



Remoción del fluoruro en agua potable por precipitación-floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal

Fluoride removal in drinking water by precipitation-flocculation with aluminum polychloride and lime milk

Remoção de flúor em água potável por precipitação-flocação com policloreto de alumínio e leite de cal

Ornela Pancca¹

Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Puno, Perú
opanccap@est.unap.edu.pe

Gregorio Palomino

Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Puno, Perú
 <https://orcid.org/0000-0002-0775-9787>
gpalomino@unap.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.35622/j.rca.2022.02.001>

Recibido: 02/04/2022 Aceptado: 01/06/2022 Publicado: 08/06/2022

PALABRAS CLAVE

fluoruro, policloruro de aluminio, cal, coagulación, floculación.

RESUMEN. El estudio consistió en evaluar el porcentaje de remoción de fluoruro de agua potable por precipitación y floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal. La investigación comprende el tratamiento de aguas de pozo del altiplano el cual fue llevado a cabo a nivel de laboratorio con la finalidad de remover el fluoruro de agua potable. Según los monitoreos realizados las aguas de pozo de Taraco contienen 2,23 mg/L de F y las aguas de pozo Juli 2,20 mg/L de F. Los resultados del proceso de remoción de fluoruro con poli cloruro de aluminio fueron de 56%, con una reducción de 2,23 mg/L F a 0,98 mg/L F. Durante el proceso de floculación fue controlado el pH, el tiempo y la velocidad de agitación. La remoción de fluoruro con lechada de cal se ha logrado reducir de 2,23 mg/L de F a 1,5 mg/L de F. Las pruebas experimentales de precipitación y floculación se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química. Los equipos utilizados son Test Jarra y pH metro. En cuanto al método estadístico se ha utilizado el diseño factorial 2², el cual ha permitido optimizar los parámetros del proceso de floculación.

KEYWORDS

ABSTRACT. The study consisted of evaluating the percentage of fluoride removal from drinking water by precipitation and flocculation with aluminum polychloride and lime milk. The research includes the treatment of well water from the highlands which was carried out at the laboratory level in order to remove fluoride from drinking water. According to the monitoring carried out, the water from the Taraco well contains 2.23 mg/L of F and the water from the Juli well contains 2.20

¹ Ingeniero Químico por la Universidad Nacional del Altiplano



fluoride, polyaluminum chloride, lime, coagulation, flocculation.

mg/L of F. The results of the fluoride removal process with poly aluminum chloride were 56 %, with a reduction from 2.23 mg/L F to 0.98 mg/L F. During the flocculation process, the pH, time and stirring speed were controlled. The removal of fluoride with milk of lime has been reduced from 2.23 mg/L of F to 1.5 mg/L of F. The experimental tests of precipitation and flocculation were carried out in the quality control laboratory of the Faculty of Chemical Engineering. The equipment used is Test Jar and pH meter. Regarding the statistical method, the 2' factorial design has been used, which has allowed optimization of the parameters of the flocculation process.

PALAVRAS-CHAVE

flúor, cloreto de polialumínio, cal, coagulação, floculação.

RESUMO. O estudo consistiu em avaliar a porcentagem de remoção de flúor da água potável por precipitação e floculação com policloreto de alumínio e leite de cal. A pesquisa incluiu o tratamento de água de poço do planalto que foi realizado em nível laboratorial para remover o flúor da água potável. De acordo com o monitoramento realizado, a água do poço Taraco contém 2,23 mg/L de F e a água do poço Juli contém 2,20 mg/L de F. Os resultados do processo de remoção de flúor com policloreto de alumínio foram 56%, com redução de 2,23 mg/L F para 0,98 mg/L F. Durante o processo de floculação, o pH, o tempo e a velocidade de agitação foram controlados. A remoção de flúor com leite de cal foi reduzida de 2,23 mg/L de F para 1,5 mg/L de F. Os testes experimentais de precipitação e floculação foram realizados no laboratório de controle de qualidade da Faculdade de Engenharia Química. O equipamento utilizado é o Frasco de Teste e o medidor de pH. Em relação ao método estatístico, foi utilizado o planejamento fatorial 2', que permitiu otimizar os parâmetros do processo de floculação.

1. INTRODUCCIÓN

La prestación del servicio de agua potable es de vital importancia para el mejoramiento en la calidad de vida de cualquier comunidad. Por esta razón, es importante remover el fluoruro ya que es uno de los componentes naturales de fuente de agua que en concentraciones superiores a las establecidas por las normas correspondientes genera daños al ambiente y a la salud de quienes consumen esta agua.

La presencia de fluoruro en el agua potable es un factor fisicoquímico muy importante que se debe evaluar continuamente. Se sabe que la ingesta de agua con un nivel de fluoruro de 0,5 mg/L, puede ayudar a prevenir la caries dental en la población. Sin embargo, los dientes y los huesos se dañan cuando se consume agua con un nivel de fluoruro mayor a 1,5 mg/L. Dependiendo del nivel de fluoruro, los problemas de salud pueden ser desde manchado de dientes o fluorosis dental hasta fluorosis esquelética. Por este motivo, las fuentes de agua que contienen niveles elevados de fluoruro tienen que ser tratadas para reducir la concentración de fluoruro hasta un límite permisible y no nocivo a la salud (Medellín-Castillo et al., 2007).

La Organización Mundial de Salud recomienda una concentración entre 0,5 a 1,2 mg/L de fluoruro dependiendo de las condiciones climáticas. La Norma Oficial Mexicana señala como concentración máxima en agua potable de 1,5 mg/L.

Los fluoruros son definidos propiamente como compuestos binarios o sales de flúor y otro elemento. Algunos ejemplos de fluoruros son el fluoruro de sodio y el fluoruro de calcio. Ambos son sólidos blancos. El fluoruro de sodio se disuelve fácilmente en agua, pero no así el fluoruro de calcio. El fluoruro de sodio se añade a menudo a los suministros de agua potable y a una variedad de productos dentales, como por ejemplo pastas dentales y enjuagues dentales, para prevenir caries dentales. Otros fluoruros que se usan comúnmente para fluorar el agua son el ácido fluorosilícico y el fluorosilicato de sodio (Kaseva, 2006).

Los fluoruros se encuentran naturalmente en rocas en el suelo, y en carbón y arcilla en la corteza terrestre. Se liberan al aire en polvo que levanta el viento. El fluoruro de hidrógeno se libera al aire cuando sustancias que

contienen fluoruro, tales como el carbón, minerales y arcilla, se calientan a alta temperatura. Esto puede ocurrir en plantas de energía que utilizan carbón como combustible, en fundiciones de aluminio, en plantas que manufacturan abonos de fosfato, en la manufactura de vidrio, ladrillos y baldosas, y en fábricas de plásticos. Estas facilidades también pueden liberar fluoruros adheridos a partículas. La fuente natural de fluoruro de hidrógeno y de otros fluoruros que se liberan al aire son las erupciones volcánicas.

Los fluoruros se encuentran normalmente en el aire en cantidades muy pequeñas. Los niveles que se han medido en áreas alrededor de ciudades son generalmente menores de 1 microgramo (la millonésima parte de un gramo) de fluoruro por metro cúbico de aire (pg/m³). En áreas rurales, los niveles son aún más bajos. La cantidad de fluoruro que usted respira en un día es mucho menor que la que consume a través de los alimentos y el agua. Usted puede respirar niveles de fluoruro más altos en áreas cerca de plantas de energía que usan carbón como combustible o cerca de industrias relacionadas con fluoruros (por ejemplo, fundiciones de aluminio, plantas que manufacturan abonos de fosfato) o cerca de sitios de desechos peligrosos. (Kaseva, 2006).

El promedio de los niveles de fluoruros en aguas superficiales es cerca de 0,2 partes de fluoruro por millón de partes de agua. Los niveles de fluoruros en aguas de manantial generalmente varían de 0,02 hasta 1,5 ppm, pero a menudo sobrepasan 1,5 ppm en áreas del suroeste de Estados Unidos. Muchas comunidades añaden flúor a sus suministros de agua; el nivel de flúor que se recomienda es alrededor de 1 ppm. En Estados Unidos, aproximadamente 15000 sistemas de agua que sirven a cerca de 162 millones de personas contienen niveles óptimos de flúor entre 0,7 y 1,2 ppm, ya sea como resultado de condiciones naturales o de ajustes artificiales. Las personas que viven en áreas con agua sin flúor pueden estar expuestas a través de bebidas o alimentos procesados en áreas que poseen flúor. Usted estará expuesto a los fluoruros en el agua que bebe o en bebidas preparadas con agua fluorada. (Link & Rabosky, 1977)

La concentración de fluoruros en suelos varía generalmente entre 200 y 300 ppm. Sin embargo, los niveles pueden ser más altos en áreas con yacimientos minerales que contienen fluoruros. También pueden encontrarse niveles más altos en áreas donde se usan abonos con fosfatos, donde hay plantas de energía que usan carbón como combustible o industrias que liberan fluoruros, o cerca de sitios de desechos peligrosos. También puede estar expuesto a los fluoruros a través de la dieta. Mientras los alimentos generalmente contienen niveles bajos de fluoruros, los alimentos cultivados en áreas donde los suelos tienen cantidades altas de fluoruros o donde se usaron abonos con fosfatos pueden tener niveles más altos de fluoruros. El té y algunos mariscos tienen niveles altos de fluoruros. (Link & Rabosky, 1977)

La ingesta diaria promedio de fluoruro para adultos a través de los alimentos y el agua es aproximadamente 1 miligramo (1 mg), también puede estar expuesto a los fluoruros en productos dentales, tales como pasta dental, geles dentales y enjuagues dentales. Los productos dentales domésticos como por ejemplo pasta dental, enjuagues y geles que se aplican tópicamente contienen concentraciones altas de fluoruros (entre 230 y 12300 ppm) y no deben ser ingeridos.

Estudios como los de Mohapatra et al. (2004), Bishop & Sansoucy (1979), Choi & Chen (1979), explican que existen varios métodos para la eliminación de fluoruro, como precipitación, adsorción, intercambio iónico y procesos de membrana como: ósmosis inversa, nanofiltración, electrodiálisis y la técnica de Nalgonda que se basan en la adición de un álcali, cloruro, sulfato de aluminio o cloruro de aluminio o ambos. Además, la remoción de fluoruro es factible con sulfato de aluminio, pero requiere de dosis muy elevadas e indican la importancia de mantener el pH entre 6 y 7 para obtener una mejor eliminación de fluoruro. La utilización de sulfato de aluminio

y óxido de calcio, mezclados y adicionados al agua contaminada con fluoruro y con una agitación permite que se formen flóculos de hidróxido de aluminio que se remueven por simple sedimentación. La remoción por alúmina decrece rápidamente cuando el pH es inferior a 4,5 y superior a 8,5 la combinación de métodos para la defluorización utilizando la técnica de Nalgonda y hueso calcinado es recomendable para la eliminación de fluoruro en el agua.

Mjengera (2000) y Kaseva (2006), por otro lado, indican que el carbón de hueso es la técnica más efectiva para la remoción en aguas con altas concentraciones de fluoruro, la utilización de altas concentraciones de alumbre para la eliminación de fluoruro no es efectiva, por el incremento de aluminio en el agua tratada. La capacidad de adsorción de fluoruro en hueso calcinado con mayor potencial de adsorción se obtiene cuando las partículas de hueso son pequeñas (5 a 1 mm) y la temperatura de calcinación del hueso es de 500°C durante 2 horas.

Finalmente, Valenzuela et al. (2006), la remoción de fluoruro puede realizarse utilizando hidroxiapatita, calcita, cuarzo, o bien cuarzo activado por iones férrico. Se ha reportado que el fluoruro es más rápidamente adsorbido por cuarzo, calcita y fluoruro de calcio, alcanzando el equilibrio en tan sólo en 2 minutos en condiciones de agitación. El porcentaje de remoción de fluoruro alcanzada fue de 60%. A través de experimentos para disminuir la presencia de flúor utilizando cloruro de aluminio ($AlCl_3$) en presencia de cloruro de calcio, se determinó que la concentración de fluoruro en agua es reducida de 3,0 mg/L a 1,0 mg/L de F (Saha H, 1993).

Los métodos de eliminación de fluoruro más extendidos se basan en la precipitación- floculación con la ayuda de sales de calcio y aluminio, que se han popularizado debido a su bajo costo y a que puede llevarse a cabo en escala doméstica o comunitaria. Sin embargo, la química del sistema, muy dependiente del pH hace que el proceso sea potencialmente peligroso para las personas debido al aumento de exposición a1 aluminio y para el medio general ya que origina un complicado problema de gestión de residuos. Otras técnicas como la ósmosis inversa o la electrodiálisis y los métodos basados en la destilación compiten con el anterior, pero requieren mayor inversión y también resultan poco aptas para un uso doméstico.

En algunas zonas del Departamento de Puno, especialmente en la zona de Juli (2,20 mg/L) y Taraco (2,23 mg/L), en las que el acceso al agua potable se limita a1 agua subterránea, se enfrentan al problema adicional de su excesivo contenido en fluoruro. Hasta 1,5 mg/L el fluoruro no provoca efectos adversos, pero a mayores concentraciones fluorosis dental (4 mg/L) y osteosclerósis general (> 4 mg/L).

En el presente trabajo de investigación se pretendió remover fluoruros en agua potable por precipitación y floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal.

2. MÉTODO Y MATERIALES

La investigación siguió un diseño experimental. Este diseño es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso, también tiene aplicaciones en el desarrollo de procesos industriales, así como técnicas de diseño experimental en las fases iniciales de cualquier proceso puede redundar en mejorar el rendimiento del proceso, así como reducción de tiempo y costos. (Cochran et al.,1997).

El proceso consistió en preparar la solución de coagulante de policloruro de aluminio y por otro lado lechada de cal, esta técnica es realizada en equipo Test Jarra. Se realizó ensayos a escala laboratorio, con la finalidad de determinar las condiciones óptimas para un tratamiento económico y eficiente.

Las variables a determinar son las siguientes: pH, concentración de floculante y velocidad de agitación, cuyos resultados serán aplicados en el tratamiento de aguas contaminadas con fluoruros.

Las pruebas de floculación por agitación se ejecutaron en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química. En cuanto se refiere al método estadístico, se utilizó el Diseño Factorial $2n^k$ el cual ha permitido realizar 11 pruebas experimentales con 3 réplicas en el centro, así mismo se optimizó los parámetros del proceso de floculación con poli cloruro de aluminio.

Equipos y Materiales

- Equipo de prueba de jarras
- Espectrofotómetro HACH
- Termómetro
- Balanza analítica
- Agitador mecánico
- Agitador magnético
- pH-metro
- Estufa
- Plancha de calentamiento
- Mortero con pistilo
- Bureta digital
- Matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Matraz aforado de 50 mL y 25 mL
- Vasos de precipitados
- Probeta de 50 mL
- Pipeta graduada de 5 y 10 mL Papel filtro Whatman 40

Reactivos de laboratorio

- Policloruro de aluminio
- Óxido de calcio
- Muestra de agua
- Reactivos Kits para fluoruro Hidróxido de sodio de 98% pureza
- Ácido sulfúrico de 98% pureza
- Ácido clorhídrico de 37% pureza Agua destilada

Toma de Muestra de Agua

Las muestras de agua se tomaron de las zonas norte y sur del departamento de Puno. Antes de la toma de la muestra se marcó el frasco mediante rotulador resistente al agua, con una referencia que permita su identificación. En todo caso la muestra se acompaña de una ficha o etiqueta en la que se consignan los datos necesarios que, como mínimo, son los siguientes: datos de interesado, tipo de agua o muestra, lugar de ubicación, hora de muestreo y fecha.



Toma de muestra compuesta

Una muestra compuesta nos proporciona una estimación de la composición promedio del agua muestreada durante el período de tiempo que comprende el muestreo.

Una muestra compuesta se obtiene mezclando en un frasco una serie de muestras instantáneas de volúmenes iguales o proporcionales. La manera más sencilla de tomar una muestra compuesta es tomar un volumen fijo del agua que se muestrea cada un intervalo de tiempo determinado hasta completar un volumen establecido. Por ejemplo, tomar 100 mL de agua que se muestrea cada una hora. En 24 horas ello hará un total de 2400 mL (2,4 L) Este tipo de muestreo puede aplicarse cuando el caudal del agua se mantiene constante dentro de determinados límites, o sea no tiene grandes variaciones.

Tabla 1

Instrumento de recojo de muestra

Ubicación geográfica:	Se asienta en la orilla occidental del lago Titicaca a una altitud de 3884 m.s.n.m y a 79 Km. de la ciudad de Puno, entre los 16° 12'45" latitud Sur y 69° 27'37" longitud Oeste del meridiano de Greenwich.
Fecha y hora de muestreo:	26 de Abril del 2016 a horas 1:25 pm
Número de muestra:	18
Origen (yacimento):	pozo
Procedencia:	Provincia de Chucuito Juli, distrito Juli, comunidad rio salado
Cantidad de muestra:	1 litro
Estado:	líquido
Profundidad de toma de muestra:	5 m
Descripción cualitativa (color, olor y apariencia):	incoloro, inodoro, agradable
Observaciones:	agua potable

Determinación de fluoruros

Se utilizó el equipo HACH para la determinación de concentración de fluoruros en agua de pozo.

Pruebas de jarras

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza comúnmente en los laboratorios que busca determinar la dosis apropiada de coagulante que se debe suministrar al agua para optimizar el proceso de sedimentación .este análisis básicamente es la simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con diferentes dosis de coagulante ,la determinación para saber cuál es la dosis óptima se hace por comparación visual y se escoge la muestra en la cual se puedan ver los flóculos de mayor tamaño y que presente menor turbiedad. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias

químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear una pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial.

3. RESULTADOS

Condiciones de Operación

- Volumen de agua: 200 mL
- Concentración de fluoruro: 2,23 mg/L
- Floculante: Policloruro de aluminio
- pH: 6,5 y 7,5
- Velocidad de agitación: 100 y 120 RPM

Tabla 2

Resultados de porcentaje de remoción de fluoruro

N° de pruebas	pH	Concentración de policloruro (mg/L)	Velocidad Agitación (RPM)	Concentración Inicial de F (mg/L)	Concentración Final de F (mg/L)	% Remoción
1	6,5	134	100	2,23	1,26	43,50
2	7,5	134	100	2,23	1,29	42,15
3	6,5	268	100	2,23	0,98	56,00
4	7,5	268	100	2,23	1,00	55,16
5	6,5	134	120	2,23	1,22	45,29
6	7,5	134	120	2,23	1,24	44,39
7	6,5	268	120	2,23	1,05	52,91
8	7,5	268	120	2,23	1,04	53,36
9	7,0	201	110	2,23	1,07	52,02
10	7,0	201	110	2,23	1,04	53,36
11	7,0	201	110	2,23	1,06	52,47

La tabla 2 muestra los resultados de porcentaje de remoción de fluoruro obtenidos del proceso de precipitación-floculación por agitación. De acuerdo al diseño experimental se realizaron 11 pruebas experimentales, con variables de pH (6,5; 7,0 y 7,5), concentración de policloruro de aluminio (134; 201 y 268 mg/L) y velocidad de agitación (100; 110 y 120 rpm). En la tabla muestra además las concentraciones iniciales y concentraciones finales de fluoruro, con cuyos datos se ha calculado el porcentaje de remoción de fluoruro.

En la tabla 2, se puede apreciar que la máxima reducción de concentración de fluoruro de agua potable obtenida es de 2,3 mg/L de F hasta 0,98 mg/L de F que equivale al 56% de remoción de fluoruro, mediante el tratamiento con policloruro de aluminio.

Tabla 3

Resultados de porcentaje de remoción de fluoruro

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	50,1373	0,772959	
A: pH	-0,435	1,81275	1,0
B: Concentración de policloruro Al	10,3	1,81275	1,0
C: Velocidad de agitación	0,01	1,81275	1,0
AB	0,24	1,81275	1,0
AC	0,66	1,81275	1,0
BC	-2,455	1,81275	1,0

Nota. Estimación de respuesta por programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Tabla 4

Resultados de prueba de remoción de fluoruro con lechada de cal

N°	pH	Conc. Cal (mg/L)	Velocidad Agitación (RPM)	Conc. Inicial (mg/L)	Conc. Final (mg/L)	% remoción
1	8,8	100	100	2,23	2,0	10,33
2	11	500	100	2,23	1,5	32,74
3	8,8	100	140	2,23	1,9	14,80
4	11	500	140	2,23	1,5	32,74

La tabla 4 muestra los resultados de la prueba de precipitación y floculación con lechada de cal. A pH 11 se logra mayor remoción de fluoruro en el orden de 33% y la reducción de concentración de fluoruro es de 2,23 mg/L F a 1,5 mg/L de F. A pH menores sólo se logra 10% de remoción.

4. DISCUSIÓN

Según Bishop & Sansoucy (1979), la remoción de fluoruro es factible con sulfato de aluminio, pero requiere de dosis muy elevadas e indican la importancia de mantener el pH entre 6 y 7. La reducción de fluoruro fue de 2,5 a 1,2 mg/L de F que equivale al 52% de remoción de fluoruro.

Valenzuela et al. (2006), la remoción de fluoruro puede realizarse utilizando hidroxapatita, calcita, cuarzo, o bien cuarzo activado por iones férrico. Se ha reportado que el fluoruro es más rápidamente adsorbido por cuarzo, calcita y fluoruro de calcio, alcanzando el equilibrio en tan sólo en 2 minutos en condiciones de agitación. El porcentaje de remoción de fluoruro alcanzada fue de 60%.

Saha H. (1993), realizó experimentos para disminuir la presencia de flúor utilizando cloruro de aluminio (A1C13) en presencia de cloruro de calcio, llevándose a cabo la formación de un complejo, el cual está constituido por el aluminio, calcio y el fluoruro. La concentración de fluoruro en agua es reducida de 3,0 mg/L a 1,0 mg/L de F equivale al 67% de remoción de fluoruro.

Van-Benschoten et al. (1990) las sales de aluminio y el policloruro de aluminio (sales de aluminio polimerizadas) han sido ampliamente usados como coagulantes en el tratamiento de agua potable y aguas residuales, sin importar tanto las características químicas y calidad biológica. La reducción de concentración de fluoruro en agua potable fue de 2,8 mg/L a 0,9 mg/L de F que equivale al 68% de remoción de fluoruro.

Comparando los distintos procesos de tratamiento según los antecedentes se concluye que el estudio de remoción de fluoruro de agua potable con policloruro de aluminio es similar y está dentro de los porcentajes de remoción de fluoruro.

5. CONCLUSIONES

El pH óptimo en la remoción de fluoruro con policloruro de aluminio fue 6,5 y la remoción con lechada de cal el pH óptimo es 11. Cabe señalar que la remoción de fluoruro con policloruro de aluminio está en los rangos de pH 6 a 8, es decir tiene amplio rango de pH.

La concentración de policloruro de aluminio adecuado en la remoción de fluoruro fue de 268 mg/L y en la remoción con lechada de cal la concentración de cal fue de 500 mg/L.

La velocidad de agitación en la remoción de fluoruro con policloruro de aluminio fue de 100 RPM y en la remoción con lechada de cal fue de 140 RPM.

El policloruro de aluminio remueve fluoruros de agua potable, cuya reducción fue de 2,23 mg/L de F a 0,89 mg/L de F. Por lo que, la remoción de fluoruros con lechada de cal es relativamente baja, fue reducido de 2,23 mg/L de F a 1,5 mg/L de F. Es adecuado el uso de lechada de cal en aguas con alto contenido de magnesio, ya que el fluoruro coprecipita con hidróxido de magnesio.

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores declaran que no incurren en conflictos de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

Ornela Pancca: conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, escritura - preparación del borrador original, escritura - revisar & edición.

Gregorio Palomino: conceptualización, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, escritura - preparación del borrador original, escritura - revisar & edición

Fuentes de financiamiento / Funding:

Los autores declaran que no recibió un fondo específico para esta investigación.

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

REFERENCIAS

- Bischof, P. & Sansoucy, G. (1979). Fluoride removal from drinking water by fluidized activated alumina adsorption. *J Am. Water Works*: 70(10): 254-259.
- Choi, W. & Chen, K. (1979). The removal of fluoride water by adsorption. *Water Tech*: 71(10): 562-570.
- Cochran, W. G., Cox, G. M. (1997). *Diseños experimentales*, Trillas, 2da edición, México.
- Kaseva M. (2006). Optimization of regenerated bone char for fluoride removal in drinking water: a case study in Tanzania. *Journal of Water and Health*: 4(1): 139-147.
- Link W.E and Rabosky J. G. (1977). Fluoride ion removal from waste water Employing calcium precipitation and iron salt coagulation. *Proceedings of the Industrial Waste Conference Volume Date 1976*, Murdoch/Betz Eng., Inc., Pittsburgh, PA. USA.
- Medellin-Castillo, N.A., Leyva-Ramos, R., Ocampo-Perez, R., Garcia de la Cruz, R.F., Aragon-Pina, A., Martínez-Rosales, J.M., Guerrero-Coronado, R.M., Fuentes-Rubio, L.: Adsorption of fluoride from water solution on bone char. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46, 9205–9212 (2007)
- Mohapatra D., Mishra D. Mishra S,P. (2004). Use of oxide minerals to abate fluoride from water. *J of C. and Int. Sc*: 275, 355-359.
- Mjengera H. (2000). Defluoridation of drinking water in Tanzania. *Technical Annual Report. WARFSA Swedish International Development Agency*: 1-25.
- Saha H. (1993). Treatment of aqueous effluent for fluoride removal. *Water Research*.
- Valenzuela V. L. Ramirez H. J. Reyes L. J. Sol U.J. A., Lázaro M. O. (2006). The origin of fluoride in groundwater supply to Hermosillo city, Sonora. *Environmental Geology*: 51(1): 17-27.
- Van-Benschoten, J. & Edzwald, J. (1990). Chemical aspects of coagulation using aluminum salts—I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Water Research* 24 (12), 1519-1526.