo Delgado

Co Director

MS.C Nestor Enrique Cerquera

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

Neiva, 2019

CONTENIDO

pág.

LISTA DE TABLAS	I
LISTA DE FIGURAS	III
Resumen.....	IV
1 Introducción	1
2 Objetivos	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivo específico	3
3 Metodología	3
4 Marco teórico	6
4.1 Características fisicoquímicas del agua superficial	6
4.2 Características fisicoquímicas del agua subterránea.....	7
4.3 Tipos de aguas	9
4.4 Impactos en salud por la calidad del agua.....	10
4.5 Normatividad de calidad de agua para el consumo humano	11
5 El flúor	15
5.1 Efecto del flúor en el humano	16
5.2 Efecto de flúor en las plantas	17
5.3 Fuente del flúor	18
5.4 Beneficios del flúor en el humano	20
5.5 Eliminar el flúor	21

6	Método de absorción	22
6.1	Coagulación y floculación	22
6.2	Hueso carbonizado	23
6.3	Carbón vegetal	23
6.4	Semillas de moringa	24
7	Selección de la muestra	25
8	Análisis de muestras y resultados	26
8.1	Evaluación del método, validación y aplicación.	26
8.1.1.	Equipos y material de laboratorio.	26
8.2	Sustancias químicas y reactivos	27
8.3	Muestras	27
8.4	Limpieza de electrodos	28
9	Resultados	28
9.1	Evaluación del método	28
10	Validación	29
10.1	Límite de detección y límite de cuantificación	29
10.2	Linealidad y sensibilidad	30
10.3	Precisión	30
10.4	Evaluación del óxido de magnesio como método de sorción de flúor	36
10.5	Evaluación de la alúmina activada como método de sorción de flúor	42
10.6	Hueso calcinado	46
10.7	Destilación	50
11	Plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada por el acueducto de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila	52

11.1	Diagnóstico (DOFA)	53
11.2	Plan de acción	54
11.3	Seguimiento y evaluación.	54
12	Conclusiones	56
13	Referencias bibliográficas	57

LISTA DE TABLAS

	<u>pág.</u>
Tabla 1 Características físicas del agua para el consumo	12
Tabla 2 Características químicas del agua para el consumo	12
Tabla 3 Características microbiológicas del agua para el consumo	13
Tabla 4 Puntaje de riesgo	14
Tabla 5 Nivel de confianza	26
Tabla 6 Vivienda en la vereda El Juncal	26
Tabla 7 Datos de muestras	32
Tabla 8 Análisis estadísticos de las muestras de agua	34
Tabla 9. Análisis de la tendencia central.....	35
Tabla 10 Datos de medidas de dispersión.....	36
Tabla 11 Efecto de la concentración de MgO en la eliminación de fluoruro.....	37
Tabla 12 Influencias de pH en la sorción de flúor por MgO.....	38
Tabla 13. Cambio de pH por la adición de MgO al agua para la sorción de flúor	39
Tabla 14 Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.....	41
Tabla 15 Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en MgO.....	42
Tabla 16 Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por alúmina activada	43
Tabla 17 Efecto de la dosis de Al ₂ O ₃ en la eliminación de fluoruro.....	44
Tabla 18 Efecto de la concentración de fluoruro versus en la eliminación de fluoruro.....	45
Tabla 19. Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en Al ₂ O ₃	46

Tabla 20 Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por hueso calcinado.....	47
Tabla 21 Efecto de la concentración inicial de hueso calcinado.....	48
Tabla 22 Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro	49
Tabla 23 Comportamiento de la sorción de fluoruro utilizando 20 g/l de hueso calcinado.....	50
Tabla 24 Tabla de frecuencia.....	55

LISTA DE FIGURAS

	<u>pág.</u>
Figura 1. Mecanismos de eliminación de flúor plausible por MgO y su generación.....	37
Figura 2. Efecto de la concentración de MgO en la eliminación de fluoruro.	38
Figura 3. Influencias de pH en la sorción de flúor por MgO.	39
Figura 4. Cambio de pH por la adición de MgO al agua para la sorción de flúor.	40
Figura 5. Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.....	41
Figura 6. Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en MgO.	42
Figura 7. Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por alúmina activada.	43
Figura 8. Efecto de la dosis de Al ₂ O ₃ en la eliminación de fluoruro.	44
Figura 9. Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.....	45
Figura 10. Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en Al ₂ O ₃	46
Figura 11. Efecto de pH en la adsorción de fluoruro por hueso calcinado.	47
Figura 12. Efecto de la concentración inicial de hueso calcinado.	48
Figura 13. Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.....	49
Figura 14. Comportamiento de la sorción de fluoruro utilizando 20 g/l de hueso calcinado.	50

Resumen

El Ministerio de Protección Social, en el decreto 1575 del 2007, establece el sistema de protección y control de calidad del agua para el consumo humano. En el capítulo III estipula como responsable de la calidad del agua a la Superintendencia de Servicios Públicos, al Instituto Nacional de Salud, a la Dirección Nacional, Distrital y Municipal, y a las personas prestadoras por lo cual se debe asegurar según el decreto 2115 del 2007 que el agua que suministra no debe superar 1 mg/l de flúor dato incoherente según las muestras analizadas.

La presencia del flúor en el cuerpo, los síntomas no se visualizan en la primera etapa. Pero en etapa avanzada el paciente experimenta dolores y hormigueo en las articulaciones, debilidad muscular, fatiga, trastorno, pérdida del apetito y dolor en los huesos. Cuando se presenta una estructura sobresaliente y se comienza a calcificar, aparecen los síntomas de osteoporosis, donde los huesos se vuelven más densos y tienen una estructura cristalina. Aparecen los espolones y las extremidades se vuelven débiles.

En el presente trabajo se propone analizar la sorción que tiene la semilla de moringa y el hueso calcinado para lo cual arrojaron la siguiente información: la semilla de moringa como agente natural mejora la calidad de agua ya que actúa como coagulante y floculado pero no realiza la sorción del flúor. En el estudio sobre hueso calcinado en los 10 primeros minutos se presenta la mayor sorción por parte del material y posteriormente se presenta una desorción, sin embargo, es claro que se puede eliminar hasta el 60% del flúor del agua utilizado este material. Ante esta situación se analizó MgO y muestra ser efectivo ya que al aumentar la dosis del absorbente se aumenta la cantidad de eliminación de flúor, se evidencia que el desempeño del absorbente es directamente proporcional a cantidades de sorción. Al revisar el parámetro de pH no afecta de manera significativa la sorción de flúor, la influencia del MgO sobre el pH de la muestra tratada

es una limitante importante para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano ya que le genera acides. Otro componente de análisis es Al_2O_3 se afirma que se comporta igual de MgO y el hueso calcinado ya que generan buena sorción de flúor, pero una vez se saturan, la concentración pierde eficiencia y se debe cambiar el material. Por esta razón se requieren grandes materiales para tratar agua en grandes volúmenes.

1 Introducción

El agua, como fuente de vida y como derecho fundamental de todo ser humano, es importante porque mantiene vivos a los organismos. Por medio de ella, por ejemplo, el organismo humano lleva a cabo la actividad metabólica y, para el caso de las plantas, el proceso de desarrollo de la fotosíntesis necesita del líquido vital.

Por otra parte, se puede decir que el agua es fuente de regulación para el ser humano. Las condiciones climáticas aumentan la temperatura y el ingerir este líquido permite que el vapor o sudor llegue a una regulación de la temperatura corporal sin producir una excitación en la respiración.

El recurso natural es un derecho de todos, por lo cual se debe suministrar cumpliendo con el decreto 1575 del 2007, en donde se estipulan unos parámetros que no se pueden exceder, ya que perjudican al ser humano. Para cumplir con lo establecido se debe contar con plantas de tratamiento de agua en las que esta se controla, se trata y se distribuye de tal manera que pueda prestarse un servicio público de agua potable y de calidad a los habitantes. La calidad de este recurso hídrico normalmente se ve afectado por diferentes factores. Los descoles de los cultivos, los habitantes aledaños y las fábricas vierten desechos a las cuencas alterando la composición química de este recurso. (Isarra Delgado & Alfaro Fontaine, 2013) comentan que se debe tomar conciencia de que el agua es un recurso para el consumo humano y doméstico, como lo considera el artículo 30 del decreto 1594 de 1984 de la Corte Constitucional de Colombia: el uso del agua puede ser para las actividades como la fabricación, procesamiento de alimentos y bebidas, y para la satisfacción de las necesidades domésticas individuales o colectivas.

Guzmán, Nava y Bevilacqua (2016) mencionan que cuando se tiene agua de mala calidad para el consumo humano, esta afecta la salud, generando diferentes enfermedades, como la diarrea, por ejemplo. Esto justifica la realización de análisis a muestras y vigilancia de la calidad del agua para el consumo, pues se debe cumplir con el objetivo de la potabilización. De esta manera se permite identificar los factores de riesgos y sistemas de abastecimiento para el consumo del agua potable, y con ello se toman medidas preventivas, correctivas y de control ante cualquier situación de riesgo.

La calidad del agua para el consumo se encuentra afectada cuando esta supera 1mg de flúor por litro, ocasionando diferentes enfermedades en el ser humano. Es de preocupación en climas de alta temperatura cuando el agua tiene presencia de este elemento y el consumo es mayor. El flúor, como elemento químico, se encuentra en el grupo de los halógenos y su aspecto es de gas. Es electronegativo y se encuentra combinado con otros elementos. Es difícil encontrarlo puro en la naturaleza, pero se identifica como fluoruro de cálcico o sodio. La concentración de flúor está también en la sangre y se haya en gran parte del sistema óseo y dental. En el sistema urinario los riñones liberan grandes cantidades de este elemento químico, como también sucede con las heces.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

- Formular un plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada por el acueducto de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila.

2.2 Objetivo específico

- Identificar la fuente de captación de agua potable suministrada por el acueducto.
- Determinar la concentración de flúor en el ducto de inicio de distribución a la población de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila.
- Evaluar la eficiencia de materiales como hueso carbonizado, carbón vegetal y semillas de moringa pulverizadas para disminuir la concentración de flúor en agua potable suministrada por el acueducto, cumpliendo con los parámetros establecidos.

3 Metodología

- **Tipo de estudio:** el presente proyecto de investigación hace uso del modelo cuantitativo con el propósito de obtener información por parte de la Secretaria de Salud Departamental sobre la calidad del agua en la vereda El Juncal. Este conocimiento servirá para formular el plan estratégico para la disminución de flúor en el agua potable.
- **Diseño de la investigación:** la investigación es de tipo experimental. Los datos proporcionados por la Secretaria de Salud Departamental y las muestras tomadas *in situ*, determinarán y evaluarán la aplicación de los dos métodos para la disminución de flúor.

A continuación, se describe la metodología para cumplir con los objetivos.

Objetivo específico 1: Identificar la fuente de captación de agua potable suministrada por el acueducto.

Fase para cumplir con el objetivo:

1. Fase: Identificar el punto de captación que utiliza ESP para el suministro de agua potable y realizar la respectiva toma de muestras y análisis de la concentración de flúor.

Consta de las siguientes actividades:

- Actividad 1: Indagar en la empresa de servicio público de El Juncal el punto de captación de agua potable.
- Actividad 2: Realizar toma de muestras de agua en el punto de captación de ESP de El Juncal.
- Actividad 3: Determinar la concentración de flúor a través del método de ion selectivo.
- Actividad 4: Analizar los resultados obtenidos con respecto a la concentración de flúor del agua en las muestras tomadas.

Objetivo específico 2: Determinar la concentración de flúor en el ducto de inicio de distribución a la población de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila.

Fase para cumplir con el objetivo:

2. Fase: Conocer la normatividad colombiana vigente que establece las partículas permitidas de flúor en el agua para el consumo, e implementar las estrategias que conlleven la disminución para se cumpla con lo reglamentado.

Consta de las siguientes actividades:

- Actividad 1: Consultar la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio para establecer el nivel permitido de la ppm de flúor en el agua de consumo.

- Actividad 2: Realizar toma de muestras de agua en el punto de inicio de distribución a la población de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila.
- Actividad 3: Determinar la concentración de flúor a través del método de ion selectivo.
- Actividad 4: Analizar los resultados obtenidos con respecto a la concentración de flúor del agua en las muestras tomadas.

Objetivo específico 3: Evaluar la eficiencia de materiales como hueso carbonizado, carbón vegetal y semillas de moringa pulverizadas para disminuir la concentración de flúor en agua potable suministrada por el acueducto, cumpliendo con los parámetros establecidos.

Fases para cumplir con el objetivo:

3. Fase: Establece actividades para generar las conclusiones y recomendaciones con respecto las pruebas realizadas a las diferentes muestras para la disminución de la concentración de flúor en el agua potable.

Consta de las siguientes actividades:

- Actividad 1: Analizar los resultados obtenidos con respecto a la concentración de flúor del agua en las muestras tomadas.
- Actividad 2: Dar las conclusiones del proyecto de grado para la respectiva divulgación.

4 Marco teórico

4.1 Características fisicoquímicas del agua superficial

Las características fisicoquímicas del agua dependen de la temperatura, ya que esta afecta la solubilidad de las sales y el comportamiento microbiológico. En el caso de las aguas subterráneas la temperatura depende del tipo de terreno que drena. Por medio del fenómeno de surgencia estas aguas ascienden desde la profundidad, las cuales son conocidas como las aguas termales. El pH es una característica de las aguas subterráneas y se encuentra en un intervalo de 6 a 8.5. La presencia del oxígeno es inversamente proporcional a la profundidad. A mayor profundidad, escasea o es pobre, y la reproductividad de los microorganismos es mayor. Cañada (2010) expone que la determinación de aniones más frecuentes son el cloruro, sulfatos, silicio y fluoruro, y los cationes son el calcio, magnesio, sodio y potasio, que son minerales importantes para el funcionamiento del organismo; contribuyen a la producción de encimas, regulación de la presión sanguínea, transmisión de impulso, contracción muscular, componente óseo, entre otros; pero el consumo excesivo ocasiona sudor, vómito y diarrea.

La temperatura en el agua es importante. Es una variable para el desarrollo de vida y es influyente en el comportamiento para la edición de pH, oxígeno, conductividad eléctrica, entre otras variables. La presencia del oxígeno varía en el agua caliente y fría. Es menor cuando se tiene una temperatura elevada; por eso se dice que en verano la presencia del oxígeno se reduce en el agua superficial, pero si existiera un cambio repentino de tempera esta altera el medio de vida de seres vivos, y se ocasionaría la muerte de estos.

Las aguas con alto contenido de cloruro son encontradas en la mayoría de los casos en la descarga de las aguas industriales del sector de hidrocarburo. Su nivel de concentrado de sal es muy alto, pero este anión se encuentra en el agua natural, que procede de los suelos y rocas que

están en contacto, por lo que se puede decir que el cloruro no tiene efectos nocivos en la salud siempre y cuando el consumo sea inferior a 250mg/l; si es superior, su sabor cambia.

El oxígeno en el agua es de gran importancia, porque es necesario para la respiración de los seres. De hecho, existe un indicador oxígeno disuelto OD que establece la cantidad de oxígeno disuelto en el agua no deben superar el valor de 4 – 5 mg/l. Este intervalo puede cambiar debido a la temperatura. Por eso se dice que en las épocas de verano el caudal de los ríos es menor y la intensidad solar es mayor, ocasionando un aumento de temperatura superficial y en ocasiones un estancamiento, llevando a que estas aguas se deteriore y generen un mal olor. También puede darse la muerte de los seres vivos.

Los sulfatos son sales que se encuentran presente de forma natural en el agua, por lo que se dice que la mayor concentración se da en las subterráneas. Al fluir por medio de las rocas, algunas contienen este mineral, y se le atribuye esta característica cambiándole la concentración. Este anión en gran proporción en el agua de consumo humano ocasiona deshidratación y diarrea, por lo que se recomienda que su valor no supere a 250 mg/l. Este mineral es utilizado en la fabricación de detergentes, vidrios, tinturas y en la fabricación de papel.

4.2 Características fisicoquímicas del agua subterránea

Estas aguas en algunos casos son utilizadas para el consumo. Hay zonas rurales que no cuentan con acueducto propio y recurren a la perforación para acceder a este recurso hídrico. La calidad fisicoquímica de este recurso depende de la composición del suelo, pues la interacción del agua – suelo – gas – rocas – tiempo de residencia y las reacciones hacen que varíe la calidad del fluido, dado que las rocas tienen diferente composición y solubilidad.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales IDEAM (2015) establece que las aguas subterráneas en la mayoría de los casos se producen por la recarga de aguas lluvias, que

son absorbidas desde la superficie, llevando cantidades de agentes contaminantes, y forman acuíferos debido a la porosidad de las rocas.

Estas aguas tienen altas concentraciones de sales y otros minerales, que con el contacto con las rocas o estratos geológicos y materiales solubles, le aportan características de uso medicinal, pues contribuyen a mejorar la oxigenación del cuerpo, aumentan el metabolismo estimulando el sistema digestivo, y también se utilizan para el tratamiento de la piel, por el alto contenido de azufre.

Mezquita (s.f.), menciona que la temperatura de estas aguas subterráneas varía de acuerdo a las condiciones atmosféricas para los pozos que no están profundos. Las radiaciones solares hacen transferencia en la tierra y esto influye para que las condiciones climáticas y la temperatura cambien de acuerdo al ambiente atmosférico que se esté presentando. La temperatura a grandes profundidades dependerá de las rocas que están conformando el acuífero, ya que esta tiene características térmicas.

La turbiedad es unidad de medida física, y se encuentra alterada por material orgánico e inorgánico presente en la que hace que el agua no presente transparencia debido a la presencia de microorganismos, pues la temperatura es óptima para la proliferación de los mismos; esto sucede en pozo ubicado a una profundidad aproximada de 100 metros, y la concentración de diferentes microorganismos supera la requerida para el consumo humano.

El color en el agua es un indicador del material orgánico o humus que está presente en el suelo. Este material aporta propiedades físicas y hace que se encuentre material disuelto, generando una apariencia física en el agua.

4.3 Tipos de aguas

Muñoz (2008) escribe que el tipo de agua es de acuerdo al origen y uso, y se clasifican en potable, salada, salobre, dulce, dura, blanda, negra, grises. Ante esta clasificación se dará una breve explicación:

Agua potable: es utilizada para el consumo humano y animal sin acusar riesgo en la salud, por lo cual cumple con las normas de calidad. Para lograr esto debe efectuar con unos requisitos legales: tener una planta potabilizadora en la que sus condiciones básicas consten de tratamiento de pre coloración – floculación, decantación, filtración y coloración, para así ser distribuida a la red.

Agua salada: como su nombre lo indica, la concentración de sal es alta y es conocida como el agua de los mares. Es buena conductora de electricidad, pero el exceso en el organismo del ser humano se comporta como laxante, y contribuye con la retención del líquido, hipersensibilidad en las encías y cefalea. En ese sentido, requiere que sea tratada, pues causa efectos negativos en el organismo del ser humano.

Agua dulce: contiene sal, pero en pequeñas proporciones, y no tiene color ni olor. Se encuentra en ríos, lagos, pozos subterráneos, hielo, nieve y glaciales. Se puede utilizar para el uso doméstico, agricultura y ganadería.

Agua dura: son aquellas que contienen una dureza superior a 120 mg de contenido de carbonato de calcio y magnesio o componentes minerales. En la actividad de lavado no permite que el jabón sea diluido (dureza agua).

Aguas blandas: la característica predominante de este tipo de agua es la concentración de cloruro de sodio y la baja cantidad de iones de calcio y magnesio. El uso se da en centrales hidroeléctricas, calderas u otras industrias.

Aguas negras: son aquellas que se encuentran contaminadas por heces, orina o desechos orgánicos y aguas lluvias. Debe ser tratada si se vierte al río. De lo contrario, se afectaría la cadena alimenticia del ser humano.

Aguas grises o residuales: son aquellas que provienen de las actividades propias del ser humano, como el uso de lavadoras, duchas y tinas, en las que pueden contener jabón, cabellos, y bacterias. También son aquellas que llegan al sistema de alcantarillado y que son el producto de las actividades empresariales.

Agua natural: no son modificadas por el ser humano y se encuentran a nivel superficial, como en el mar, ríos y arroyos. También las de origen subterráneo y las meteóricas o atmosféricas que provienen de la lluvia.

4.4 Impactos en salud por la calidad del agua

Todos los seres humanos tienen derecho al servicio de agua potable para uso personal y doméstico, y si se suministrada, debe cumplir con los parámetros establecidos. El contenido de microorganismos o componentes químicos no debe estar por fuera de estos parámetros, inscritos en la resolución 2115 de 2007 del Ministerio del Medio Ambiente. De lo contrario, el agua suministrada resultaría una amenaza para el ser humano, ocasionándole enfermedades que se clasifican en directas e indirectas. Las directas se originan por la ingesta de agua contaminada. Esta tiene microbios o parásitos que generan diarrea y afectan el tracto intestinal. Las indirectas se relacionan con los hábitos de higiene, como bañarse las manos, lavar ropa, cocinar y lavar los platos. Entre otras enfermedades encontramos las ocasionadas por aguas estancadas. Estas generan larvas o mosquitos que son portadores de la enfermedad conocida como el dengue. Por otro lado, las enfermedades ocasionadas por agentes químicos son generadas por los descoles de los cultivos que llevan residuos venenosos, como son los insecticidas, herbicidas y fumigaciones

que contienen metales pesados, que se transportan, depositan y se acumulan en los tejidos de los seres humanos.

La estructura química del agua hace que sea un buen disolvente. En ella se encuentran sustancias en suspensión, disolución y microorganismos de todo tipo, como nitratos, nitritos, arsénicos, aluminios, cianuros, cromo, mercurio y plomo. Estas concentraciones hacen que no sea apta para el consumo humano porque ocasionan enfermedades a largo plazo. La ingesta de agua contaminada se debe al mal control de las fuentes. Es por eso que existe un reglamento. En el caso de Colombia la norma es el decreto número 1575 del 2007.

Janet et al. (2012) expone que los plaguicidas o pesticidas son los componentes que más contaminan el agua, ya que son utilizados en los cultivos. Estas sustancias químicas buscan eliminar las plagas que afectan a los cultivos y dañan la producción agrícola. Estos residuos se depositan en el agua y pueden llegar a causar enfermedades o inhibición en el sistema reproductivo, supresión en el sistema urinario o endocrino, o hasta un cáncer. Algunos plaguicidas, como el DDT, se acumulan en el tejido graso; otros se eliminan a través de las heces fecales. Otra contaminación que se realiza es aquella que se hace por medio de los fármacos. Estos son eliminados por el organismo y van hacia las aguas residuales, que a su vez son transportados hacia el ciclo del agua, y en algunas ocasiones pueden alcanzar las aguas subterráneas o acuíferos.

4.5 Normatividad de calidad de agua para el consumo humano

El Ministerio de Protección Social, en el decreto 1575 del 2007, establece el sistema de protección y control de calidad del agua para el consumo humano. En el capítulo III estipula como responsable de la calidad del agua a la Superintendencia de Servicios Públicos, al Instituto Nacional de Salud, a la Dirección Nacional, Distrital y Municipal, y a las personas prestadoras.

En caso de no velar por el cumplimiento del protocolo de medición de calidad, se deben pagar sanciones. En la norma se encuentran unos índices de riesgo de calidad del agua para el consumo, como lo es el Índice de Riesgo De La Calidad De Agua Para El Consumo (IRCA), que reporta el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para el consumo, y el Índice de Riesgo Municipal Por Abastecimiento Del Agua Para El Consumo (IRABA).

Para garantizar un consumo de agua, se debe realizar un autocontrol que debe generar unos reportes o resultados con los que se realiza un seguimiento o vigilancia. A continuación se muestra en las Tablas 1, 2 y 3 en donde se estipulan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua para el consumo.

Tabla 1

Características físicas del agua para el consumo

Características físicas	Valor máximo aceptable	Expresadas como
Color aparente	15	Unidades de platino cobalto
Olor y sabor	Aceptable	Aceptable o no aceptable
Turbiedad	2	Unidades nefelométrías de turbiedad (UNT)

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

Tabla 2

Características químicas del agua para el consumo

Descripción	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	0,02
Arsénico	0,01
Bario	0,7
Cadmio	0,003
Cianuro libre y disociable	0,05
Cobre	1
Cromo total	0,05

Continuación	
Mercurio	0,001
Níquel	0,02
Plomo	0,01
Selenio	0,01
Trihalometanos totales	0,2
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	0,01
Carburo orgánico total	5
Nitritos	0,1
Nitratos	10
Continuación	1
Fluoruros	

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

Tabla 3

Características microbiológicas del agua para el consumo

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membranas	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzimas sustrato	< de 1 microorganismo de 100 cm ³	< de 1 microorganismo de 100 cm ³
Sustrati Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia de 100 cm ³	Ausencia de 100 cm ³

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

En el índice de riesgo de la calidad de agua para el consumo humano se asigna un porcentaje de riesgo por el no cumplimiento en cada una de las características, considerando que cero cumple y 100% no cumple, a continuación se muestra la Tabla 4 las características con el puntaje de riesgo.

Tabla 4

Puntaje de riesgo

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Color Residual Libre	15
Alcalinidad total – Calcio – Fosfato – Manganeso – Molibdeno – Magnesio – Zinc – Dureza total – Sulfatos	1
Hierro total	1.5
Cloruros – Nitratos	1
Nitritos – Aluminio	1
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichi coli	25
Sumatoria	100

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

5 El flúor

Gogula, Vaseem, Srilalitha, Indushree y Kolli (s.f.) comentan que el flúor es un elemento que se encuentra en la corteza terrestre y es abundante en la naturaleza porque se distribuye en la roca, suelo, agua, aire, plantas y animales. Este elemento químico natural es utilizado por las diferentes industrias, como las acerías, y por medio de la combustión es liberado a la atmosfera donde el aire lo hace llegar al agua y a la tierra, se deposita y cambia la forma original.

Verma, Singh y Verma (2018) mencionan que el flúor ocupa el puesto 13 de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Un ejemplo de la abundancia de este elemento químico está Asia, India y China. Su presencia en el agua y en los alimentos genera, para estos países, un problema de salud pública: la ingesta ha ocasionado una enfermedad conocida como fluorosis esquelético endémica.

Este elemento químico pertenece a la familia de los halógenos y es electronegativo. Reacciona con facilidad ante el azufre, yodo, fosforo y bromo. Tiene alta reactividad y no está en forma pura en la naturaleza y se encuentra como fluorita, fluorapatito y criolita.

En la industria el flúor se encuentra para la prevención de la caries, revestimiento de recipiente de cocina, en el sector de hidrocarburos, en aceites (soporta elevadas temperaturas), funciona como semiconductor, está en lo televisores, pues sirve para la fabricación de pantallas de plasma, y está presente en la industria de refrigeración, aunque su uso es restringido debido a al daño en la capa de ozono.

(Mukherjee & Singh, 2018) escriben que las rocas que contienen flúor por medio de los agentes atmosféricos ocasionan la desintegración y la descomposición, que son la primera fuente natural de los fluoruros inorgánicos de las aguas subterráneas.

5.1 Efecto del flúor en el humano

El Ministerio de Salud y Protección Social (2016) evidencia que el flúor en el ser humano puede haber sido ingerido a través del agua o en alimentos como la sal, la leche, harina o cereales, y es transportado por la sangre y, de esta manera, se deposita en los huesos y en los dientes, en pequeñas proporciones. El agua es el medio que más proporciona este elemento químico, por lo que se dice que la intoxicación en el ser humano con el flúor involucra funciones orgánicas como las renales, musculares y nerviosas. La presencia de este elemento ocasiona en el esqueleto una mineralización de los huesos, calcificación de tendones o inflamación. Valdez, Soria, Miranda, Gutiérrez y Pérez (2011) exponen que también se tiene un análisis en el que la sal de mesa es un factor de riesgo, ya que desarrolla fluorosis, y se debe tener precaución con los niños menores de 2 años. Existe también riesgo en el uso de la pasta dental, por lo que se sugiere seguir las orientaciones de un ortodontista pediátrico.

El flúor en el cuerpo es absorbido en el estómago y con la mezcla de los ácidos aumenta. Este proceso se lleva a cabo en un tiempo de 30 minutos aproximadamente. En caso de presentar intoxicación, se debe actuar con rapidez. Esto es importante porque los niños menores de 6 años, en la actividad de cepillado, suelen tragar la pasta dental y se recomienda que esta actividad esté mediada por una persona responsable. García, Sosa, Cuéllar, Rodríguez y Cangas (2002) comentan que el flúor contenido en la sangre pasa por todos los órganos, y en el caso del cordón umbilical, pasaría al feto, y el elemento sería absorbido de manera rápida para calcificar los dientes y huesos; también se acumula cada vez que se ingiere agua potable. Cuando hay aumento del mineral en el cuerpo, los síntomas no se visualizan en la primera etapa. Pero en etapa avanzada el paciente experimenta dolores y hormigueo en las articulaciones, debilidad muscular, fatiga, trastorno, pérdida del apetito y dolor en los huesos. Cuando se presenta una estructura

sobresaliente y se comienza a calcificar, aparecen los síntomas de osteoporosis, donde los huesos se vuelven más densos y tienen una estructura cristalina. Aparecen los espolones y las extremidades se vuelven débiles.

En un texto del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de España, titulado Flúor, Fluoruro, Fluoruros, Como y Hexafluoruro (2007), se expone que el flúor, por ser un gas, es irritante y peligroso para los ojos, piel y pulmones. En algunos casos por contaminación se presentó sangrado en la nariz, cuando las concentraciones eran menor a $1\text{mg}/\text{m}^3$, y en el caso de mayor concentración, se presentó en la orina. Cuando la exposición se encontró en $3.38\text{ mg}/\text{m}^3$, detectaron que existían malformaciones óseas.

Existen tres tipos de fluorosis que se han dividido como leve, moderada y severa. La leve se da cuando aparecen líneas en la superficie del diente; en la moderada el diente tiene manchas opacas, resistente a la caries; y en la severa las manchas son de color marrón y el esmalte es frágil; la fluorosis también ocasiona enfermedades en los huesos. (Fuentes, Riverón, Hernández, y Díaz, 2007)

Otros estudios realizados en China muestran que el flúor tiene efectos neurotóxicos. Después de un año por contaminación se evidenció que hay alteraciones morfológicas en el cerebro. El elemento hace que aumenten los niveles de aluminio en el tejido cerebral y disminuya la inteligencia, en comparación con los organismos de control (Choi, Sun, Zhang y Grandjean, 2012).

5.2 Efecto de flúor en las plantas

Hayacibara, Queiroz, Pereira, Tabchoury y Cury (2004) afirmaron que en un estudio realizado el muestreo de las planta de té notificó que los fertilizantes aplicados a los suelos contienen nutrientes como el flúor y el aluminio, los cuales se depositan en las hojas; esto se detectó en las

infusiones preparadas en el laboratorio, arrojando resultados desde 0.004 ppm hasta 1.58 ppm, en donde las planta de Mate Brand Darrojo tenían la concentración más baja, y en donde la Iced tea Brand E. obtuviera un valor mayor. Todo esto concluye que la ingesta en grandes cantidades pone en riesgo la salud de los niños, ocasionando la fluorosis dental.

La acumulación en las hojas se debe a que el ostiolo o poro absorbe o expulsa los nutrientes tomados en el proceso de la fotosíntesis. Por eso se dice que las concentraciones son altas en esta parte de la planta. Lavar las hojas antes de preparar los alimentos no cambia el contenido del flúor, pues las características de la capacidad de acumulación dependen de la morfología (Sant'Anna-Santos y Azevedo, 2011).

En el artículo de Oliveira y Braga (2015) se comenta que en la biósfera y atmósfera hay presencia de flúor que llega a la vegetación y al agua y, de esta manera, transmitido por las raíces de las plantas, que absorben los nutrientes y estos son distribuidos a cada una de sus partes, logrando que el flúor se concentre en las hojas.

5.3 Fuente del flúor

Este mineral está presente en la atmosfera debido a los suelos ricos en flúor, o por los desechos de las fábricas, como las de aluminio, las de abonos fosfatados, las de cerámicas y las de carbón; también el mineral puede ser producto de las actividades volcánicas.

Avila, Farías, Bianco y Mitre (2008) comentan que el flúor se encuentra en las aguas subterráneas o superficiales; el suelo está constituido por rocas intrusivas que provienen del magma que va fluyendo a través de las grietas y que en ese proceso se van enfriando y combinado con silicatos. El contacto con estas rocas hace que este líquido cambie las propiedades naturales. Los suelos están compuestos de basaltos, que son ricas en ignea volcánicas, granitos (cuarzos, feldespatos y mica), caliza, fosfato, cenizas y gas lutita; el fosfato

puede contener fluoruro, que es utilizado como fertilizante en los cultivos. También es utilizado como fertilizante al unirse con el agua en el proceso de perforación en el caso de aguas subterráneas y las condiciones generan cambios químicos en estas. Es de resaltar que las reservas hídricas son aguas dulces, y para hacer usos de estas se requiere de un capital de inversión. Estas reservas pueden utilizarse en la agricultura, la ganadería, la industria, en la recreación, en la calefacción y en aspectos medicinales, pero se debe tener presente realizar un análisis de calidad, pues los tipos de suelos varían, atribuyéndole propiedades al fluido, con lo que podría considerarse que la composición química del recurso tendrá aniones como cloro, flúor e hidrógeno, y cationes como sodio, potación, magnesio, calcio, hierro y ascencio (Luna et al., 2012).

En un ambiente (aire – agua) donde se tiene presencia de flúor se afecta también las plantas. Es por eso que las hojas que se utilizan para el té o los cereales tienen una elevada concentración del mineral. Añadido a esto, se puede generar una recarga de flúor al momento de utilizar agua para preparar los productos mencionados, y entonces se podría llegar a tener, en un solo vaso, 6,4 ppm de flúor. García (2006) menciona que en el caso del aire, los pulmones reciben oxígeno contaminado, en el que también hay presencia del flúor (normalmente por las erupciones volcánicas y desechos industriales), y lo llevan a la sangre. El sistema respiratorio no tiene la capacidad de filtrarlo y retirarlo del cuerpo, sino que sigue su proceso. Es por eso que el flúor se encuentra en todas partes, y en ocasiones se desconoce su procedencia.

(Valenzuela, Ramírez-Hernández, Sol, & Reyes, 2011a)) exponen que en el agua subterránea hay concentraciones altas de flúor. Los pozos tienen una composición geológica para la disolución y se asocia a los bicarbonatos, pH y temperatura, y estos ayudan a mantener la concentración del mineral.

5.4 Beneficios del flúor en el humano

Las bacterias que se encuentran en los dientes van formando una capa de tal manera que los cubre. Ellas producen un ácido, como producto de su metabolismo, en el que se disuelve con el mineral calcio – fosfato, que se encuentra en la capa protectora del diente, y forman la conocida caries. Es por eso que, como mecanismo de defensa, se requiere del flúor, pues detiene la actividad de las bacterias, aumenta el mineral y limita el deterioro dental, pues protege contra la caries, antes de que sufra una ruptura. Esto quiere decir que el flúor es necesario parcialmente. (“Actualizaciones en Pediatría Ambulatoria Febrero 2006 Flúor y prevención de caries en los niños,” 2006) se expone que el diente contiene flúor desde los 6 meses a los 6 años de edad. Se acumula dentro de la capa de esmalte del diente y a medida que se desarrolla, se vuelve fuerte y resistente a la caries. Este mineral se puede encontrar en la saliva, por lo que es indispensable que se realice con frecuencia lavados, enjuagues bucales, se utilicen cremas dentales y vitaminas.

(Balagizi et al., 2018) menciona que el flúor en el ser humano es indispensable porque estimula las proteínas para la producción de enzimas que se necesitan para la transmisión de señal celular; también ayuda a controlar la disfunción renal, inhibición enzimática y falla multiorgánica. Así, pues, se dice que el flúor en cantidades controladas ayuda al equilibrio humano.

La potabilización del agua debe ajustarse a las especificaciones recomendadas para cada país, teniendo presente que el flúor no cambia según las condiciones ambientales; este elemento químico se debe considerar al momento de realizar análisis de agua potable, pues en caso de no presentarse de manera natural, se obliga adicionar, dado que la Organización Mundial de la Salud vela por la prevención de la caries (Frazão, Peres, & Cury, 2011).

5.5 Eliminar el flúor

Valenzuela, Ramírez-Hernández, Sol y Reyes (2011) comenta que para lograr la disminución de flúor en el agua existen las siguientes técnicas: precipitación, absorción, intercambio iónico y procesos de utilización de membrana, como osmosis inversa, nano filtración y la técnica nalgonda. El proceso de osmosis inversa consiste en que las moléculas pasan de concentración mayor a menor (agua purificada), a través de la membrana porosa, e igual sucede con la nano filtración: se purifica utilizando membranas. La electrodiálisis se da por medio de una diferencia de potencial en que se logra la separación de iones electroquímicos; y la técnica de nalgonda realiza un proceso en el que se adiciona álcali, sulfato de aluminio o cloruro de aluminio. Estos elementos se mezclan y forman floculos permitiendo la remoción. Esta mezcla se agita y permite la formación de flóculo sed hidróxido, o ambos también, con sulfato de aluminio por alúmina, pero en mayor dosis.

Para la remoción de flúor también se utiliza la alúmina, que gracias al intercambio iónico, en el que en medio de un proceso termodinámico, donde se utiliza amoniaco que funciona como gel, se fabrica micro esferas. En un recipiente con agua con alto contenido de flúor, y con la masa absorbente de 10,4 gramos, durante un tiempo de 24 horas, se logra la eficiencia de absorción de 17 ppm a 1.5.

Valenzuela et al. (2011) mencionan que se ha descubierto que para eliminar el flúor en el agua de consumo humano se debe realizar un proceso en el que, por medio de carbón vegetal, se logra remover de 4 mg/l a 1,95 mg/l, con un tiempo de retención de 3 horas. De lo que se deduce que es eficiente, y, de manera natural, se logra mejorar las condiciones químicas del agua.

Rodríguez, Flores, Rangel, Cubillán y Argotte (2015) escriben que las cápsulas de moringa son semillas trituradas que actúan como coagulante que sirve para la remoción de metales. La

capacidad de absorción por la porosidad que tiene el material natural permite la retención, mejorando el tratamiento de agua.

6 Método de absorción

Es un proceso mediante el cual los nutrientes o minerales que contiene el agua se toman para ser retenidos y cambiar sus propiedades. Un ejemplo claro es aquel en el que la arcilla, o un material absorbente, fija las partículas que pretende retirar de manera temporal o permanente.

6.1 Coagulación y floculación

Este proceso busca que, por medio de la agitación, las partículas se estabilicen, formando microfloculos para constituir floculos, que se acumulan y se depositan en el fondo del recipiente, para después decantarse.

En la coagulación se está desestabilizando químicamente el agua, la cual neutraliza las cargas de repulsión; la floculación, por otro lado, es un proceso hidrodinámico en el que las partículas se aglomeran, haciendo que se sedimente ((Avila Carreras, Farias, Bianco, & Bovi Mitre, 2008).

Existen diferentes tipos de floculantes, entre los que se encuentran los anicónicos, que separan partículas minerales; catiónicos, que separan partículas de origen orgánico; y los no iónicos, que separan las partículas tanto orgánicas como inorgánicas. Este procedimiento se lleva a cabo iniciando la agitación de la solución para fraccionar la cadena.

Como coagulante natural, según estudios realizados, se tiene a la moringa, que tiene una remoción de sólidos comparada con el sulfato de aluminio. Este coagulante natural no le da sabor, olor ni color al agua. Además, tiene propiedades bactericidas, según una investigación realizada en las aguas del río Nilo, donde también disminuyó la turbidez. La potabilización del agua con las semillas de moringa es una opción económica con respecto a los productos

químicos. Estas semillas también generan volúmenes menores de lodos y son biodegradable (Martín et al., 2013).

6.2 Hueso carbonizado

La incineración de los huesos de los animales contribuye a la solución de la eliminación del flúor en el agua, ya que contienen calcio y nitrógeno, dependiendo de la edad. La temperatura de quema, según el estudio realizado por (Alkurdi, Al-Juboori, Bundschuh, & Hamawand, 2019), muestra que a los 600°C se tendrá 6.7 mg/g, mejor captación que a los 1000 °C, que obtiene 0.0 mg/g, con un tiempo de retención de dos horas. Otra variable a tener es el tamaño de las partículas de carbón. Entre más pequeña, se tendrá mayor contacto y es mejor el comportamiento con respecto a la retención, pero también se requiere tener partículas grandes, ya que es el lugar de crecimiento de microorganismos.

6.3 Carbón vegetal

(Zaror et al., 2015) comenta que el carbón vegetal sirve como combustible para uso doméstico e industrial. En la metalurgia, por su gran poder calorífico, logra fundir metales para la creación de aceros que son importantes para la construcción de herramientas y armamento. Otro uso es como material absorbente. Por su porosidad retiene partículas que generan olor, color y sabor indeseable para el agua.

Al carbón se le ha dado diferentes usos que hasta en la medicina toma importancia. En las peceras, filtros de refrigerador y en las plantas de tratamiento de agua residual el carbón se utiliza para la eliminación de sustancias. Por los diferentes tamaños de poros como micro, meso y macro retienen moléculas que generan color o también los coloides, según el Manual del Carbón Activo (s.f.), creado por la Maestría en Ingeniería del Agua, en las universidades de Sevilla y Politécnica.

Para obtener carbón vegetal se somete a calentamiento la madera, la cual se deshidrata y esta se degrada. Con una temperatura de 270°C se liberan unos gases, aumenta el contenido de carbono, aumenta la estructura aromática, poder calorífico, pero también hay una disminución de sustancias volátiles y el contenido de oxígeno. El poder calorífico aumenta debido a la vaporización del agua y otros compuestos ácidos que escapan a la atmósfera (Cortés, 1978).

6.4 Semillas de moringa

Es un árbol de origen de la India. Se le ha atribuido valor nutritivo para los humanos como animales; las hojas tienen un alto contenido en vitaminas y aminoácidos. Las semillas son utilizadas para la medicina, alimentación y tratamiento de agua. Actúa como coagulante que clarifica y purifica el agua (Martín et al., 2013).

En el proceso fisicoquímico utilizado para el tratamiento del agua residual, la coagulación y la floculación remueven los sólidos suspendidos. Para lograr esta clarificación del agua se utilizan el sulfato de aluminio, el cual contiene en altas concentraciones que ocasionan enfermedades como la demencia, y disminuye la capacidad motora y mental (Mas, Martinez, Carrasquero, & Vargas, 2011).

El sulfato de aluminio es un buen coagulante, pero su exceso puede afectar el sistema nervioso central, por lo cual, comparado con la moringa, esta no genera daños a la salud ni al medio ambiente; por el contrario, es más eficiente. Logra disminuir la conductividad eléctrica, algo positivo para el tratamiento de agua, y disminuye los cloruros, ya que son tóxicos para los organismos acuáticos y aumenta el pH (Mera Alegria, Gutiérrez Salamanca, Montes Rojas, & Paz Concha, 2016).

Por lo anterior, es necesario utilizar mecanismos naturales que disminuyan la turbidez del agua. Hay unos mecanismos que son de origen vegetal, como almidones, entre los que están la yuca, maíz, plátano y arroz, que no alteran el pH ni la conductividad.

La moringa, según algunas investigaciones, inhibe la producción de células cancerígenas y la diabetes. Tiene el poder de antioxidante, por lo que hace reducir estas enfermedades. También posee la proteína catiónica, que es capaz de coagular el material y disminuir los parásitos presentes en el agua (Meza-leones, Riaños-donado, Mercado-martínez, & Olivero-verbel, 2018).

El tratamiento del agua con la moringa se hace logrando que las semillas trituradas queden con apariencia de una harina de maíz, que se mezcla con el agua hasta que se logra una apariencia lechosa, que se retira por medio de un filtro o tela, permitiendo una filtración

7 Selección de la muestra

En la página web de Aguas del Huila se expone que las empresas públicas de Palermo (Acueducto Rural El Juncal) atienden a 628 viviendas, que albergan una población de 2.757 habitantes.

Por los datos anteriormente mencionados, se realiza la siguiente ecuación de (Bencardino, 2012) para el cálculo de la muestra:

$$n = \frac{NZ^2[P(1-P)]}{(Ne^2 + Z^2 * PQ)} = 238$$

Dónde: N es tamaño de la población; Z: nivel de confianza del 95% cuyo valor es 1.96; e: error permisible 5%; P: probabilidad de ocurrencia, 50% de los datos en la curva normal. A continuación se muestra Tabla 5 de nivel de confianza.

Tabla 5

Nivel de confianza

Nivel de confianza	Puntuación Z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: (Bencardino, 2012)

Para poder cuantificar la muestra se tiene que conocer la cantidad de viviendas la cual se visualiza en la Tabla 6 las cantidades de las muestras.

Tabla 6

Vivienda en la vereda El Juncal

Vereda	Viviendas	Población
El Juncal Centro Poblado	628	2757

8 Análisis de muestras y resultados

8.1 Evaluación del método, validación y aplicación.

8.1.1. Equipos y material de laboratorio.

Las mediciones potenciométricas se realizaron utilizando un electrodo selectivo de iones de fluoruro (mod. DX219, Mettler Toledo, Suiza) conectado a un electrodo de referencia Ag / AgCl (mod. 373 / SSG / 6 J, Amel srl, Milán, Italia) y un analizador de iones (pH 1500 CyberScan, Eutech Instruments, Países Bajos). Además, se utilizó un electrodo de vidrio combinado (LIQ-GLASS 238000/08, Hamilton, Suiza) con el analizador de iones para medir el pH. Se utilizaron las pipetas Eppendorf Research Series 2100 de volumen fijo adecuado.

8.2 Sustancias químicas y reactivos

La semilla de moringa fue utilizada para análisis en cuanto a la eliminación del flúor, arrojando datos no representativos en cuanto la sorción, por lo cual se procedió a dejarla por más tiempo teniendo datos de descomposición del agua. Ante este resultado se procedió a utilizar MgO y Al₂O₃ para la eliminación del flúor.

Todos los reactivos fueron de grado analítico (Fluka, Milán, Italia), excepto NaF (99,99%, Sigma-Aldrich, Milán, Italia) y CH₃COOH (100% extra puro, Riedel-de Haen, Milán, Italia). Se usó agua ultrapura tipo I (Merck, Milán, Italia) para preparar todas las soluciones. El NaF se secó a 110 °C durante dos horas y se enfrió en un desecador antes de la preparación de 1000 mg L⁻¹ F-solución estándar, que luego se usó para preparar soluciones diluidas. La solución del tampón de ajuste de la fuerza iónica total (TISAB, por sus siglas en inglés) utilizada en nuestro estudio se asemeja mucho a la propuesta por primera vez por Frant y Ross (1968), y la única diferencia es la sustitución del ácido cítrico con EDTA. Por lo tanto, 58.0 g de NaCl, 37.0 g de NaOH, 57.0 mL de CH₃COOH se disolvieron en 300 mL de 0.1 mol L⁻¹ sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). El pH se ajustó a 5,5 con 5,0 mol L⁻¹ NaOH. Luego se añadió agua a la solución hasta un volumen final de 1 l.

8.3 Muestras

Preparación de la muestra: antes de la determinación analítica, primero se permitió que cada muestra alcanzara la temperatura ambiente y luego se homogeneizó durante 15 minutos con un mezclador. Se disolvió una alícuota cada muestra de agua (5 mL) en una solución de agua ultra pura 1:1 (v/v) TISAB, y se diluyó hasta un volumen final de 10 ml con el mismo disolvente. Cada muestra fue analizada al menos por triplicado.

8.4 Limpieza de electrodos

Después de cada sesión analítica, el electrodo selectivo de ion fluoruro y el electrodo de referencia se limpiaron a fondo con un paño humedecido con agua ultra pura.

9 Resultados

9.1 Evaluación del método

En este trabajo se presenta el método para la determinación de iones fluoruro en agua, basado en potenciometría directa con ESIF (Electrodo Selectivo de Ion Fluoruro). En el pasado, este enfoque se ha utilizado con éxito para la determinación de iones fluoruro en varios productos alimenticios y agua, como se ve en (Malde, Zerihun, Julshamn, & Bjorvatn, 2004), (Oganessian, Ivancakova, Lencova, & Broukal, 2011) y (Ponikvar, Stibilj, & Žemva, 2007), ya que ofrece algunas ventajas importantes. Sobre otras opciones, como el bajo costo del equipo, la simplicidad del análisis y su buena sensibilidad y precisión. Uno de los pasos más importantes involucrados en una evaluación confiable del método ESIF es una elección adecuada de la solución TISAB, que debe cumplir simultáneamente con diferentes requisitos, todos con el objetivo de maximizar la cantidad de F^- (es decir, la única forma de flúor que puede ser detectada por ESIF). Más específicamente, la solución de TISAB se usa simultáneamente como un tampón de pH, un tampón de fuerza iónica y un agente de complejación de iones metálicos. La elección del búfer de pH debe ser un compromiso entre un valor lo suficientemente básico como para desprotonar completamente el HF sin aumentar demasiado la concentración de ion hidróxido interferente. Por lo tanto, un pH de la solución TISAB entre 5,0 y 6,0 representa la mejor opción para prevenir el sesgo debido al efecto de la competencia por el OH^- en los equilibrios ácido-base de fluoruro. Además, se deben agregar cantidades sustanciales de un electrolito neutro y fuerte para optimizar la fuerza iónica de fondo necesaria para alcanzar rápidamente el potencial de equilibrio y tener una actividad

constante. Finalmente, a menudo se agrega un agente quemante específico para prevenir la complejación del ion fluoruro al interferir con los iones metálicos (por ejemplo, Al^{3+} y Fe^{3+}). Por estas razones, se han propuesto varias formulaciones diferentes de TISAB en el intento de abordar simultáneamente las diversas complejidades analíticas de cada matriz.

El agua subterránea es un producto cercano a la neutralidad, y por esta razón se requiere un TISAB caracterizado por un poder tampón moderado. Además, el agua subterránea también contiene una cantidad variable de diferentes iones metálicos bivalentes y trivalentes que, en principio, pueden interferir con la determinación precisa del fluoruro (Sanna, Pilo, Piu, Tapparo, & Seeber, 2000).

Según el análisis realizado a la moringa en el agua esta tiene un comportamiento coagulante y de floculado pero la sorción del flúor no la realiza, por lo cual se analizó se procedió a dejar por más tiempo sin lograr resultados de eliminación. Ante esta situación se utilizó MgO y Al_2O_3 .

10 Validación

10.1 Límite de detección y límite de cuantificación.

El límite de detección (LOD) se determinó utilizando el procedimiento descrito por el Programa de Certificación de Laboratorios del Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin (Ripp, 1996). Se obtuvieron diez alícuotas de 4 ml, con concentraciones de fluoruro de 0.02 y 0.1 mg L⁻¹, a partir de una solución preparada disolviendo 30.0000 g de muestra en 50.0 ml de una solución 1:1 de agua bidestilada: mezcla TISAB. Para cada alícuota, se midió la concentración de fluoruro y se evaluó la desviación estándar. El LOD y el límite de cuantificación (LOQ) se definen como $LOD = s \cdot t_{v, \alpha}$ y $LOQ = 10 s$, donde s es la desviación estándar de la muestra, t es el valor t de Student para v grados de libertad y α es el nivel de confianza, igual al 99%.

Por lo tanto, el valor LOD experimental fue de $6.7 \mu\text{g L}^{-1}$, mientras que el LOQ fue de $25 \mu\text{g L}^{-1}$.

10.2 Linealidad y sensibilidad

Para verificar el rango de linealidad, se obtuvieron líneas de calibración utilizando el procedimiento descrito anteriormente, a concentraciones de ion fluoruro que abarcan desde 0.020 hasta 1 mg L^{-1} . Considerando las muy bajas concentraciones involucradas en este método, se observaron buenos coeficientes de determinación (R^2), que oscilaron entre 0.994 y 0.999 , mientras que la sensibilidad, medida como la pendiente de la línea de calibración, fue típicamente de -55 ± 3 mV por unidad de concentración del analito. Además, el análisis residual puede excluir la posibilidad de cualquier desviación de la linealidad de los gráficos de calibración en el rango de concentración examinado.

10.3 Precisión

La precisión del método propuesto se evaluó en términos de repetibilidad y precisión intermedia.

La repetibilidad (r) se evaluó a partir de ocho repeticiones consecutivas de todo el procedimiento analítico dentro de la misma sesión analítica, realizadas en diferentes alícuotas de la misma muestra de agua subterránea (es decir, la muestra en la que se encontró que la concentración del analito era la más cercana al valor medio de todas las muestras analizadas). El valor de precisión, expresado en términos del coeficiente de variación experimental de repetibilidad ($\text{CV}\%_{\text{exp}, r}$), fue de 9.1% .

Además, el valor de precisión intermedia, según (Magnusson & Örnemark, 2014), (IP) se calculó como el coeficiente de variación experimental ($\text{CV}\%_{\text{exp}, \text{IP}}$) y se determinó que era del

12.7%. Se midió en datos analíticos obtenidos de seis análisis de diferentes alícuotas de la misma muestra, realizados en varias sesiones analíticas dentro de varias semanas.

La aceptabilidad de los datos de repetibilidad se verificó a través de la teoría de Horwitz (Horwitz, 1982) y, más específicamente, en términos de relación HorRat_r, calculada de la siguiente manera:

$$\text{HorRat}_t = \text{CV}\%_{\text{exp},r} / \text{CV}\%_{\text{H},r}$$

Donde CV% H, r es el valor de repetibilidad predicho por la teoría de Horwitz en función de la concentración del analito, expresado como una fracción de masa (por ejemplo, 1 mg g⁻¹ = 10⁻³). En este caso, el valor de HorRat_r es 0.6, muy por debajo de 1.5, que es el límite superior de aceptabilidad de los valores de HorRat, r.

Los datos de la Tabla 7 se cuantifican el valor del flúor en cada una de las muestras.

Tabla 7

Datos de muestras

No de muestras	Valor (mg/l de flúor)	No de muestras	Valor (ppm de flúor)	No de muestras	Valor (ppm de flúor)
1	10.5	81	10.5	162	10.9
2	11.5	82	11.3	163	10.8
3	7.03	83	13.2	164	11.7
4	8.45	84	10.4	165	11
5	11	85	9.66	166	12.1
7	10.7	86	7.18	167	11.8
8	13	87	11.7	168	11.6
9	11.5	88	12.9	169	12.9
10	11.8	89	11.8	170	13.2
11	12.5	90	11.2	171	12.3
12	13.2	91	10	172	10.5
13	12	92	11	173	11.3
14	11.8	93	7.03	174	13.2
14	12.8	94	8.45	175	10.4
15	10.2	95	11	176	9.5
16	12.6	96	10	177	7.2
17	12.2	97	13	178	11.7
18	11.5	98	11.5	179	12.9
19	8.022	99	11.8	180	11.8
20	10.8	100	12.4	181	11.2
21	6.43	101	13	182	10.5
22	6.92	102	12	183	11.5
23	11.4	103	11.8	184	7.5
24	9.16	104	12.8	185	5.8
25	10.1	105	10.2	186	11
26	12	106	12.6	187	10.7
27	11.9	107	12.2	188	13
28	11.6	108	11.5	189	11.5
29	9.59	109	8.022	190	11.8
30	10.7	110	10.8	191	12.5
31	6.55	111	6.5	192	13.2
32	11.1	112	7	193	12
33	5.83	113	11.5	194	11.8

Continuación					
34	13.1	114	9.2	195	12.5
35	11.4	115	10.1	196	11.5
36	11.8	116	12.5	197	10.5
37	5.61	117	11.9	198	10.8
38	9.55	118	11.5	199	11.5
38	10.4	119	10	200	8.2
39	10.6	120	1.7	201	10.8
40	10.5	121	6.7	202	6.5
41	11.4	122	11.1	203	6.9
42	11.4	123	5.7	204	11.4
43	9.95	124	13.1	205	9.2
44	10.4	125	11.4	206	10.1
45	11.4	126	11.8	207	12
46	11.8	127	6.5	208	11.9
47	11.4	128	9.5	209	11.6
47	12.9	129	10.3	210	9.6
48	11.6	130	10.5	211	10.7
49	12.9	131	10.5	212	6.5
50	9.82	132	11.5	213	11.1
51	13.8	133	12.5	214	5.9
52	11	134	9.5	215	13.1
53	10.9	135	10.5	216	11.4
54	11.9	136	11.5	217	11.8
55	13.6	137	11	218	6.5
56	11.1	138	11.5	219	9.6
58	11.6	139	12.9	220	10.4
59	11.6	140	11.7	221	10.5
60	10.6	141	13	222	11.5
61	10.2	142	9.8	223	10.5
62	12.1	143	14	224	11
63	11.2	144	12	225	10
64	12.2	145	11	226	10.4
65	10.5	146	12	227	11.5
66	11.3	147	14	228	11.7
67	13.1	148	11.2	229	11.4
69	11.6	150	11.7	230	13
70	10.9	151	11.8	231	11.6
71	10.9	152	11.5	232	12.9
72	10.8	153	11	233	9.7
73	11.7	154	12.5	234	13.5

Continuación					
74	11	155	11.5	235	11.2
75	12.1	156	12.2	236	10.5
76	11.8	157	10.5	237	11.8
77	11.6	158	11.5	238	13.7
78	12.9	159	14	239	11.4
79	13.2	160	11		
80	12.3	161	10.5		

Analizando las muestras tomadas, se evidencia que los datos se encuentran dentro de un valor mínimo de 1.7 y un valor máximo de 14.5 ppm, generando un promedio de 10.9. En la Tabla 8 se analiza los datos estadísticos de las muestras de agua.

Tabla 8

Análisis estadísticos de las muestras de agua

Media	10.9
Error típico	0.1
Mediana	11.4
Moda	11.5
Desviación estándar	1.9
Varianza de la muestra	3.5
Curtosis	3.1
Coefficiente de asimetría	-1.5
Rango	12.3
Mínimo	1.7
Máximo	14.0
Suma	2601.7
Cuenta	238

Utilizando el Excel, los resultados arrojan los diferentes datos que se encuentran en las Tablas 8, 9 y 10. Dado a lo anterior, en la Tabla 8, se analiza lo siguiente:

- La media o el promedio del valor encontrado, según las muestras tomadas, es de 11.5
- El error típico, o cuánto se apartan los valores en la muestra, es de 0.1

- La mediana, o la posición promedio del cálculo de los datos, se encuentran en 11.4.
- La moda, o el dato que más se repite, es el 11.5.
- La desviación estándar, o la medida de dispersión de los datos, se encuentra dentro de un valor de 1.9.
- Coeficiente de asimetría se encuentra en el sesgo – con un valor de 1.5.
- El rango, o la diferencia que existe entre el valor mayor y el menor en la distribución, se encuentra en 12.3.
- El valor mínimo arrojado en las muestras tomadas es de 1.7 ppm.
- El valor máximo arrojado de las muestras tomadas se encuentra en 14.

En la Tabla 9 se presenta el conjunto de datos de tendencia central más utilizados.

Tabla 9.

Análisis de la tendencia central

Medidas de Tendencia Central	
Media	10.9
Mediana	11.4
Moda	11.5
Primer Cuartil	10.5
Tercer Cuartil	11.8

- La media, o el promedio del valor encontrado, según las muestras tomadas, es de 10.9.
- La mediana, o la posición promedio de cálculo de los datos, se encuentra en 11.4.
- La moda, o el dato que más se repite, es el de 11.5.

En la Tabla 10 se tiene la medida de dispersión de los diferentes datos.

Tabla 10

Datos de medidas de dispersión

Medidas de Dispersión	
Desviación estándar	1.9
Varianza de la muestra	3.5
Coefficiente de asimetría	-1.5

Según el valor aprobado por el Ministerio de Protección Social en el decreto 2115 del 2007, se establece que el nivel permitido para el consumo diario de flúor en el agua que distribuye el acueducto local no debe superar 1 mg/l; dato que no cumple con respecto al decreto, ya que las muestras tomadas en la vereda superan arrojando una moda de 11.5 mg/l.

Según la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) se manifiesta que los niveles permitidos para el consumo humano se encuentran entre 0.6 -0.8 mg/l, para las temperaturas de 26°C -32 °C. En ese sentido, considerando las condiciones parecidas a la población de estudio, se superan los valores, arrojados por las diferentes muestras.

10.4 Evaluación del óxido de magnesio como método de sorción de flúor.

El mecanismo de adsorción de fluoruro sugerido por Maliyekkal et al. (2010) indicó la existencia de fluoruro en la superficie de una nano-magnesia. Sin embargo, no hubo evidencia de formación de MgF_2 , lo que indica que la eliminación de fluoruro se produjo a través de la sustitución isomórfica de grupos hidroxilo por fluoruro en la red de la brucita. Esta reacción es posible, ya que tanto el F^- y OH^- son iones iso-electrónicos en la naturaleza y de tamaño similar. El mecanismo plausible para la remoción de fluoruro y la regeneración de una partícula de MgO se describe en la figura 1.

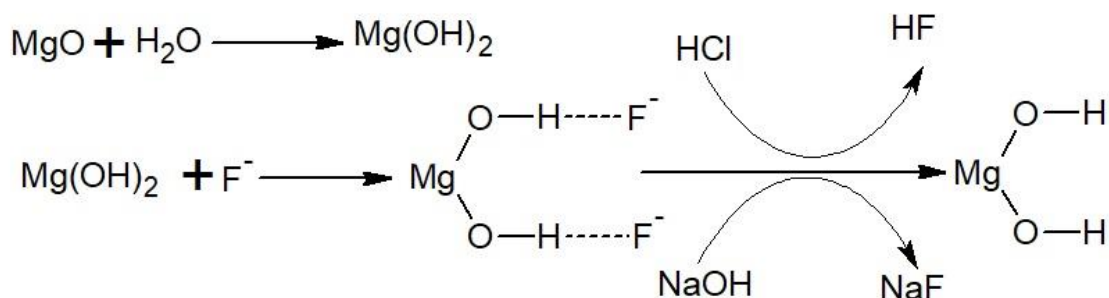


Figura 1. Mecanismos de eliminación de flúor plausible por MgO y su generación.

En una primera aproximación se evaluó la dosis de óxido de magnesio en la eliminación de fluoruro. De esta manera, se varió la dosis de MgO, manteniendo la concentración inicial de fluoruro en 10 mg/l. En la Tabla 11 y figura 2 se observa que el porcentaje de eliminación de fluoruro aumentó al aumentar la dosis de adsorbente. Es importante destacar que a partir de una concentración aproximada de 0.04 g/ml de MgO el porcentaje de flúor removido es prácticamente constante. Cabe destara que cada valor de solubilidad se presenta como el resultado del promedio de mínimo tres determinaciones con su respectiva desviación estándar, expresada aplicando el criterio del 3-30 (Shoemaker & Garland, 1968). Dichos valores se utilizaron para realizar los gráficos respectivos.

Tabla 11

Efecto de la concentración de MgO en la eliminación de fluoruro

Concentración de MgO / g/100 ml	Porcentaje de F ⁻ removido
0,05	9±4
0,20	20±4
0,50	36±3
1,00	54±7
2,00	74.0±2,7
3,00	81.1±2,0
5,00	89.8±2,3
8,00	90.7±0,5

Continuación

91.5±1,3

10,0

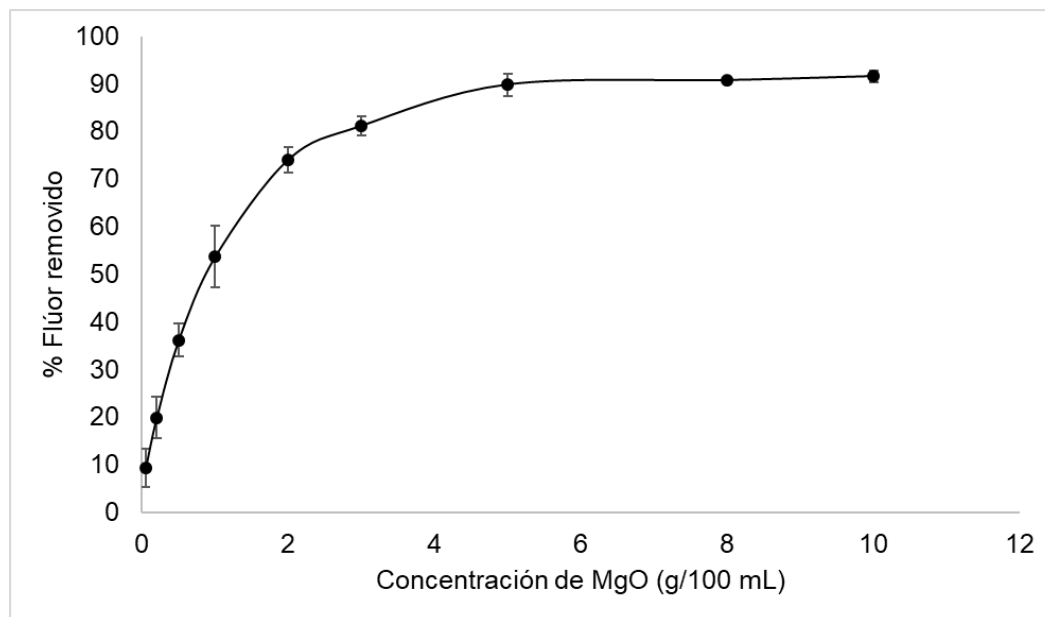


Figura 2. Efecto de la concentración de MgO en la eliminación de fluoruro.

A partir de los datos de la Tabla 12 se puede evaluar la influencia del pH en la sorción de F^{-1} , manteniendo constante la dosis de MgO (10 mg/l) en un rango de pH (3-11) (figura 4). Se encontró que la sorción de fluoruro por MgO es poco sensible a las variaciones de pH. Además se observó que el material en sí es de naturaleza básica y, por lo tanto, independientemente del pH inicial, el agua tratada, al final presenta pH entre 10 y 11 (figura 4). Resultados similares fueron obtenidos por Sairam et al. (2009). En caso de defluoración por óxido de magnesio. Maliyekkal et al (2010) también reportaron el bajo efecto del pH en la sorción del flúor por MgO.

Tabla 12

Influencias de pH en la sorción de flúor por MgO

pH	Porcentaje de F ⁻ removido
3,0	90,9±4,9
4,8	91,2±5,8

Continuación

7,5	91,9±2,5
9,2	92,6±3,8
11,0	89,7±4,5

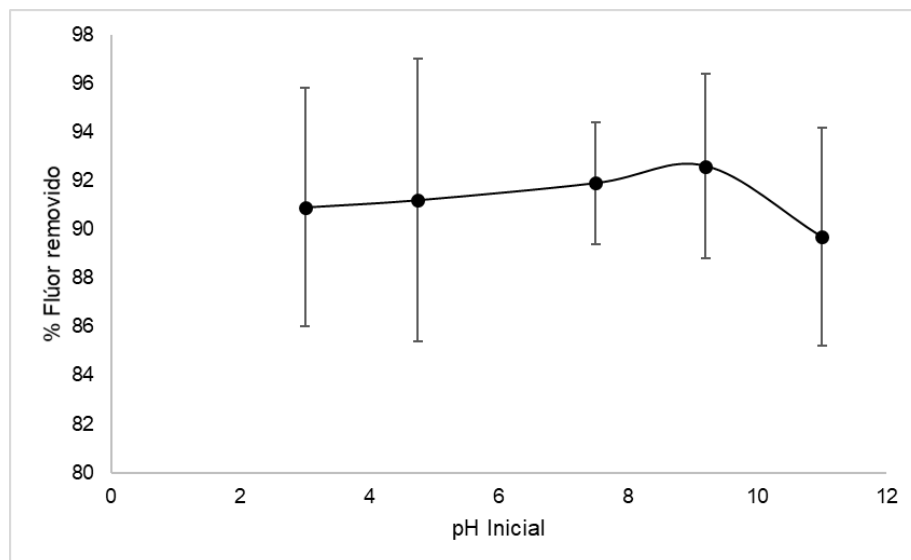


Figura 3. Influencias de pH en la sorción de flúor por MgO.

Si bien el pH no afecta de manera significativa la sorción de flúor, la influencia del MgO sobre el pH de la muestra tratada es una limitante importante para el tratamiento de aguas para el consumo humano ver tabla 13 y figura 4.

Tabla 13

Cambio de pH por la adición de MgO al agua para la sorción de flúor

pH Inicial	pH en Equilibrio
3,0	10,2
4,8	10,5
7,5	10,5
9,2	10,5
11,0	10,9

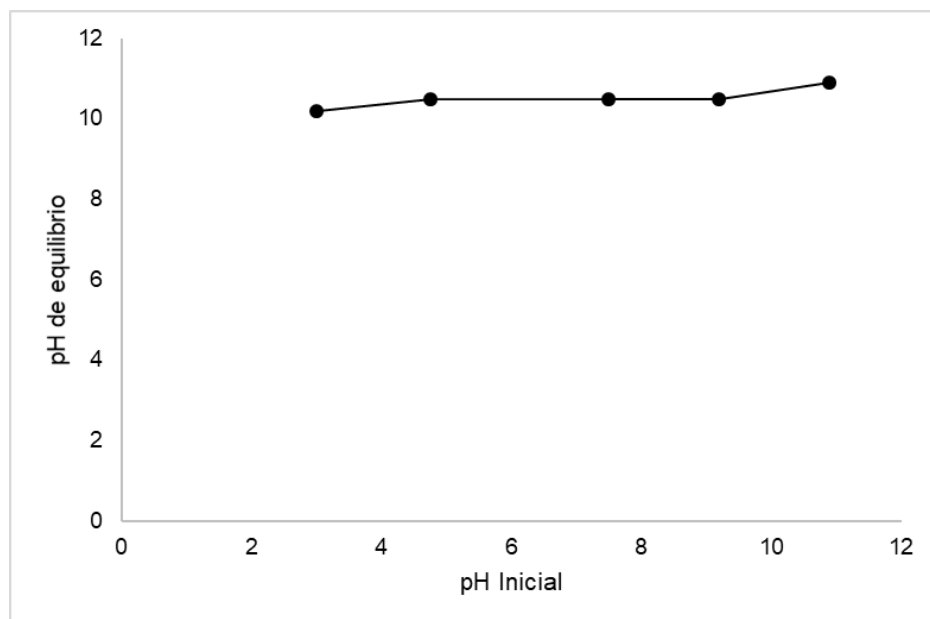


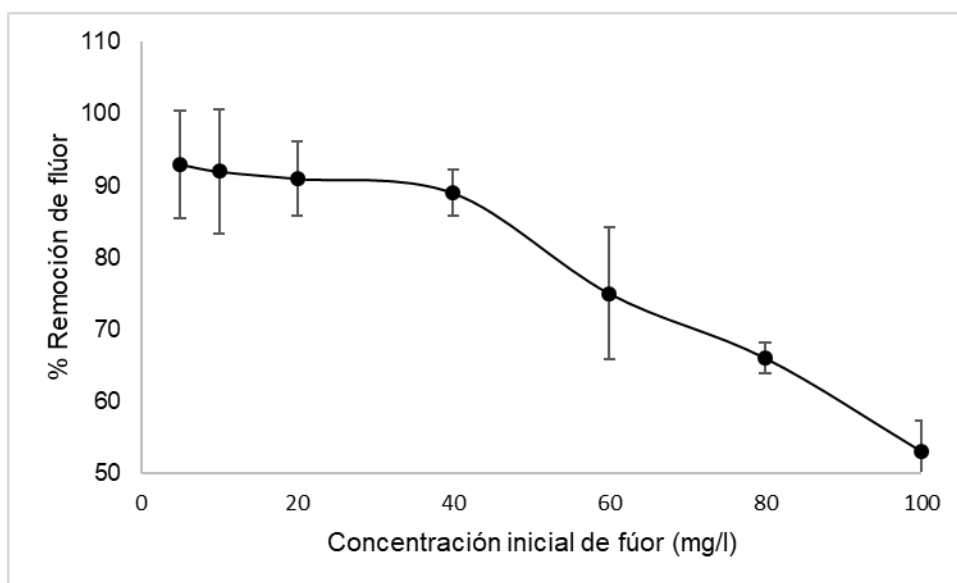
Figura 4. Cambio de pH por la adición de MgO al agua para la sorción de flúor.

Al evaluar el efecto de la concentración inicial de fluoruro en el porcentaje de eliminación de fluoruro se estudió variando la concentración inicial de fluoruro y manteniendo constantes todos los demás parámetros (Tabla 14), como la dosis de adsorbente (0,5 g/L), la velocidad de agitación (150 rpm) y el tiempo de contacto (2 h). El efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro se muestra en la figura 5. Se observó que el porcentaje de eliminación de flúor disminuía a medida que aumentaba la concentración inicial. Esto podría deberse al hecho de que a una mayor concentración de fluoruro, la capacidad de unión del adsorbente se aproxima a la saturación, lo que resulta en una disminución del porcentaje total de eliminación (Kagne et al., 2008).

Tabla 14

Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro

Concentración Inicial de Flúor	% de Remoción de Flúor
5	93±8
10	92±9
20	91±5
40	89±3
60	75±9
80	66±2
100	53±4

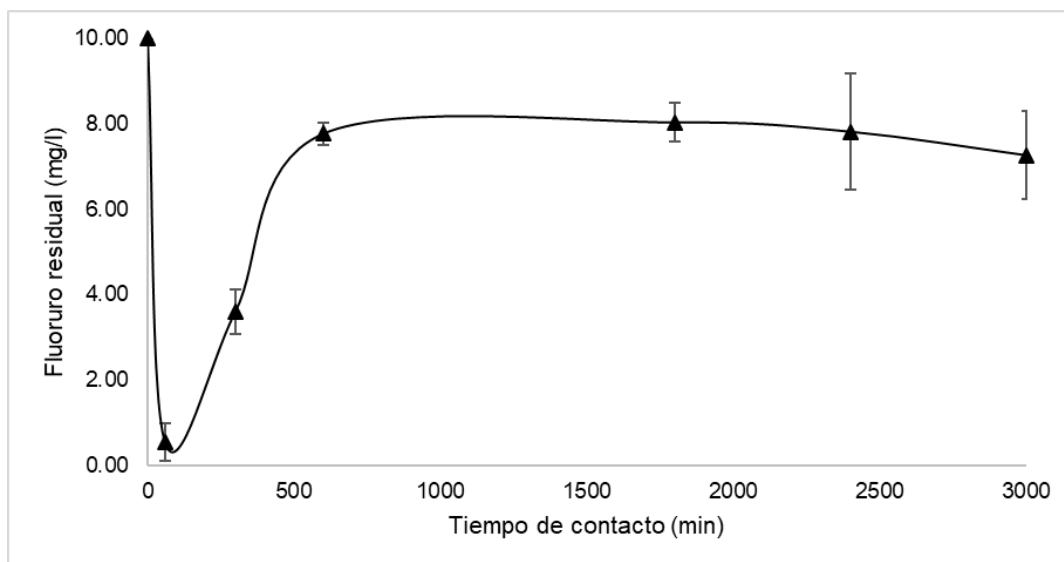
**Figura 5.** Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.

Al evaluar la sorción del ion flúor en función del tiempo (Tabla 15, figura 6) se observa que inicialmente se presenta una sorción importante. Sin embargo al transcurrir el tiempo se observa una desorción posiblemente a que el equilibrio de flúor+MgO es muy inestable.

Tabla 15

Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en MgO

Tiempo de contacto (minutos)	Flúor residual (mg/l)
1	10.000±0,001
60	0.5±0,4
300	3.6±0,5
600	7.77±0,25
1800	8.0±0,4
2400	7.8±1,4
3000	7.3±1,0

**Figura 6.** Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en MgO.

10.5 Evaluación de la alúmina activada como método de sorción de flúor.

La optimización del pH para la adsorción de fluoruro por parte de alúmina activada (Al_2O_3) es un paso importante teniendo en cuenta que el agua que se pretende tratar es para consumo humano, de otro lado, es necesario conocer las variables más relevantes en la sorción del ion flúor con la finalidad de optimar los procesos. Así, a partir de los datos de la Tabla 16 presentado en la figura 7 se evidencia que la eliminación de fluoruro es máxima (69.5%) a un pH de 7 y el cual fue

independiente de la dosis de sorbente y la concentración inicial de fluoruro. Por lo tanto, todos los experimentos se realizaron a pH 7. La razón probable de baja adsorción a pH >7 es que los silicatos y los iones hidroxilo pueden competir más fuertemente con los iones flúor por los sitios de intercambio de la alúmina. A pH < 7, los complejos de aluminio-fluoro solubles se forman dando como resultado la presencia de iones de aluminio en el agua tratada. Por lo tanto, es preferible llevar a cabo la defluoración a un pH normal del agua para evitar la disolución del aluminio y, además, no se requiere un tratamiento ácido/alcalino después del tratamiento.

Tabla 16

Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por alúmina activada

pH	Porcentaje de F ⁻ removido
4	65,3±3,3
6	67±4
7	69,3±3.2
8	68,0±2,5
10	66,6±2,3

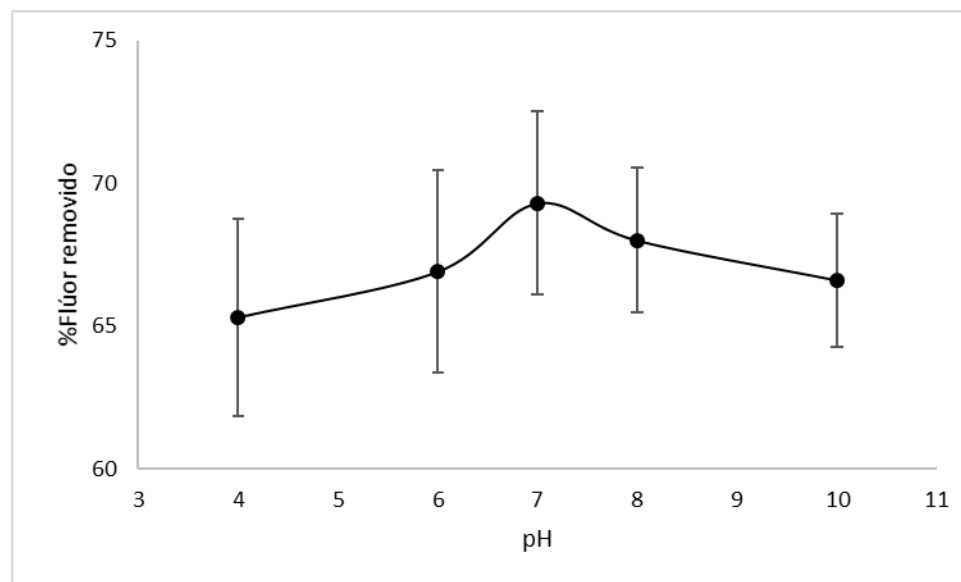


Figura 7. Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por alúmina activada.

Al evaluar, las variables, concentración inicial de iones flúor y efecto de la dosis de alúmina activada (Tabla 17 y Tabla 18) los resultados fueron muy distantes a los obtenidos con MgO figura

8 y figura 9). Partiendo de una solución con una concentración de 0.5 g/l hasta 100 g/l, la sorción de ion flúor se ve poco afectada por la concentración alúmina activa, situación que se repite al mantener constante la concentración de alúmina (20 g/L), la sorción de iones flúor, prácticamente permanece constante a estas concentraciones de iones flúor. A diferencia de MgO, la alúmina tiene una mayor capacidad de sorción. Si bien Bishop y Sansoucy (Bishop & Sansoucy, 1978) reportaron que la sorción de flúor por alúmina activada variaba entre 0,21 a 1,08 mg de F por cada gramo de Al_2O_3 , en esta investigación pudo establecer que dependiendo la calidad de la alúmina se puede llegar a remover hasta 5 mg de flúor por cada gramo de Al_2O_3 .

Tabla 17

Efecto de la dosis de Al_2O_3 en la eliminación de fluoruro

Concentración de Alúmina Activada / g/100 ml	Porcentaje de F^- removido
0,05	31±4
0,20	62±4
0,50	64,0±2,0
1,00	65,7±2,1
2,00	66,0±1,7
3,00	66,3±2,3
5,00	68,3±1,5
8,00	66,7±3,2
10,0	67,3±2,5

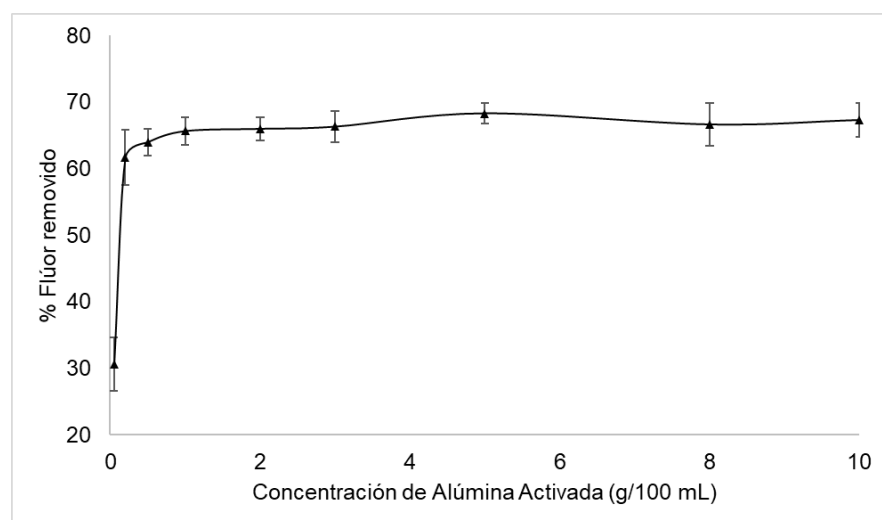


Figura 8. Efecto de la dosis de Al_2O_3 en la eliminación de fluoruro.

Tabla 18

Efecto de la concentración de fluoruro versus en la eliminación de fluoruro

Concentración Inicial de Flúor	% de Remoción de Flúor
5	68,2±2,3
10	67,1±3,2
20	65±5
40	64±4
60	69,3±1,2
80	64,1±2,1
100	63,1±2,3

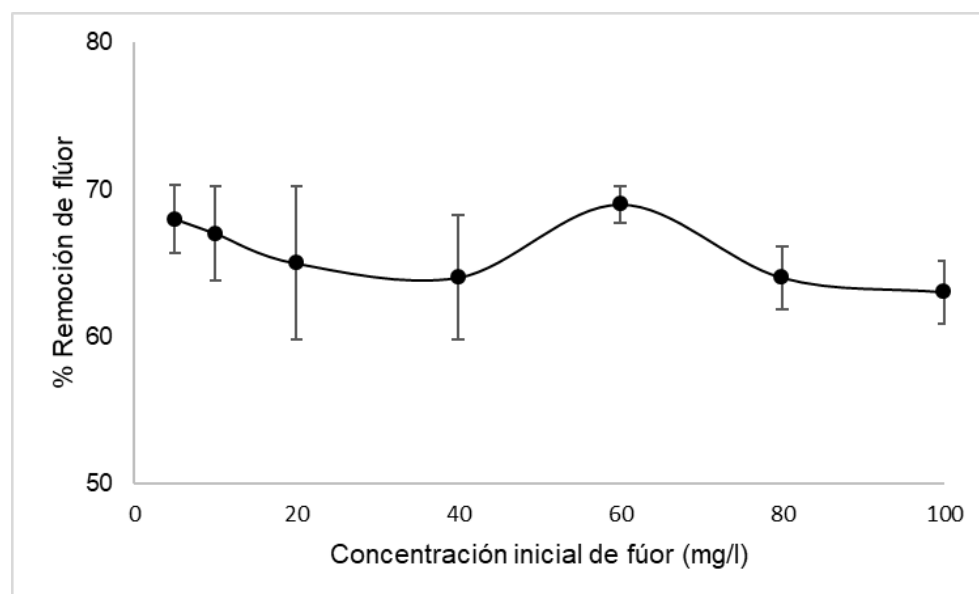
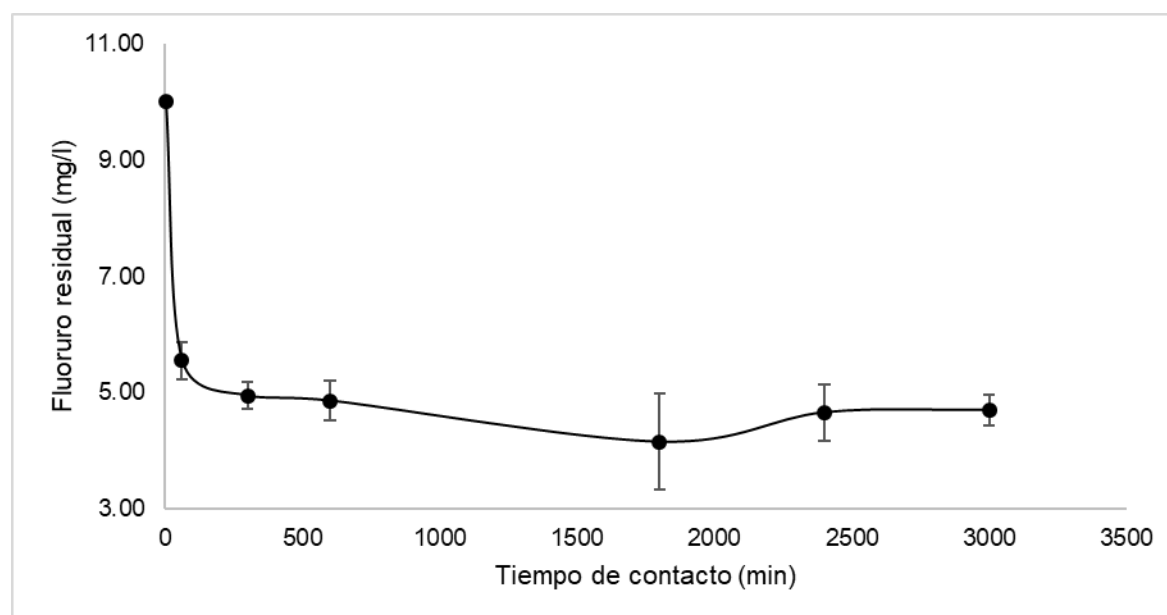


Figura 9. Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.

Al analizar la capacidad de remoción de iones flúor mediante alúmina en función del tiempo de contacto (Tabla 19, figura 10), siguiendo las mismas especificaciones del ensayo del MgO, se puede establecer que el tiempo de equilibrio es bastante bajo. De otro lado parece existir un equilibrio dinámico que, si bien permite reducir la concentración de flúor de manera rápida, impide eliminarlo al 100%.

Tabla 19.Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en Al_2O_3

Tiempo de contacto (minutos)	Flúor residual (mg/l)
1	10.000±0,001
60	5,55±0,33
300	4,95±0,24
600	4,9±0,4
1800	4,2±0,8
2400	4,7±0,5
3000	4,70±0,27

**Figura 10.** Comportamiento del proceso de sorción de fluoruro en función del tiempo en Al_2O_3 .

10.6 Hueso calcinado

Valenzuela et al (2011) informaron sobre el uso de hueso calcinado. En términos generales, el hueso está compuesto esencialmente por hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$.

Inicialmente se analiza el efecto que puede tener el pH en la sorción de flúor por parte del hueso calcinado. Así, en la Tabla 20 y Figura 11 se muestra el efecto del pH inicial frente a porcentaje de remoción de flúor. Se puede ver que el aumento en el valor de pH disminuye el

porcentaje de eliminación de flúor por el hueso calcinado. Esto podría explicarse debido al cambio en la carga superficial del adsorbente. El punto de carga cero es un concepto relacionado con el fenómeno de la adsorción, y se encontró que el valor de este es de pH 7,5. Cuando el pH de la solución estaba por debajo del pH de punto de carga cero, los aniones flúor se atraen a la superficie de cargada positivamente del hueso calcinado, causado por la protonación de los grupos hidroxilo de la hidroxiapatita. A un pH por encima del pH de punto de carga cero, la adsorción de aniones de fluoruro es leve debido que la superficie de hidroxiapatita se cargada negativamente, debido a la desprotonación de los grupos hidroxilo de la hidroxiapatita.

Tabla 20

Efecto del pH en la adsorción de fluoruro por hueso calcinado

pH	Porcentaje de F ⁻ removido
3,0	87,0±2,5
4,8	85±4
7,5	84±4
9,2	64±3
11,0	54,1±1,5

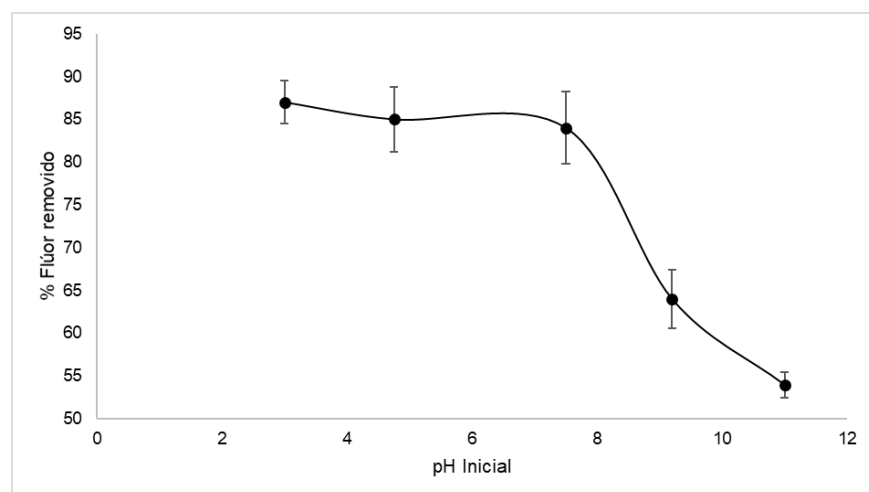


Figura 11. Efecto de pH en la adsorción de fluoruro por hueso calcinado.

En la Tabla 21 y figura 12 se puede ver que el aumento en el valor de la dosis de adsorbente aumenta el porcentaje de eliminación de flúor. Un aumento en la adsorción con la dosis de adsorbente puede atribuirse a un área de superficie mayor y a la disponibilidad de más sitios de adsorción a dosis de adsorbente más altas.

Tabla 21

Efecto de la concentración inicial de hueso calcinado

Concentración de Alúmina Activada / g/100 ml	Porcentaje de F ⁻ removido
0,05	23,0±2,6
0,20	31,7±3,1
0,50	40±5
1,00	66±4
2,00	83,0±2,6
3,00	84,7±3,2
5,00	94,7±1,5
8,00	94,0±1,0
10,0	94,3±1,2

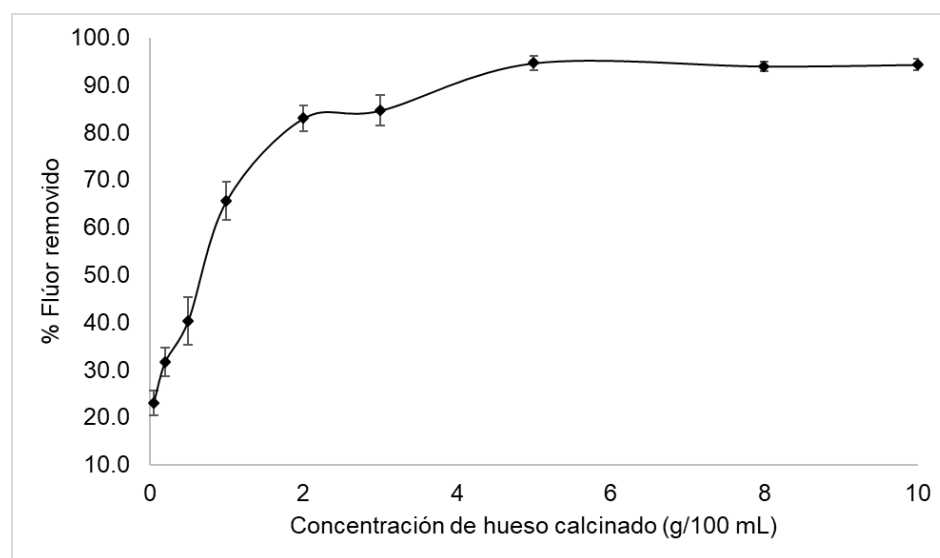


Figura 12. Efecto de la concentración inicial de hueso calcinado.

La adsorción de fluoruro sobre hueso calcinado se realizó a diferentes concentraciones iniciales de fluoruro que van desde 5 a 10 mg/l (Tabla 22). La figura 13 muestra el efecto de las

concentraciones iniciales de fluoruro en la adsorción mientras se mantienen constantes dos parámetros (pH y masa de hueso calcinado). Se puede apreciar que el porcentaje de eliminación aumenta con el aumento de la concentración de fluoruro hasta 5-40 mg/l y luego muestra una disminución. Mourabet et al, reporta un resultado similar, empleado hidroxiapatita pura (Mourabet et al., 2015), el cual es principal componente del hueso.

Tabla 22

Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro

Concentración Inicial de Flúor	% de Remoción de Flúor
5	85,1±2,3
10	86,3±3,2
20	90±5
40	95,2±2,3
60	85,2±3,2
80	75,4±1,2
100	70,3±3,2

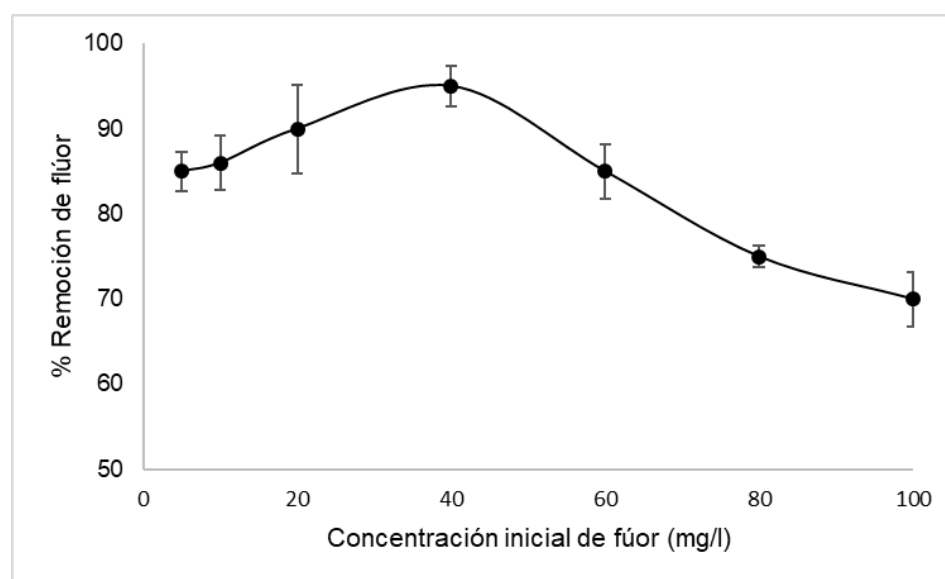


Figura 13. Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la eliminación de fluoruro.

Finalmente, en la Tabla 23 y figura 14 se analizan la capacidad del hueso calcinado para remover el flúor del agua. Así se puede observar que en los 10 primeros minutos se presenta la mayor sorción por parte del material y posteriormente se presenta una desorción, sin embargo, es

claro que se puede eliminar has del 60% del flúor del agua utilizado este material, el cual es de muy bajo costo.

Tabla 23

Comportamiento de la sorción de fluoruro utilizando 20 g/l de hueso calcinado

Tiempo de contacto (minutos)	Flúor residual (mg/l)
1	10.000±0,001
60	5,0±1,0
300	2,7±0,6
600	4,0±1,0
1800	4,3±0,6
2400	2,7±0,6
3000	3,2±0,3

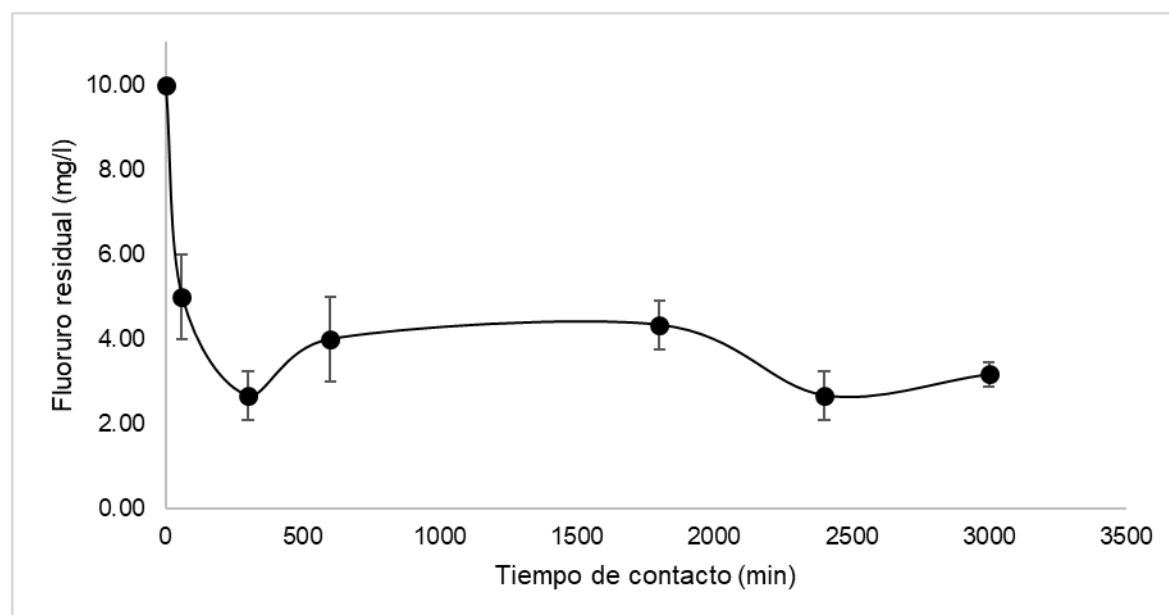


Figura 14. Comportamiento de la sorción de fluoruro utilizando 20 g/l de hueso calcinado.

Estos resultados concuerdan con los publicados por Valenzuela et al (2011).

10.7 Destilación

Debido a que todas las técnicas empleadas no eliminan el flúor en un 100% los destiladores solares pueden ser una alternativa a la problemática planteada. Al tomar una muestra de agua con

una concentración 10 $\mu\text{g/ml}$ de ion flúor, y destilarla la concentración de flúor pasa a concentraciones trazas de 10 ng/ml , lo cual se encuentra sobre el límite cuantificación del equipo, lo que convierte la destilación en una gran alternativa.

Un ventaja de la destilación solar es que los destiladores solares son muy simples, baratos y usan energía “solar” y no requieren un alto grado de energía, además, no producen gases nocivos por uso de combustibles. De otro lado, los destiladores solares son fáciles de construir y operar, por lo que es una tecnología que puede proporcionar agua a hogares y pequeñas comunidades. El diseño y la fabricación de los destiladores solares son simples, lo que produce un rendimiento de aproximadamente 4–6 $\text{l}/(\text{m}^2/\text{días})$ (Al-Karaghoulí, Renne y Kazmerski, 2009), lo cual es suficiente para la una familia pequeña. Kumar y Tiwari (2009) sugirieron que una planta de destilación solar con una capacidad inferior a 200 kg/día es más económico que otros tipos de plantas desalinizadoras, teniendo presente que su investigación está relacionada con desalinizar agua. Un investigación realizada por Kumar et al (2009), sobre sistemas solares activos y pasivos, recomendaron los destiladores solares pasivos de doble pendiente para obtener agua dulce para una comunidad rural. Se adoptó un sistema de seguimiento solar computarizado de un solo eje de este a oeste para el destilador solar, observándose un incremento en la producción de agua del 22% en comparación con el destilador solar de tipo fijo.

De otro lado, Al-Hinai et al (2002) realizaron un estudio paramétrico en una pirámide solar convencional de doble pendiente y una sola cuenca. El rendimiento del destilador se evaluó en condiciones óptimas de diseño, obteniendo un rendimiento solar anual promedio de aproximadamente 4 l/m^2 día.

Finalmente, Chandrashekara y Yadav (2017) presentan un muy buen compendio de investigaciones que resaltan las ventajas de los evaporadores solares frente a la purificación de

agua. Cabe aclarar que los resultados obtenidos en esta investigación corresponden a los obtenidos mediante destilación convencional de agua en el laboratorio de investigaciones de la Universidad Cooperativa de Colombia. Por los que el tema de destiladores solares se propone como una alternativa de solución para reducir las altas concentraciones de flúor de algunas aguas subterráneas del departamento del Huila.

11 Plan estratégico para la disminución de flúor en agua potable suministrada por el acueducto de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila

Objetivo: Disminuir el nivel de flúor en el acueducto de la vereda del Juncal Municipio de Palermo para así cumplir con lo establecido por el Ministerio Nacional.

Análisis de la situación actual:

- Historia: El departamento de Huila cuenta con una vereda llamada El Juncal, la cual pertenece al municipio de Palermo ubicado en el norte del departamento del Huila a unos 25 minutos aproximados de la ciudad de Neiva. La temperatura promedio es de 29°C. Población de unas 390 viviendas aproximadamente con área total de 4 hectáreas.
- Estructura organizativa: El municipio de Palermo administrativamente está en cabeza del Alcalde Municipal y éste se apoya para llevar a cabo su plan de Gobierno en las siguientes secretarías: general, hacienda, planeación, salud, cultura. De igual rango se encuentra la unidad de tránsito y control interno.
- Evolución del pueblo: La empresa de acueducto que suministra el agua a la vereda del Juncal, toma este recurso de un pozo profundo que se encuentra ubicado a una profundidad de 200 metros y luego es enviado a la planta de tratamiento de agua para posteriormente ser suministrada a los habitantes sin cumplir con el índice de flúor según lo en los lineamiento establecido por el ministerio de protección.

- Legal: La Presidencia de la república de Colombia a través del Ministerio de la Protección Social ha establecido un sistema de regulación y control de la calidad del agua, de igual manera estipula las características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia, la misma contenida en el Decreto 1757 del 2007 y reglamentada bajo en la resolución 2115 del 2007.
- Económico: El factor económico del municipio de Palermo se obtiene de la extracción del sector de hidrocarburos, calizas, materiales para la construcción, agrícola y pecuaria. En la vereda del Juncal existe actividad comercial que se refleja por el turismo que visita al centro recreacional Comfamaliar, que este hace que exista restaurantes, tiendas, entre otros.
- Tecnológico: La vereda del Juncal depende del distrito de riego para sus cultivos, tomando el agua del rio magdalena para así ser distribuida.

11.1 Diagnóstico (DOFA)

Debilidades	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento según lo estipulado por el ministerio de protección social. - Empresa certificada para verificar de la calidad de agua. - Vigilancia a la empresa que realiza el análisis de las muestras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar diseño o plan de mejora para la calidad de agua potable. - Trabajar de manera coordinada con el instituto de salud para tomar acciones correctivas respecto a los resultados obtenidos.
Fortalezas	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> - Cuenta con acueducto para el tratamiento de agua de los habitantes. - Se realiza seguimiento a según lo estipulado en 2115 del 2007. 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda a la empresa de acueducto por la distribución de agua en condiciones no aptas. - No cumplir con la resolución 2115 del 2007.

11.2 Plan de acción

Acciones individuales:

La empresa del acueducto local debe cumplir el decreto 1575 del 2007 y la resolución 2115 de 2007. Estos documentos buscan la protección y calidad de agua soportada por medio de monitoreo y control para evitar atentar contra la salud humana.

- Diseñar y mejorar las condiciones de la planta de tratamiento de agua permitiendo la utilización de nuevas tecnologías.
- Dejar evidencia de los seguimientos o monitoreo realizados como soporte de cumplimiento de la resolución.

Acciones colectivas:

- Realizar capacitaciones de manera periódica a los operadores que tiene a cargo la planta de tratamiento.
- Trabajar de forma cooperativa entre el acueducto veredal, municipal y la alcaldía para tomar acciones de mejora.
- Trabajar de manera coordinada con las autoridades de salud para consolidar, registrar, controlar lo establecido en la normatividad.

11.3 Seguimiento y evaluación.

- El agua para el consumo humano debe cumplir con las características estipulada en la resolución 2115, para lo cual establece la periodicidad de medición de la calidad física y química del agua. A continuación en la Tabla 24 se describe la cantidad de muestras analizadas para la población.

Tabla 24

Tabla de frecuencia

Característica	Frecuencia	Número mínimo de muestra a analizar por frecuencia
COT, fluoruros	Anual	2

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

Con los métodos analizados de óxido de magnesio, Al_2O_3 y hueso calcinado son materiales que tiene buena sorción de flúor pero estos una vez de saturan de esta concentración perdiendo eficiencia y se debe cambiar el material. Por esta razón se requieren grandes materiales para tratar agua en grande volúmenes.

Se propone un destilador solar en la que el agua por medio de la radiación solar se calienta y mejora su calidad (Singh, Singh, Mallick y Kumar, 2018). Esa transferencia de calor se produce un efecto de ebullición donde se evaporar o condensa las partículas para luego convertirse en agua libre de flúor.

12 Conclusiones

➤ El punto de captación de agua que sirve como suministro para el acueducto en la vereda El Juncal es un pozo con profundidad de 210 metros, en el que los diferentes tipos de suelo le aportan propiedades al fluido generando cambios en sus condiciones iniciales.

➤ El análisis estadístico muestra que la concentración de flúor en el ducto de inicio de distribución a la población de la vereda El Juncal, de Palermo, Huila se encuentra alrededor de un valor de 10.9 mg/l, dato superior a lo establecido en el decreto 2115 del 2007, que establece que el consumo permitido en el agua es de 1 mg/l, siendo incoherente con lo manifestado por los diferente organismos de control como lo es la Organización Mundial de la Salud.

➤ El uso de la moringa como material de sorción de fluor, está limitado por la alta tendencia a la descomposición de la matriz vegetal, esto conduce a que si bien puede llegar a retener flúor en su matriz la descomposición genera malos olores lo que causaría una mayor contaminación.

➤ Al emplear MgO para evaluar el porcentaje de remoción del flúor, los datos muestran que éste resulta ser efectivo ya que al aumentar la dosis del absorbente se aumenta la cantidad de eliminación de flúor, se evidencia que el desempeño del absorbente es directamente proporcional a cantidades de sorción. Al revisar el parámetro de pH no afecta de manera significativa la sorción de flúor, la influencia del MgO sobre el pH de la muestra tratada es una limitante importante para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano ya que le proporciona acides.

➤ El valor de pH disminuye el porcentaje de eliminación de flúor con la utilización de hueso calcinado. Esto se explica debido al cambio en la carga superficial del adsorbente. En los 10 primeros minutos se presenta la mayor sorción por parte del material y posteriormente se presenta una desorción, sin embargo, es claro que se puede eliminar hasta el 60% del flúor del agua utilizado este material.

➤ Con los métodos analizados de óxido de magnesio, Al_2O_3 y hueso calcinado se afirma que son materiales que generan buena sorción de flúor, pero una vez se saturan, la concentración pierde eficiencia y se debe cambiar el material. Por esta razón se requieren grandes materiales para tratar agua en grandes volúmenes.

13 Referencias bibliográficas

Actualizaciones en Pediatría Ambulatoria Febrero 2006 Flúor y prevención de caries en los niños. (2006), 1–9.

Al-Karaghoul, A., Renne, D., & Kazmerski, L. L. (2009). Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.05.007>

Alkurdi, S. S. A., Al-Juboori, R. A., Bundschuh, J., & Hamawand, I. (2019). Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. *Environment International*, 127(December 2018), 704–719. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065>

Avila Carreras, N. M., Farias, S. S., Bianco, G., & Bovi Mitre, M. G. (2008). Determinación de Fluoruros en Aguas de Rinconadillas. *Acta Toxicológica de Argentina*, 16(1), 14–20.

Avila Carreras, N. M., Farías, S. S., Bianco, G., & Bovi Mitre, M. G. (2008). Determinación de fluoruro en aguas de Rinconadillas (Provincia de Jujuy). *Acta Toxicol. Argent*, 16(1), 14–20.

- Ayora Cañada, M. J. (2010). Análisis De Aguas. Departamento de Química Física y Analítica · Universidad de Jaén, 1–47. Retrieved from [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica analitica ambiental/tema 2010.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica_analitica_ambiental/tema_2010.pdf)
- Balagizi, C. M., Kies, A., Kasereka, M. M., Tedesco, D., Yalire, M. M., & McCausland, W. A. (2018). Natural hazards in Goma and the surrounding villages, East African Rift System. *Natural Hazards*, 93(1), 31–66. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3288-x>
- Bencardino, C. M. (2012). Décima tercera edición Estadística y muestreo www.FreeLibros.org. Ecoe Ediciones (Vol. 13).
- Bishop, P. L., & Sansoucy, G. (1978). Fluoride removal from drinking water by fluidized activated alumina adsorption. *Journal (American Water Works Association)*, 70, 554–559. <https://doi.org/10.2307/41269333>
- Choi, A. L., Sun, G., Zhang, Y., & Grandjean, P. (2012). Developmental fluoride neurotoxicity: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 120(10), 1362–1368. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104912>
- Cortés, V. (1978). Prof. Dr. Vicente J. Cortés 1. Carbón, 1–47. Retrieved from <http://www.factoria3.com/documentos/CARBON.pdf>
- Cunha Oliveira, R., & Ramos Machado Braga, J. (2015). *Atualiza Saúde | Salvador*, v. 2, n. 2, jul./dez, 51. Retrieved from <http://atualizarevista.com.br/wp-content/uploads/2015/07/frequencia-de-anticorpos-irregulares-em-serviço-de-transfusão-de-sangue-em-salvador-ba-no-período-de-2009-a-2013-v.2-n.2.pdf>
- Flúor, D. E. L., Fluoruro, E. L., Fluoruros, D. E. H. Y. L. O. S., Como, F., & Hexafluoruro, E. E. L. (2007). Flúor , Fluoruro De Hidrógeno Y Fluoruros Inorgánicos , Como F , Excepto El Hexafluoruro De Uranio, 7.

Retrieved from

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Valores_Limite/Doc_Toxicologica/FicherosSerie2/DLEP 33.pdf

- Frazão, P., Peres, M. A., & Cury, J. A. (2011). Drinking water quality and fluoride concentration. *Revista de Saúde Pública*, 45(5), 964–973. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102011005000046>
- Fuentes, I. H. G., Riverón, J. D. D. E., Hernández, F. M., & Díaz, J. D. Z. (2007). Fluorosis dental: No solo un problema estético. *Revista Cubana de Estomatología*, 44(4), 1–12.
- García, F. (2006). Eliminación renal de flúor tras la aplicación de productos tópicos fluorados utilizados en la prevención de caries dental en el niño.
- García Melián, M., Sosa, M., Cuéllar, L., Rodríguez, L., & Cangas Rancaño, R. (2002). Sistema de vigilancia de fluoruro en aguas de consumo en Cuba TT - System of surveillance of fluoride in drinking water in Cuba. *Rev. Cuba. Hig. Epidemiol*, 40(2), 136–142.
- Gogula, S., Vaseem, M., Srilalitha, S., Indushree, R., & Kolli, S. K. (n.d.). An Emphasis of Fluoride Effect on Human health and Treatment- Review, 181–190.
- Guzmán B, B. L., Nava T, G., & Bevilacqua, P. D. (2016). Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2). <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n2a06>
- Hayacibara, M. F., Queiroz, C. S., Pereira, C., Tabchoury, M., & Cury, J. A. (2004). Fluoride and aluminum in teas and tea-based beverages Flúor e alumínio em chás e bebidas à base de chás. *Science of the Total Environment*, The, 38(1), 100–105.
- Horwitz, W. (1982). Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. *Analytical Chemistry*, 54(1), 67–76. <https://doi.org/10.1021/ac00238a002>

- IDEAM. (2015). Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia.
- Isarra Delgado, L., & Alfaro Fontaine, D. (2013). El agua es un derecho humano, 1–42.
- Janet, M., Garzón, G., Gil, M. J., Adriana, /, Soto, M., Usma, J. I., & Darío Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73.
- Kagne, S., Jagtap, S., Dhawade, P., Kamble, S. P., Devotta, S., & Rayalu, S. S. (2008). Hydrated cement: A promising adsorbent for the removal of fluoride from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 88–95. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2007.09.111>
- Kumar, S., & Tiwari, G. N. (2009). Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.005>
- Luna, L. C., Esquivel, E. M., Rodríguez, A. del P., Cantillo, G. M., Aguilar, I. G., & Rosales, M. S. (2012). Distribución espacial de los fluoruros en fuentes de abasto de aguas subterráneas en cuatro Provincias de Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 50(3), 365–379.
- Magnusson, B., & Örnemark, U. (2014). *he Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics* (2nd ed.).
- Malde, M. K., Zerihun, L., Julshamn, K., & Bjorvatn, K. (2004). Fluoride, calcium and magnesium intake in children living in a high-fluoride area in Ethiopia. Intake through food. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 14(3), 167–174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2004.00513.x>
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Jürgen, P. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera* . Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137–149.

<https://doi.org/10.1029/2005WR004578>

Mas, M., Martinez, D., Carrasquero, S., & Vargas, L. (2011). Uso de la moringa oleifera para el mejoramiento de la calidad del agua de un efluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 45(2), 12. Retrieved from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/boletin/article/download/289/289>

Mera Alegria, C. F., Gutiérrez Salamanca, M. L., Montes Rojas, C., & Paz Concha, J. P. (2016). Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)

Meza-leones, M., Riaños-donado, K., Mercado-martínez, I., & Olivero-verbel, R. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and Moringa oleifera seeds in the c, 17(2), 95–103. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

Mezquita, B. (n.d.). Obtención de parámetros para el aprovechamiento geotérmico a partir de datos hidrogeológicos.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). Documento Técnico Perspectiva Del Uso Del Fluor Vs Caries Y Fluorosis Dental En Colombia. Minsalud, 1–89.

Mourabet, M., El Rhilassi, A., El Boujaady, H., Bennani-Ziatni, M., El Hamri, R., & Taitai, A. (2015). Removal of fluoride from aqueous solution by adsorption on hydroxyapatite (HAP) using response surface methodology. *Journal of Saudi Chemical Society*. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.03.003>

- Mukherjee, I., & Singh, U. K. (2018). Groundwater fluoride contamination, probable release, and containment mechanisms: a review on Indian context. *Environmental Geochemistry and Health*, 1–43. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0096-x>
- Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. *Cvonlineuaehedumx*, 114. Retrieved from http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Especialidad/Modulo1_PDF/Gen12/ESTEM01T01E08.pdf
- Oganessian, E., Ivancakova, R., Lencova, E., & Broukal, Z. (2011). Alimentary fluoride intake in preschool children. *BMC Public Health*, 11, 768. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-768>
- Ponikvar, M., Stibilj, V., & Žemva, B. (2007). Daily dietary intake of fluoride by Slovenian Military based on analysis of total fluorine in total diet samples using fluoride ion selective electrode. *Food Chemistry*, 103(2), 369–374. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.07.032>
- Ripp, J. (1996). Analytical Detection Limit Guidance & Laboratory Guide for Determining Method Detection Limits. (L. C. P. Wisconsin Dept. of Natural Resources, Ed.) (1st ed.). Wisconsin.
- Rodríguez, M., Flores, S., Rangel, M., Cubillán, L., & Argotte, A. (2015). Un estudio de la remoción de manganeso (II) a partir de sistemas acuosos usando cápsulas de moringa oleifera como bioadsorbente, 46(Ii), 424–433.
- Sanna, G., Pilo, M. I., Piu, P. C., Tapparo, A., & Seeber, R. (2000). Determination of heavy metals in honey by anodic stripping voltammetry at microelectrodes. *Analytica Chimica Acta*, 415(1–2), 165–173. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)00864-3](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00864-3)
- Sant'Anna-Santos, B. F., & Azevedo, A. A. (2011). Toxicidade e acúmulo de flúor em hortaliças nas adjacências de uma fábrica de alumínio. *Acta Botanica Brasilica*, 24(4), 952–963. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062010000400010>

Shoemaker, D. P., & Garland, C. W. (1968). Experimentos de fisicoquímica (2da ed.). Ciudad de México:

Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana,.

Singh, A. K., Singh, D. B., Mallick, A., & Kumar, N. (2018). Energy matrices and efficiency analyses of solar distiller units: A review. *Solar Energy*, 173(February), 53–75.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.020>

Valdez-Jiménez, L., Soria Fregozo, C., Miranda Beltrán, M. L., Gutiérrez Coronado, O., & Pérez Vega, M. I. (2011). Efectos del flúor sobre el sistema nervioso central. *Neurología*, 26(5), 297–300.

<https://doi.org/10.1016/j.nrl.2010.10.008>

Valenzuela, L., Ramírez-Hernández, J., Sol, J. A., & Reyes, J. A. (2011a). Alternativas para la eliminación doméstica de fluor en el agua de consumo humano. *Informacion Tecnologica*, 22(2), 23–32.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200004>

Valenzuela, L., Ramírez-Hernández, J., Sol, J. A., & Reyes, J. A. (2011b). Alternativas para la eliminación doméstica de fluor en el agua de consumo humano. *Informacion Tecnologica*, 22(2), 23–32.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200004>

Verma, K. K., Singh, M., & Verma, C. L. (2018). Fluoride in water : A risk assessment perspective. *Asian Journal of Botany*, 1, 1–8. <https://doi.org/10.63019/ajb.v1i2.448>

Zaror, C., Vallejos, C., Corsini, G., de la Puente, C., Velásquez, M., Tessada-Sepúlveda, R., ... Vega-Rodríguez, G. (2015). Revisión Sistemática sobre los Efectos Adversos de la Fluoración del Agua.

International Journal of Odontostomatology, 9(1), 165–171. [https://doi.org/10.4067/S0718-](https://doi.org/10.4067/S0718-381X2015000100025)

[381X2015000100025](https://doi.org/10.4067/S0718-381X2015000100025)