



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
BIOTECNOLOGÍA**

“Recuperación de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ de los lodos de coagulación/floculación para reutilizarlo en la potabilización de agua empleando una membrana de intercambio catiónico impregnada con nanopartículas de plata Ag-NPs”

Autor: Janine Brigitte Peralta Guevara
Director: Ing. Luis Cumbal, PhD.

Sangolquí
2022



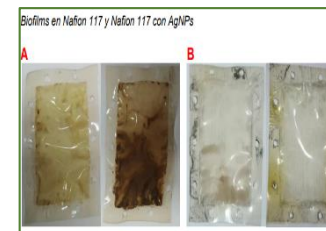
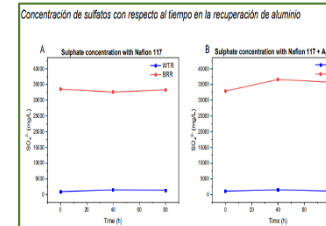
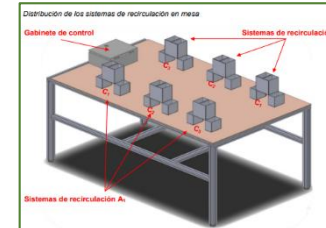
INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Potabilización del agua

Coagulación, floculación y sedimentación

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
Sulfato de aluminio

Lodos

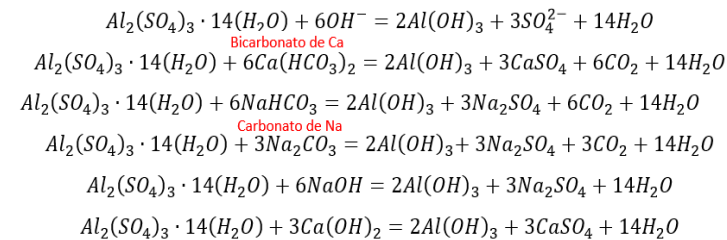
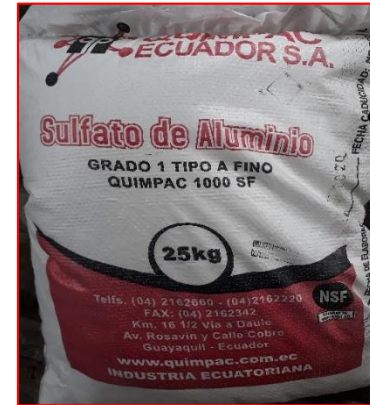
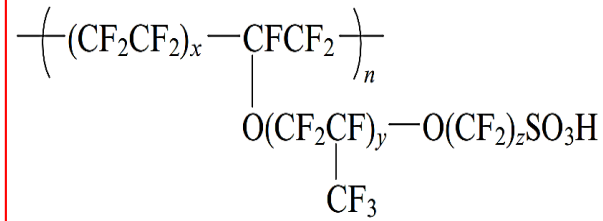


Table 1
Typical composition of water treatment residuals

Substance	Amount (mg/L)
Total suspended solids	100000–150000
Total aluminum	1000–3000
Total iron	100–300
Total calcium	<30
Total copper	< 10
Total zinc	<20
pH	7.0–7.2
Arsenic	<0.3
Total dissolved organic carbon	150–600



Membrana de intercambio catiónico

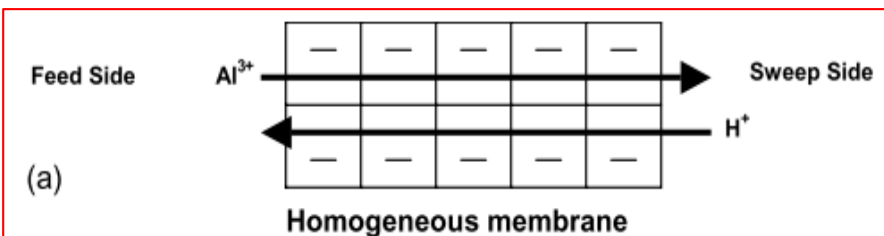


POLITETRAFLUOROETILENO

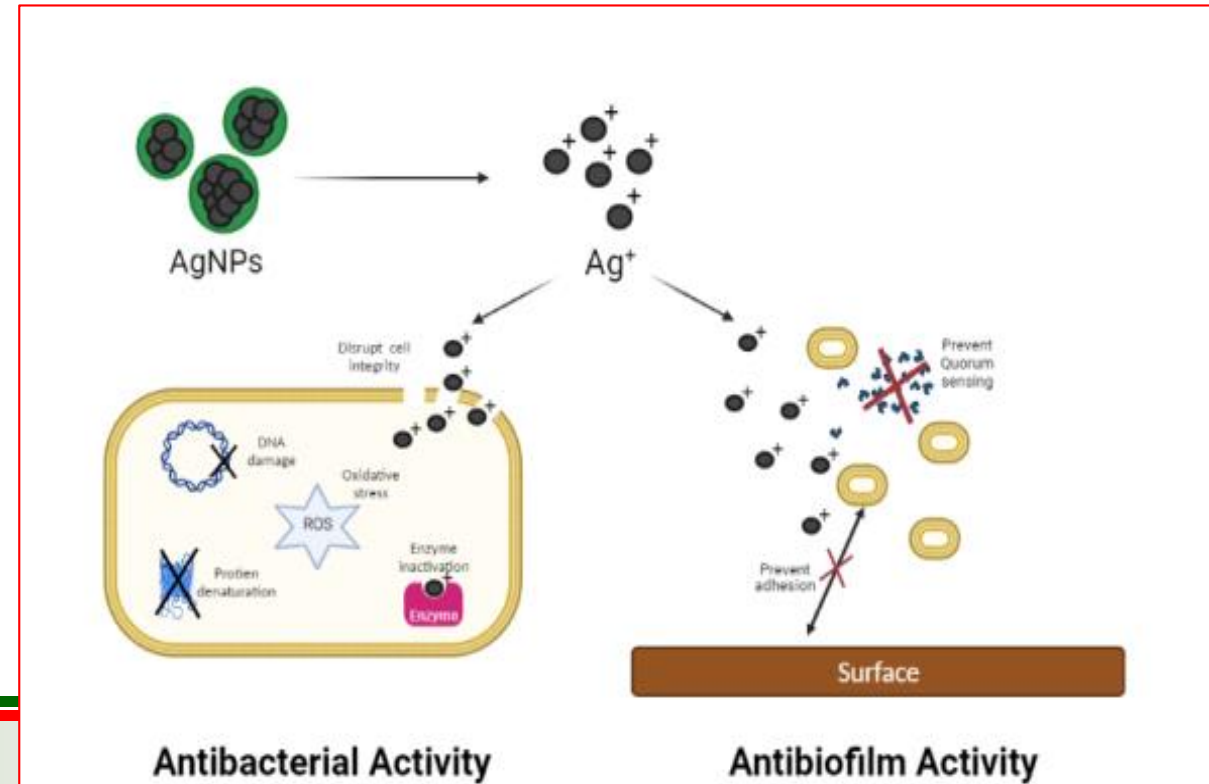
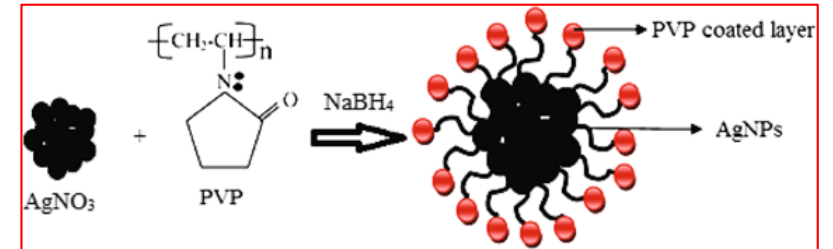
SULFÓNICO

Características de la membrana Nafion 117

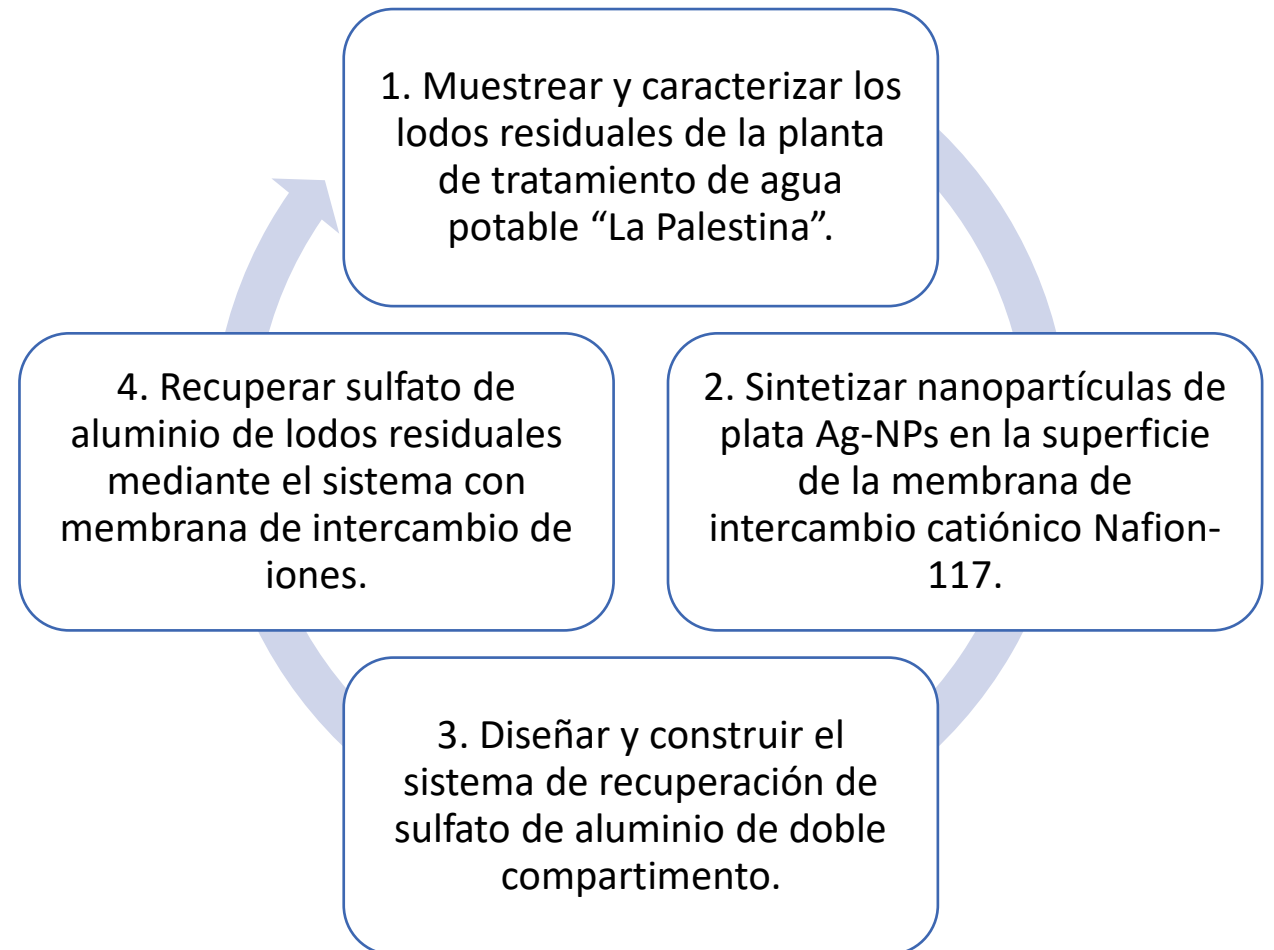
Parámetro	Unidades	Valor promedio
→ Espesor	µm	183
→ Capacidad de intercambio	mg equiv.	~ 0,91 (a 1.0)
→ Resistencia del área	Ω cm ⁻²	~0.09 - 0,12
→ Vida útil	h	a 50 000
→ Conductividad de protones a 30 °C	Scm ⁻¹	~10 ⁻²
→ Conductividad de protones a 80 °C		~0,1
→ Densidad de corriente para un voltaje de 0,45V	mA cm ⁻²	~250 - 640
→ Coeficiente de difusión de metanol	cm ² s ⁻¹	2 x 10 ⁻⁶
→ Absorción de agua	(%)	~15
→ Costo	US dólares por 1 m ²	~700



Nanopartículas de plata



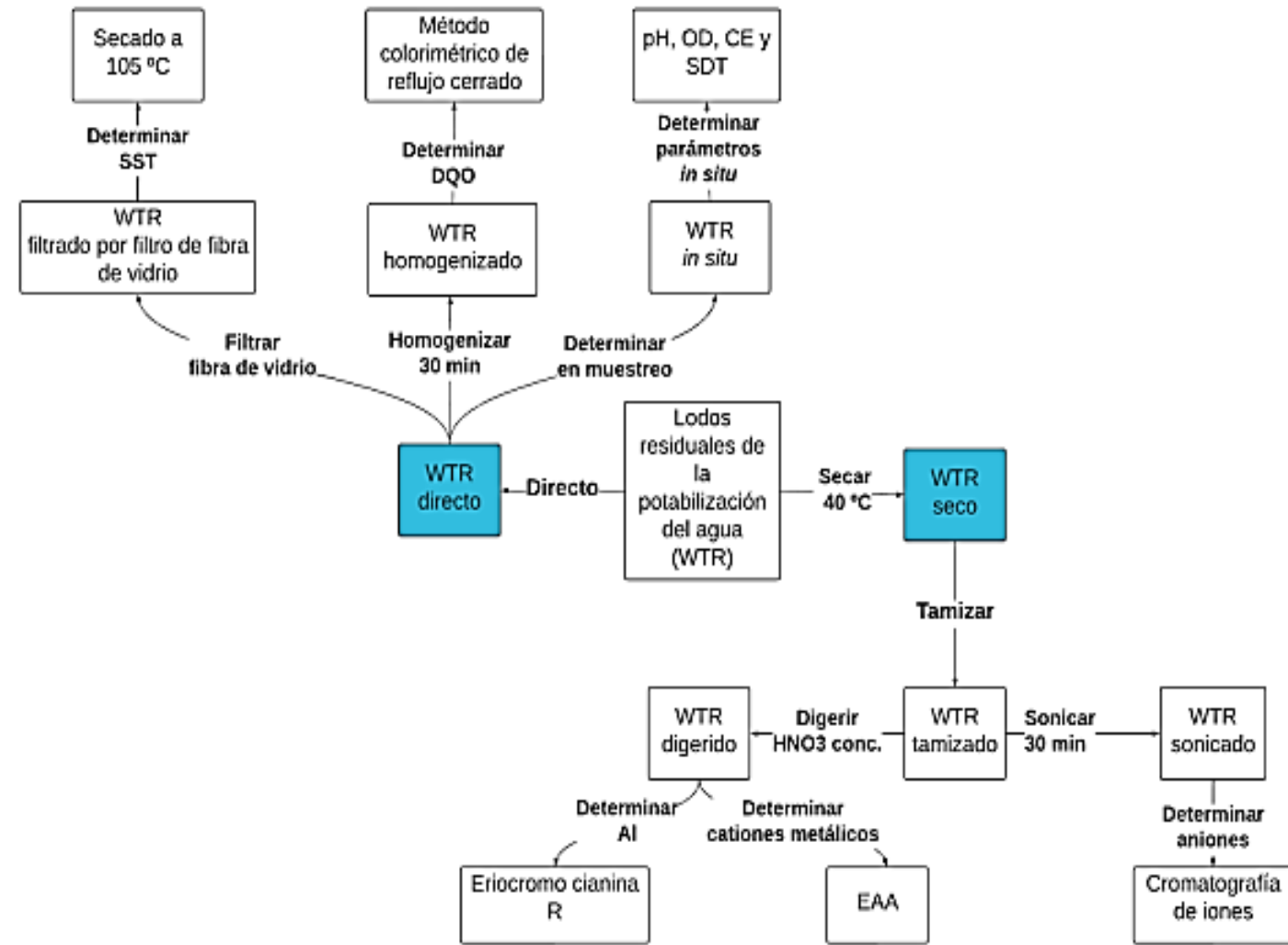
Recuperar sulfato de aluminio de los lodos de la coagulación/floculación para su reutilización en la potabilización del agua empleando una membrana de intercambio catiónico impregnada con nanopartículas de plata.



1. Muestreo y caracterización los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable "La Palestina"



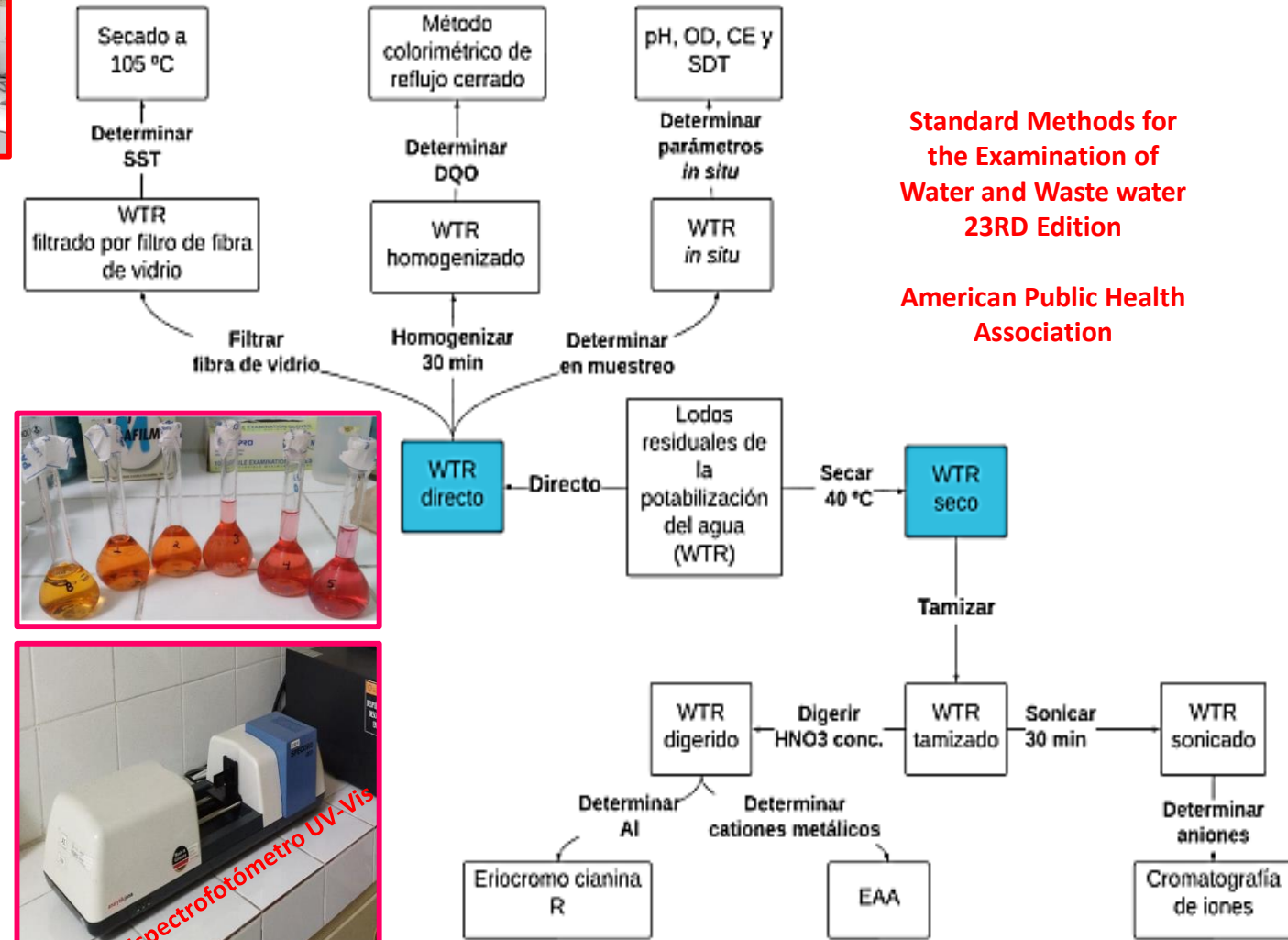
Diagrama de flujo de la caracterización de lodos residuales de la potabilización del agua



1. Muestreo y caracterización los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable "La Palestina"

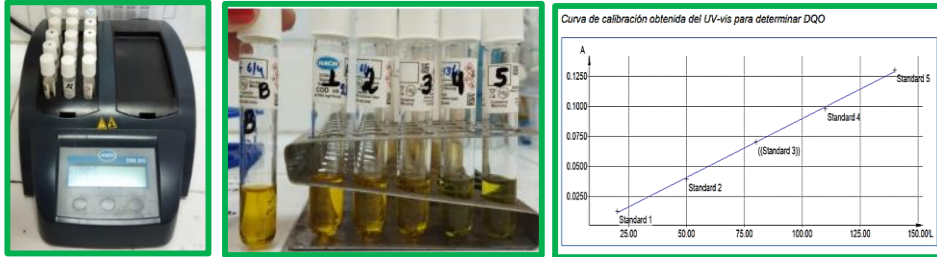
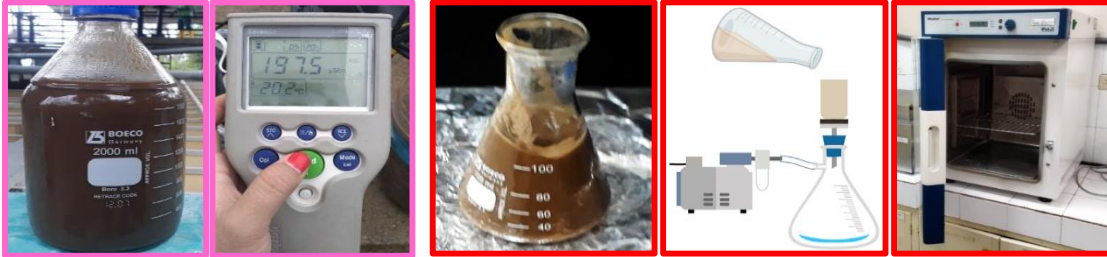
MATERIALES Y MÉTODOS

Diagrama de flujo de la caracterización de lodos residuales de la potabilización del agua

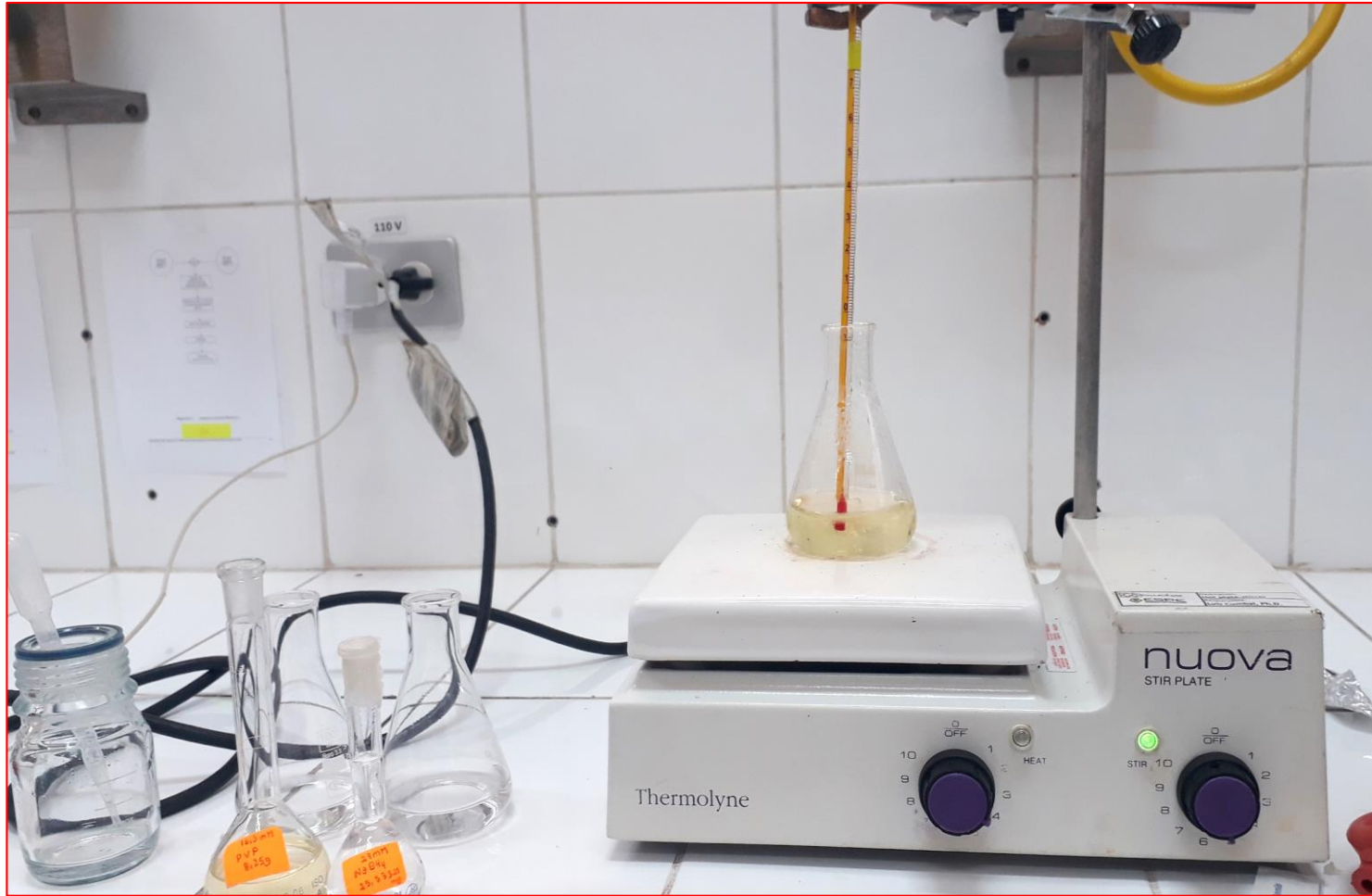


Standard Methods for the Examination of Water and Waste water 23RD Edition

American Public Health Association



2. Síntesis e impregnación de nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico Nafion-117



AgNO₃

PVP

NaBH₄

Polivinilpirrolidona



72 horas

Agitación
orbital 100
rpm



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

2. Síntesis e impregnación de nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico Nafion-117

CARACTERIZACIÓN

Espectrofotómetro UV-Vis
SPECORD S600 de Analytik – Jena

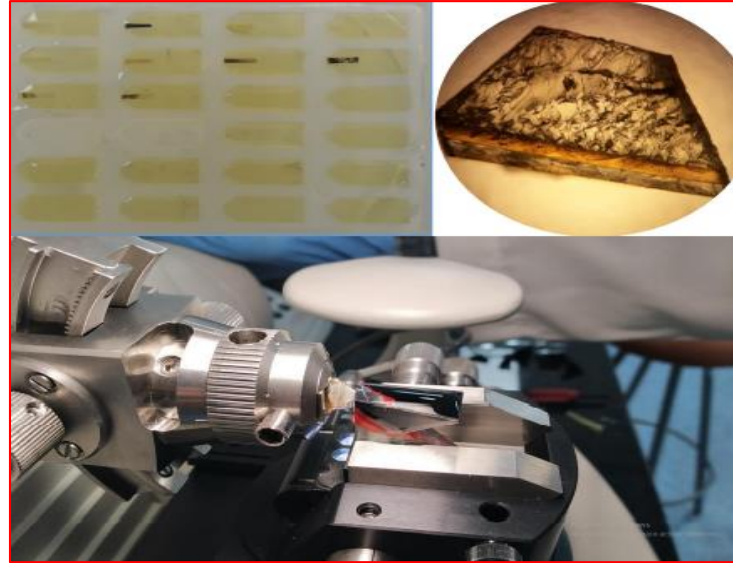


Perfil UV-vis

Estabilidad

Medios ácidos

Ultramicrotomo RCM Boeckeler,
modelo PT-X



Resina

Inclusión

Corte ultrafino

Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS).

SEM, STEM y EDS



Morfología y tamaño

Presencia

Composición elemental
semicuantitativa



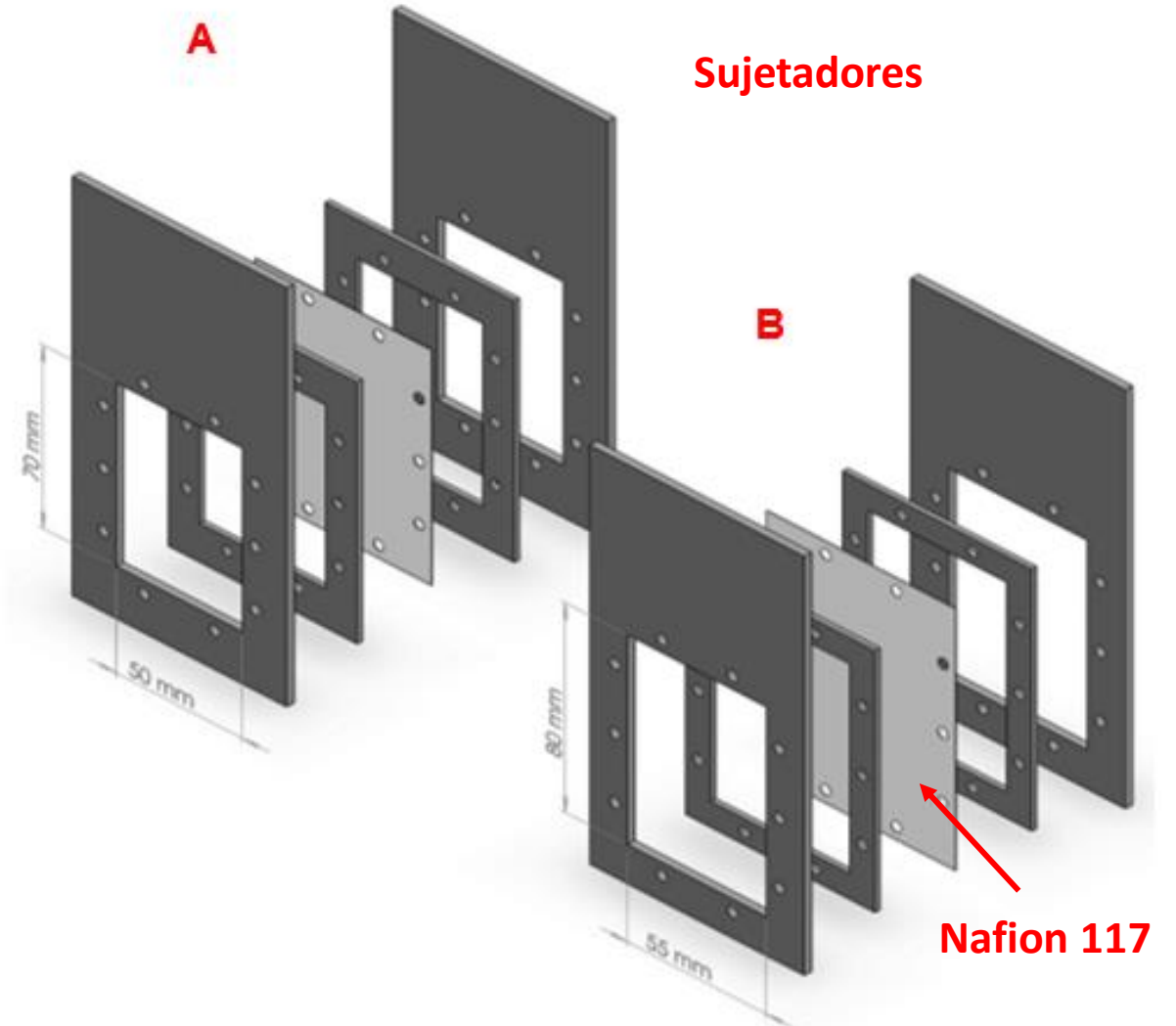
3. Diseño y construcción del sistema de recuperación de sulfato de aluminio de doble compartimento.

SOLIDWORKS® Education Edition 2019-2020

Diseño de elementos del sistema de doble compartimento

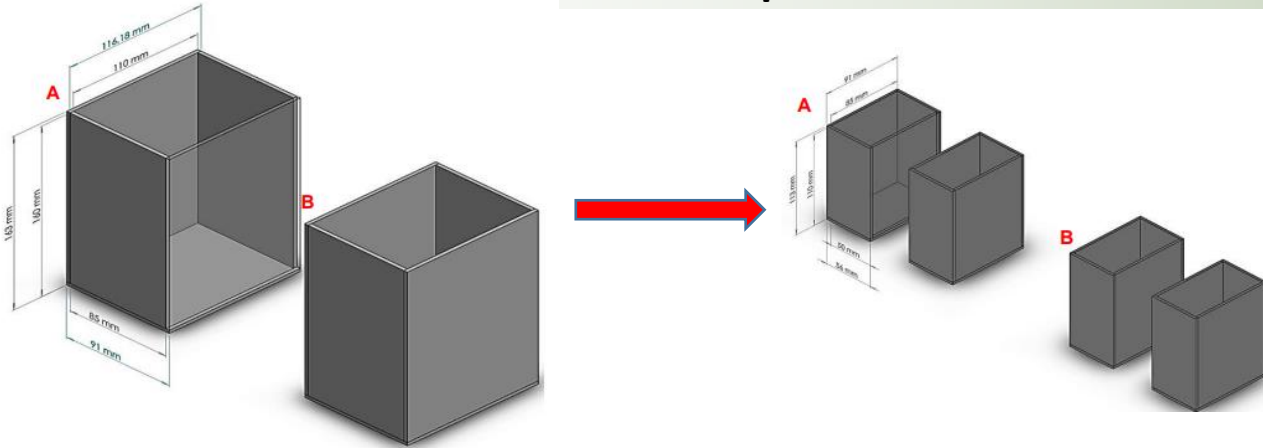
Elemento	Cantidad	Dimensiones externas mm	Dimensiones internas mm
→ Base soporte para membrana frontal y posterior	2	85 x 160	A ₁ : 50 x 70 A ₂ : 55 x 80
→ Empaque de membrana	4	75 x 100	A ₁ : 50 x 70 A ₂ : 55 x 80
Caja doble compartimento	2	116,18 x 163 x 91	110,18 x 160 x 85
Caja de recirculación	4	85 x 110 x 50	91 x 113 x 56

Nota. Se describen los elementos para el diseño de dos sistemas de recuperación de Al.



3. Diseño y construcción del sistema de recuperación de sulfato de aluminio de doble compartimento.

MATERIALES Y MÉTODOS



Diseño de elementos del sistema de doble compartimento

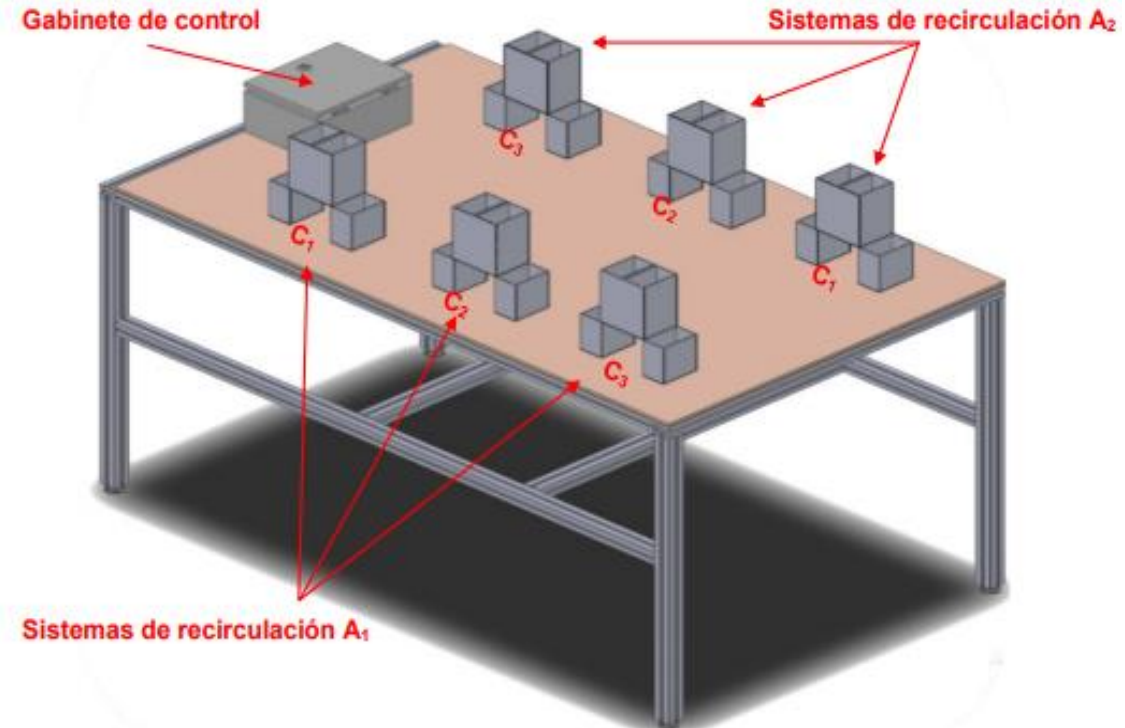
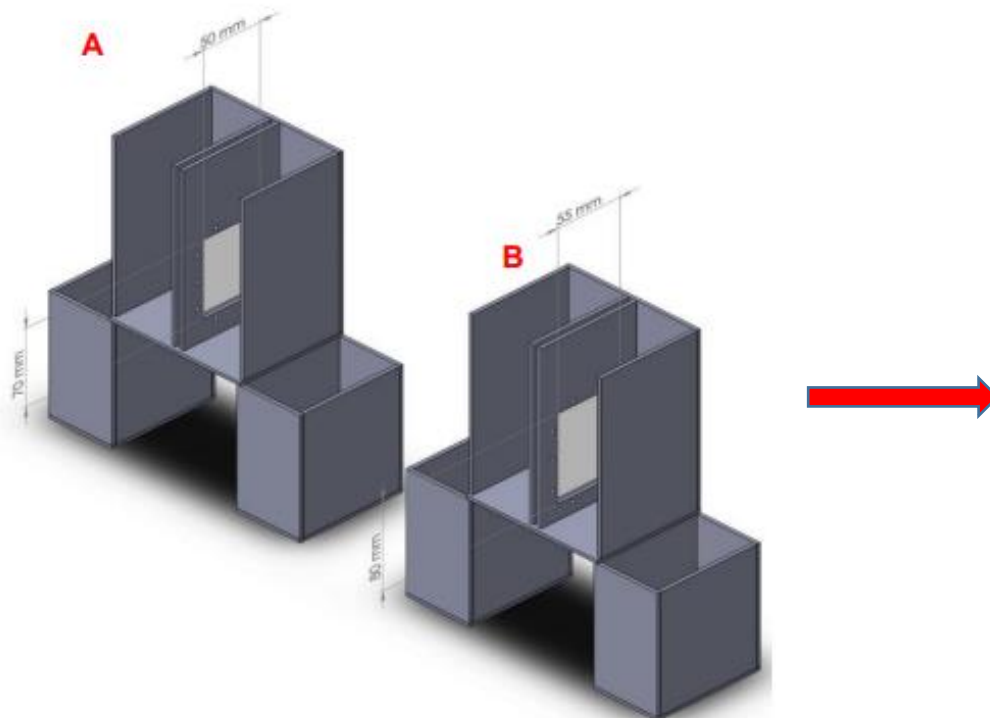
Elemento	Cantidad	Dimensiones externas mm	Dimensiones internas mm
Base soporte para membrana frontal y posterior	2	85 x 160	A ₁ : 50 x 70 A ₂ : 55 x 80
Empaque de membrana	4	75 x 100	A ₁ : 50 x 70 A ₂ : 55 x 80
Caja doble compartimento	2	116,18 x 163 x 91	110,18 x 160 x 85
Caja de recirculación	4	85 x 110 x 50	91 x 113 x 56



Nota. Se describen los elementos para el diseño de dos sistemas de

recuperación de Al.

ENSAMBLE



4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

DISEÑO EXPERIMENTAL - FUNCIONAMIENTO

Diseño factorial completo general de 3x2x3

Variables a analizar en el diseño experimental

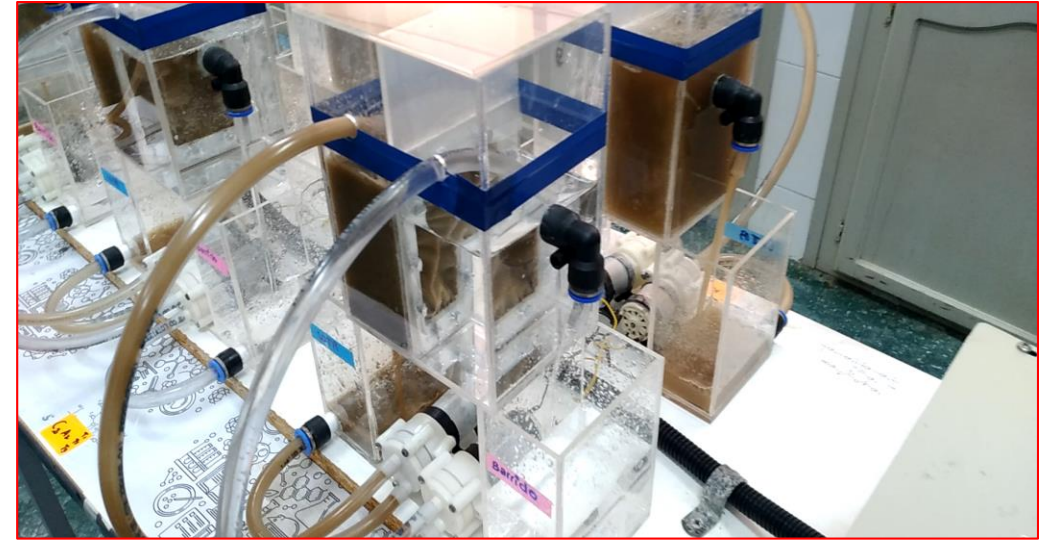
Factores controlables	Unidades	Niveles	Código	Respuesta
Concentración inicial de Al^{3+}	mg/L	2800	C ₁	Porcentaje de recuperación de Al
		3000	C ₂	
		3200	C ₃	
Área para el intercambio catiónico	cm ²	35	A ₁	
		44	A ₂	
		0	T ₁	
Tiempo	h	40	T ₂	
		80	T ₃	

Tratamientos y combinaciones de factores y niveles

Trat.	Cód. Lote 1			Trat.	Cód. Lote 2			Trat.	Cód. Lote 3		
1	C1	A1	T1	19	C1	A1	T1	37	C1	A1	T1
2	C2	A1	T1	20	C2	A1	T1	38	C2	A1	T1
3	C3	A1	T1	21	C3	A1	T1	39	C3	A1	T1
4	C1	A2	T1	22	C1	A2	T1	40	C1	A2	T1
5	C2	A2	T1	23	C2	A2	T1	41	C2	A2	T1
6	C3	A2	T1	24	C3	A2	T1	42	C3	A2	T1
7	C1	A1	T2	25	C1	A1	T2	43	C1	A1	T2
8	C2	A1	T2	26	C2	A1	T2	44	C2	A1	T2
9	C3	A1	T2	27	C3	A1	T2	45	C3	A1	T2
10	C1	A2	T2	28	C1	A2	T2	46	C1	A2	T2
11	C2	A2	T2	29	C2	A2	T2	47	C2	A2	T2
12	C3	A2	T2	30	C3	A2	T2	48	C3	A2	T2
13	C1	A1	T3	31	C1	A1	T3	49	C1	A1	T3
14	C2	A1	T3	32	C2	A1	T3	50	C2	A1	T3
15	C3	A1	T3	33	C3	A1	T3	51	C3	A1	T3
16	C1	A2	T3	34	C1	A2	T3	52	C1	A2	T3
17	C2	A2	T3	35	C2	A2	T3	53	C2	A2	T3
18	C3	A2	T3	36	C3	A2	T3	54	C3	A2	T3

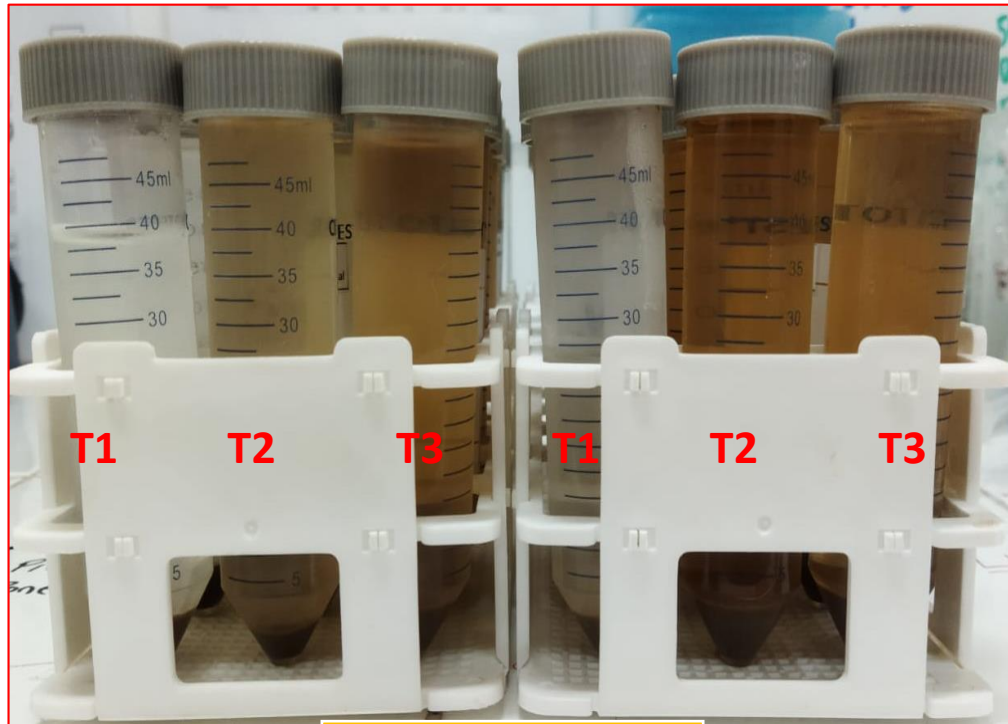
Nota. Cód.: código, combinación, Trat.: tratamiento, Lote 1: sin AgNPs, Lote 2:

con AgNPs (repetición 1) y Lote 2: con AgNPs (repetición 2).

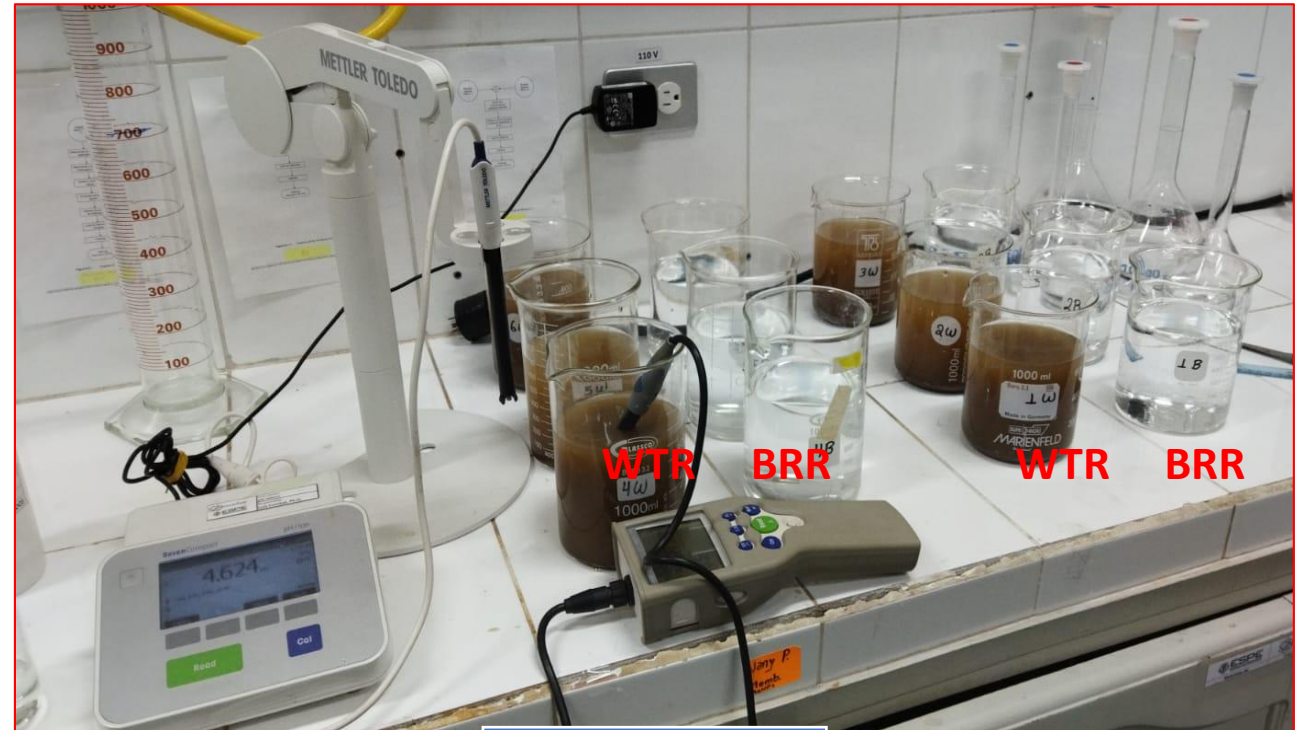


4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

CARACTERIZACIÓN DE TRATAMIENTOS



Toma de alícuotas
3 tiempos



Caracterización

Actividad antibiofilm

- Cualitativa
- Porcentaje de presencia

1. Caracterización los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable “La Palestina”

Parámetros determinados in situ

Parámetro	Denominación	Unidad	WTR M ₁	WTR M ₂	WTR M ₃
pH	--	--	6,54	6,20	4,68 ←
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	2,15	2,54	4,00
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	169,40	334,00	467,12
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L	84,70	150,37	298,56
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	42,34	49,96	60,84 ←
Demanda química de oxígeno	DQO ←	mg O ₂ /L	519,25	582,93	721,38 ←
Cloruros	Cl ¹⁻	mg/L	133,6	414,4	Bajo el límite de detección
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ ←	mg/L	1089,21	1151,34	1220,48 ←
Hierro	Fe ←	mg/L	1070,65	1216,65	1342,20 ←
Cobre	Cu ←	mg/L	1,78	1,92	1,84
Zinc	Zn	mg/L	15,77	5,11	6,07
Calcio	Ca	mg/L	39,47	40,11	43,92 ←
Aluminio	Al ←	mg/L	666,67	1033,33	3200 ←

Prakash et al. (2004),
planta de Allentown
USA

Gutiérrez et al.
(2014), ciudad del Eje
Cafetero colombiano

Villegas et al. (2005)

Ministerio del
Ambiente, Agua y
Transición Ecológica
del Ecuador (2003)

Table 1
Typical composition of water treatment residuals

Substance	Amount (mg/L)
Total suspended solids	100000–150000
Total aluminum	1000–3000 ←
Total iron	100–300 ←
Total calcium	<30 ←
Total copper	< 10
Total zinc	<20
pH	7.0–7.2
Arsenic	<0.3
Total dissolved organic carbon	150–600

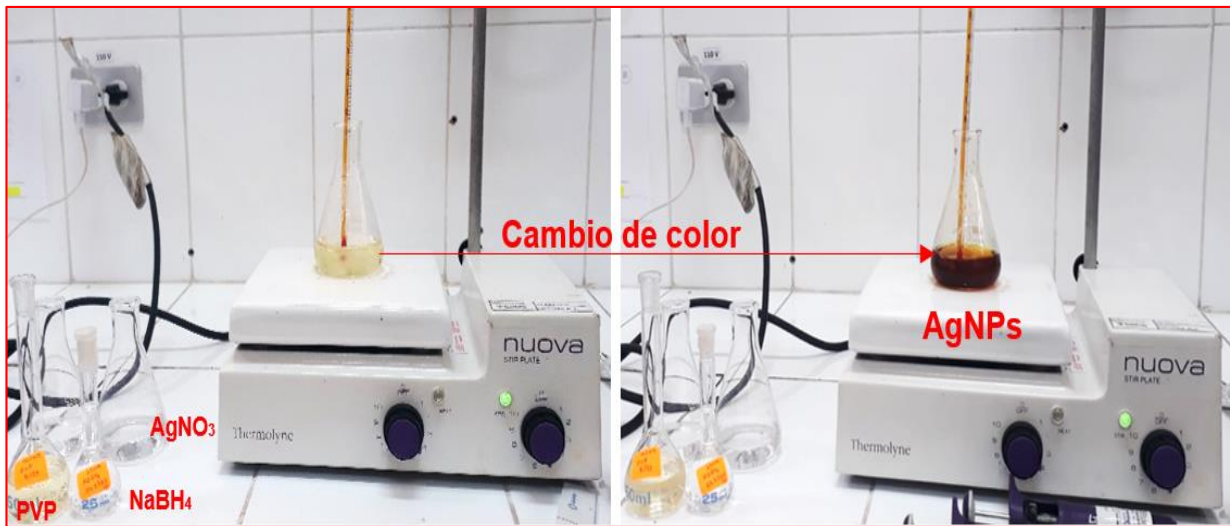
DQO = 745 mg O₂/L (lluvia)
DQO = 537 mg O₂/L (seca)
SST = 2720 mg/L (lluvia)

A pH bajo la presencia
de sulfatos incrementa

Límites máximos de descarga de efluentes
Alcantarillado - Cuerpo de agua dulce
Al: 5 y 5 mg/L
Cu: 1 y 1 mg/L
DQO: 500 y 250 mg O₂/L
Fe: 25 y 10 mg/L
Sulfatos: 400 y 1 000 mg/L

2. Síntesis e impregnación de nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico Nafion-117

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Vazquez et al. (2019)

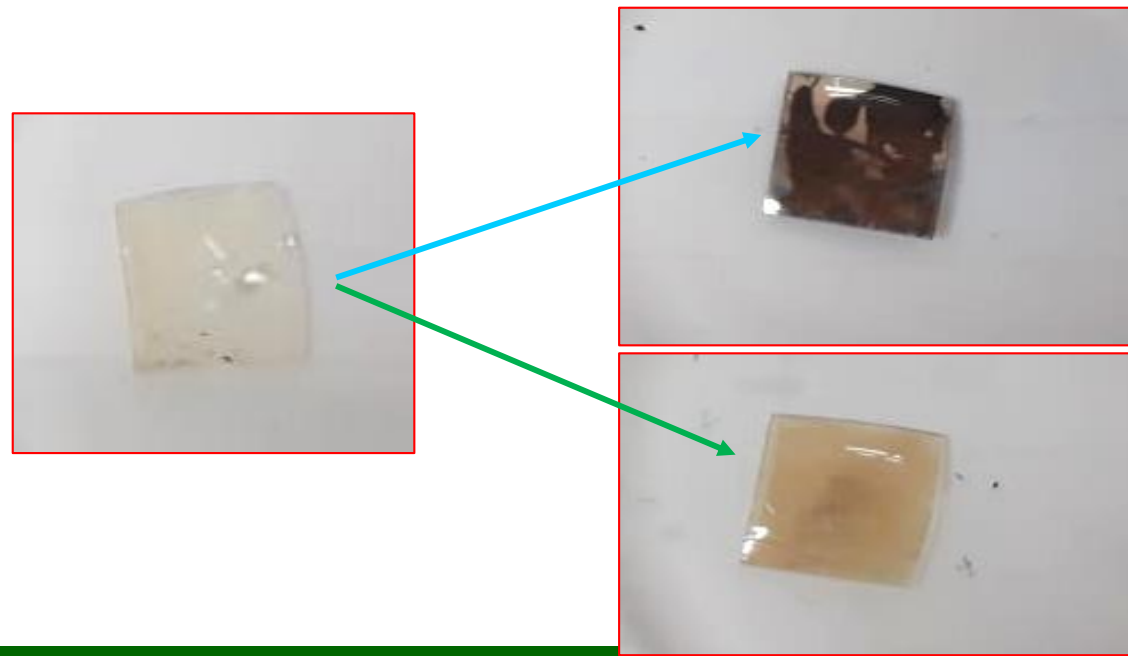
- Cambio de color

Formación de nanopartículas de plata

Concentración de NaBH₄ (27 mM)

- Turbidez

Altamente concentradas



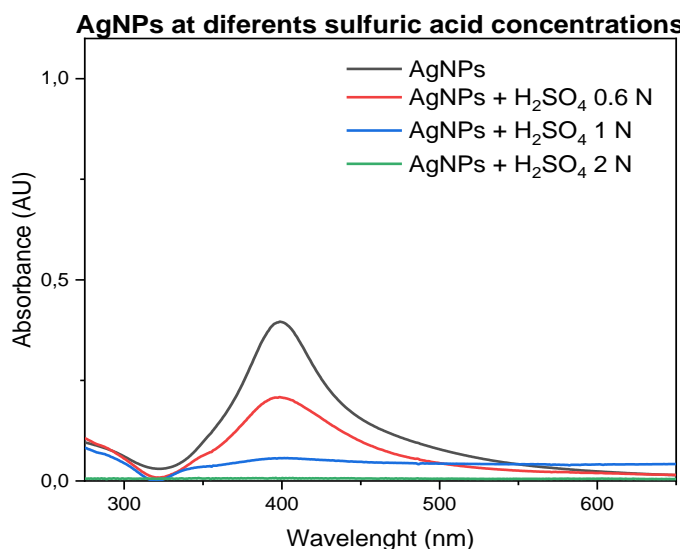
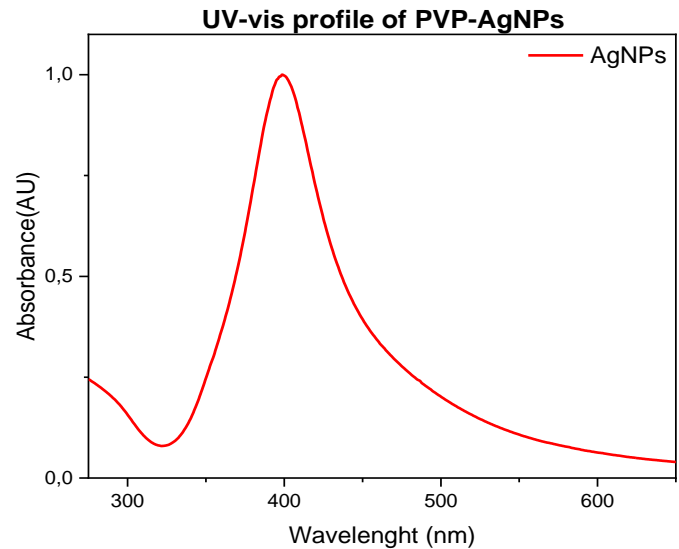
Ni et al. (2021), Apurva et al. (2018) y Domènech et al. (2014, 2016)

Síntesis intermatrix, SIM

Sigwadi et al. (2019)

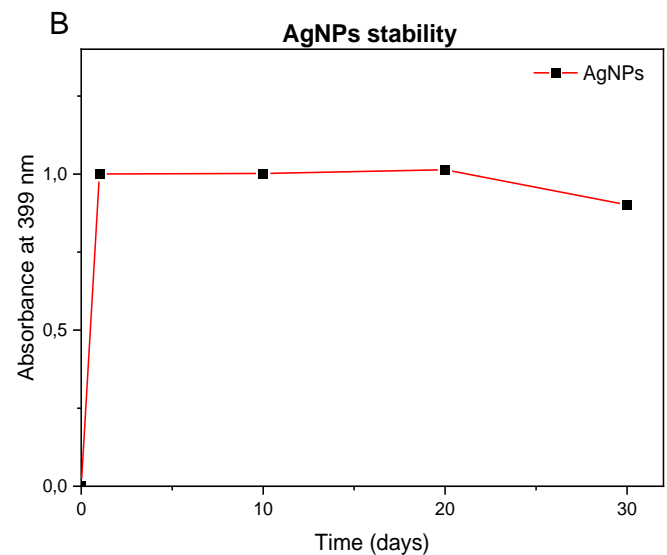
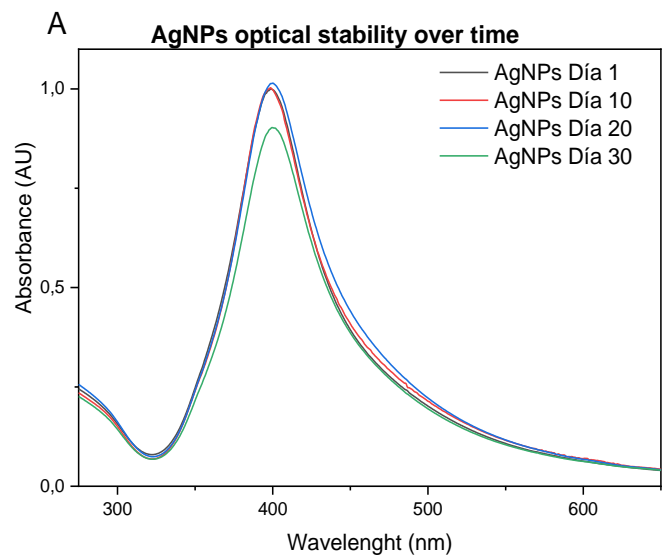
Separa síntesis e impregnación

CARACTERIZACIÓN



Vazquez et al. (2019)

- AgNPs picos máximos entre 390 y 410 nm
- Intensidad de absorbancia concentración relativa



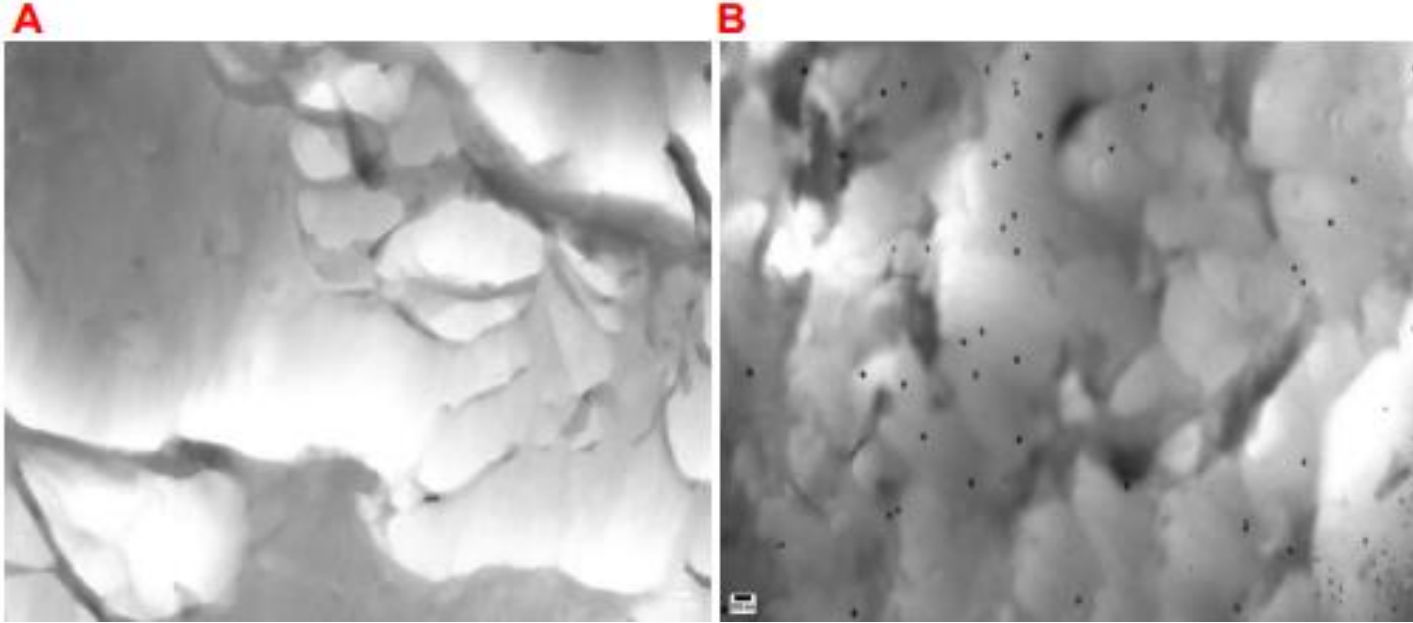
Prakash & Sengupta (2005)

Solución de barrido: ácido sulfúrico 2 N.

2. Síntesis e impregnación de nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN



Cocchini et al. (2014)

- Tamaño predominante
 - Distribución
- Nivel de agregación

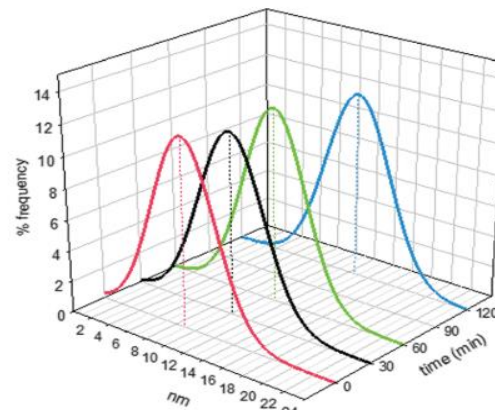
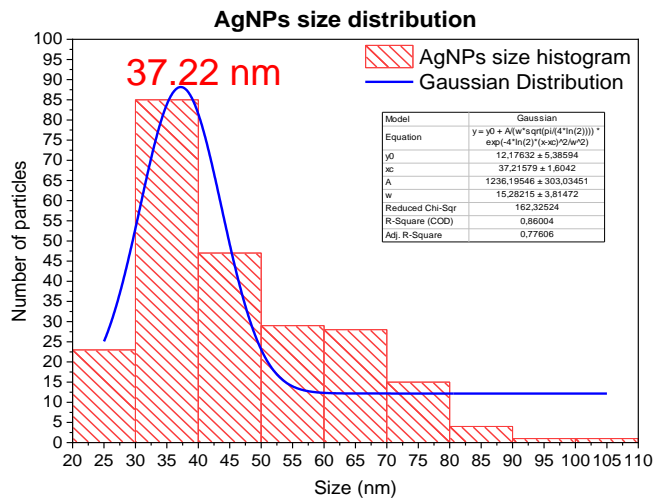
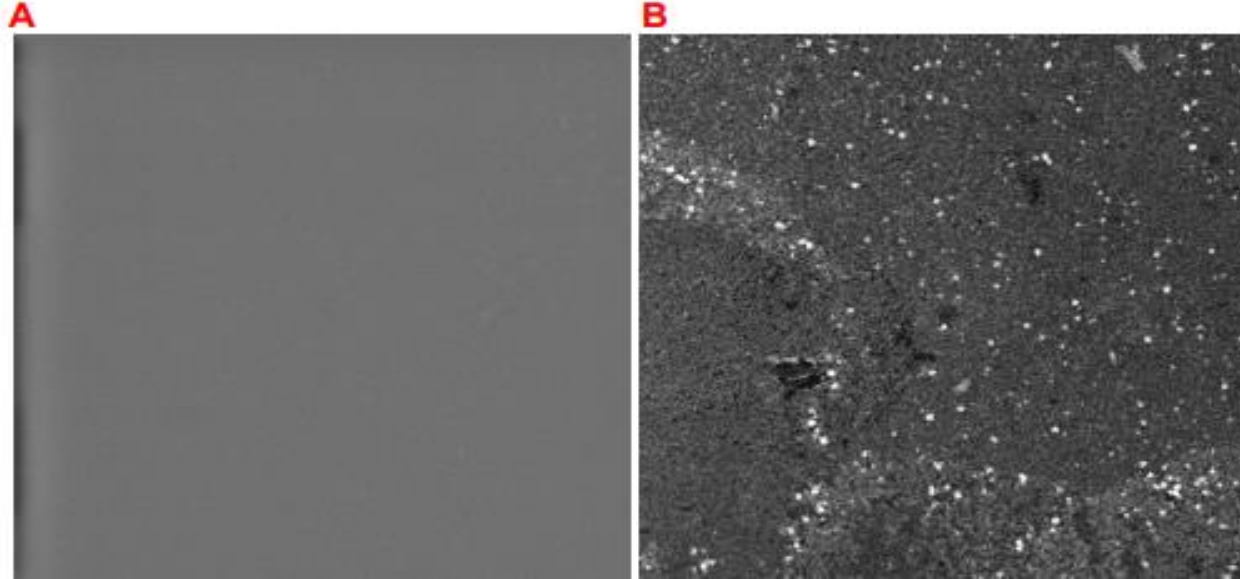


Fig. 2 Evolution of the distribution of nanoparticles diameter due to the duration of the ultrasound treatment.

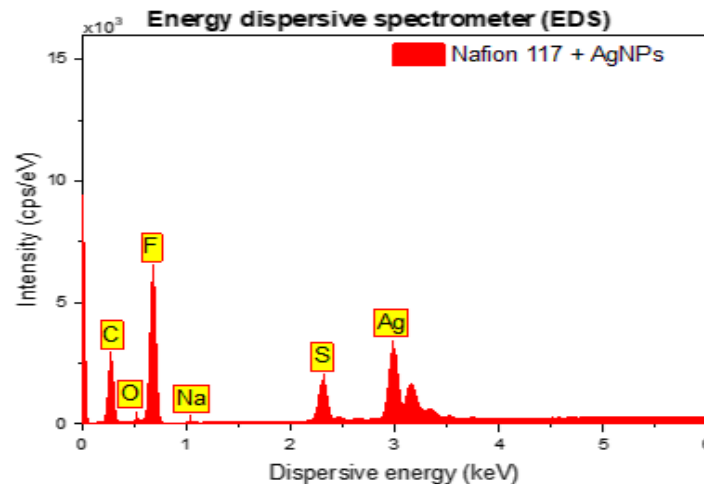
Domènech et al. (2014)
Diámetro varía linealmente con el tiempo

2. Síntesis e impregnación de nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico Nafion-117.

CARACTERIZACIÓN



C	25,51
O	2,18
F	47,05
S	4,30
Na	0,37
Ag	20,59
Total	100



Rodriguez (2011)

Los elementos de mayor número atómico aparecen más brillantes

Ag Z = 47, S 16, Na 11, F 9, O 8 y C 6

Fedors et al. (1990)

Define las bandas de energía de rayos X

Ag 2.984 keV ($L\alpha$)

C 0.2752 keV ($K\alpha$)

O 0.5264 keV ($K\alpha$)

F 0.6751 keV ($K\alpha$)

S 2.3141 keV ($K\alpha$)

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO Y DQO, ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Porcentaje de recuperación de Al y de DQO en la solución de barrido

Trat.	% de recuperación Lote 1		Trat.	% de recuperación Lote 2		Trat.	% de recuperación Lote 3	
	Al	DQO		Al	DQO		Al	DQO
1	0	0	19	0	0	37	0	0
2	0	0	20	0	0	38	0	0
3	0	0	21	0	0	39	0	0
4	0	0	22	0	0	40	0	0
5	0	0	23	0	0	41	0	0
6	0	0	24	0	0	42	0	0
7	12,86	9,15	25	24,29	0,50	43	25,71	0,50
8	13,33	7,20	26	26,67	0,40	44	26,67	0,40
9	17,50	3,68	27	36,25	0,41	45	36,25	0,41
10	12,86	10,32	28	20,00	0,56	46	20,00	0,56
11	10,67	6,49	29	29,33	1,06	47	29,33	1,06
12	16,25	4,77	30	28,75	0,50	48	28,75	0,42
13	45,71	9,27	31	40,00	0,67	49	40,00	0,68
14	41,33	9,17	32	54,67	0,67	50	54,67	0,67
15	22,50	4,06	33	50,00	0,89	51	50,00	0,89
16	62,86	10,65	34	35,71	1,18	52	35,71	1,18
17	24,00	9,70	35	60,00	2,22	53	60,00	2,22
18	18,75	5,06	36	33,75	1,18	54	32,50	1,18

Área de intercambio iónico más grande 44 cm²

Lote 1 sin AgNPs, C1 2800 mg Al/L

Lotes con AgNPs, C2 3000 mg de Al/L

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

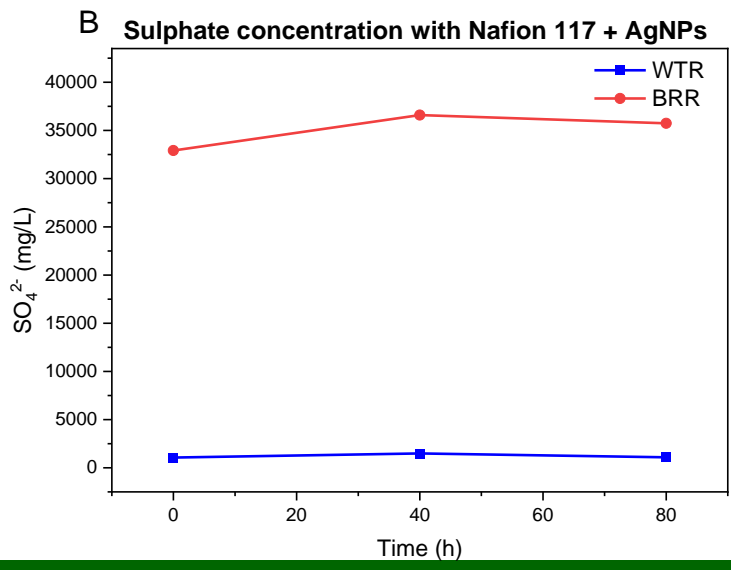
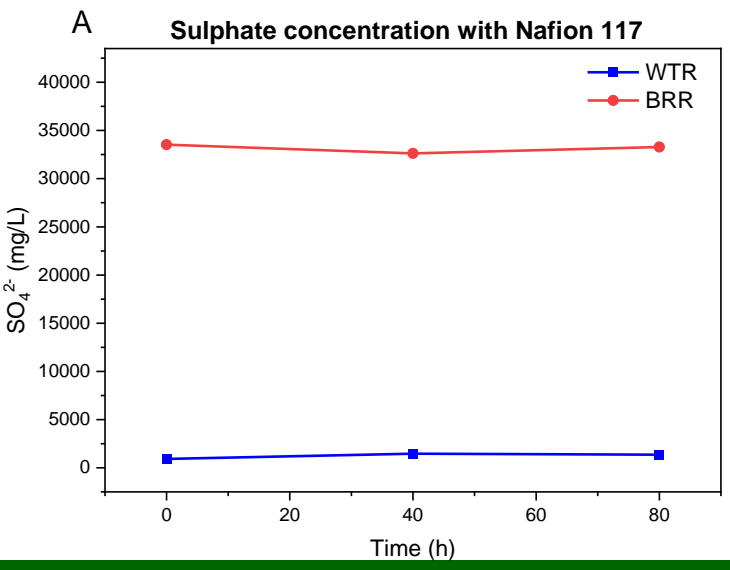
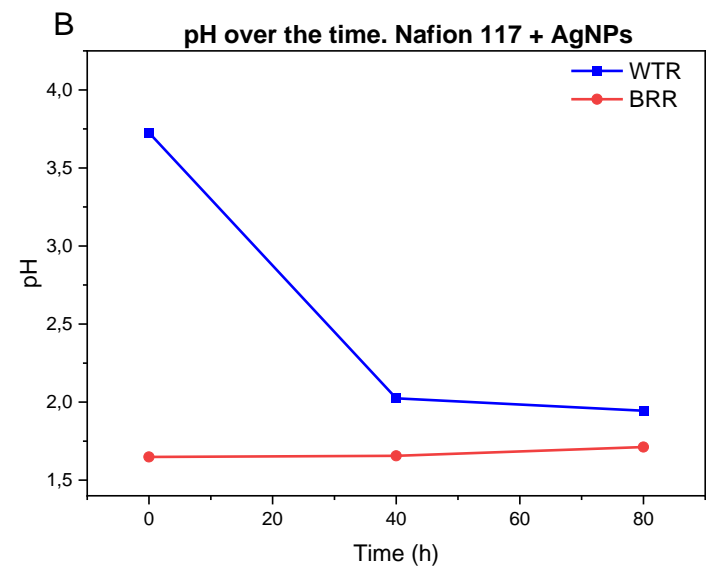
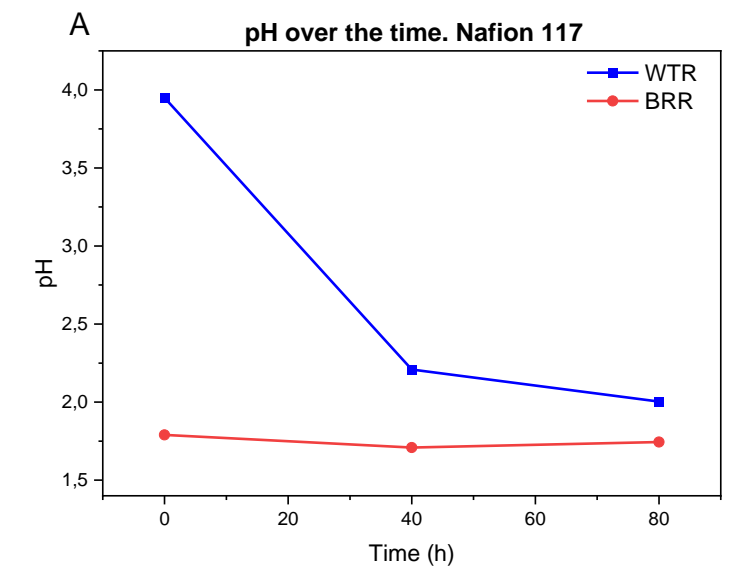
- % de recuperación de aluminio (p-value = $2,1855 \times 10^{-4}$) y % de recuperación de DQO (p-value = $9,145 \times 10^{-11}$)
- A un NS de 0,05 las distribuciones de los datos no provienen de una distribución normal

Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis

- % de recuperación de aluminio y % de recuperación de DQO
- Concentración inicial de aluminio (C_1 , C_2 y C_3) y área de la membrana de intercambio (A_1 y A_2)
 - A un NS de 0,05 demuestran no ser significativamente diferentes.

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

pH Y SULFATOS EN LA RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO



Wang et al. (2014)

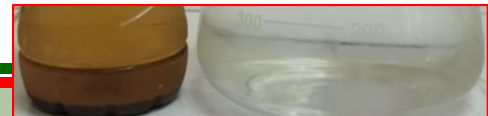
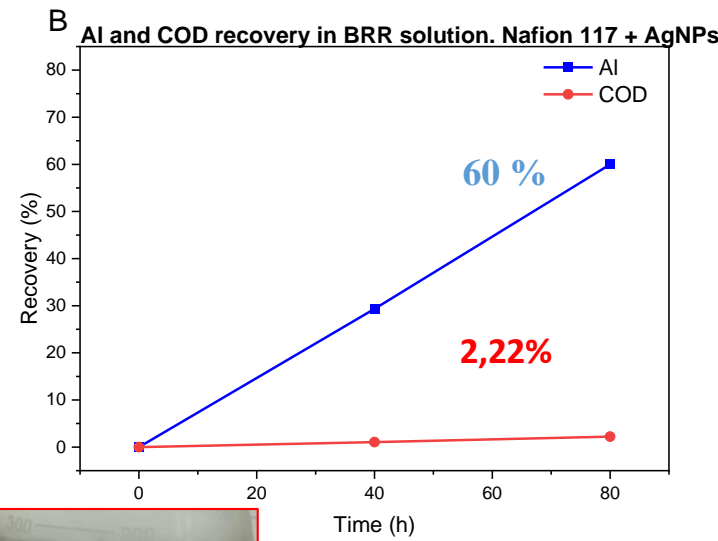
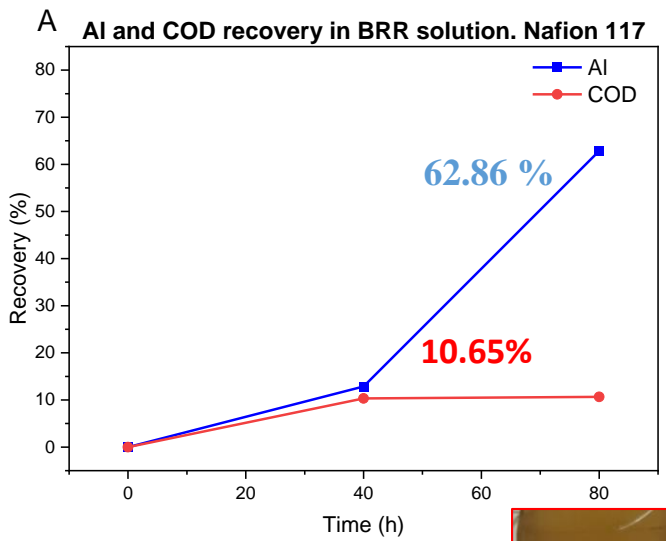
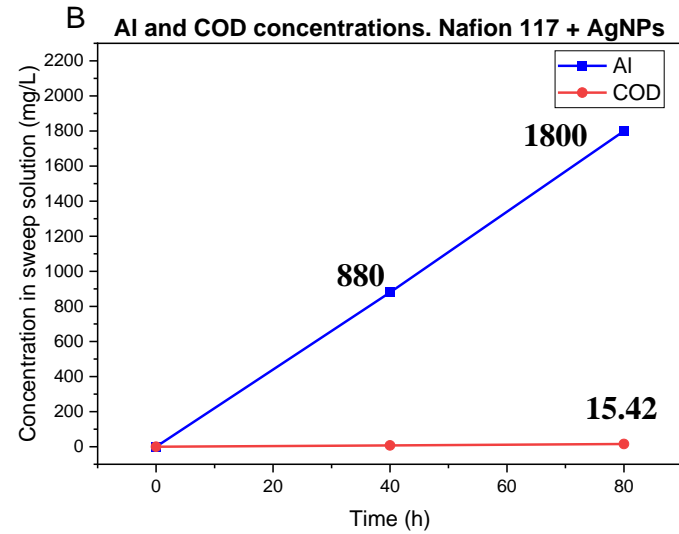
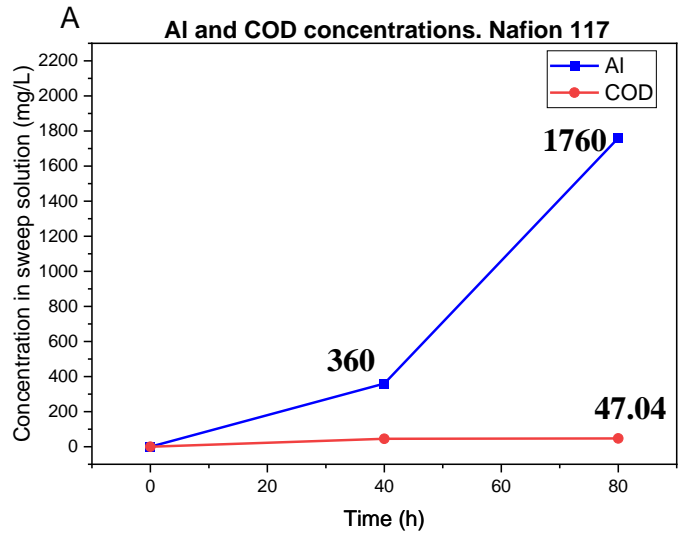
- Liberación significativa desde WTR
- Ca, Cd, Co, Fe, Mg, Mn, Pb y Zn a pH bajo
 - Al, Cu y Ni en ambas condiciones.

(SenGupta & Prakash, 2002)

- Membrana evita paso
- Cloruros, sulfatos, entre otros
 - Materia orgánica disuelta
- Moléculas orgánicas neutras grandes

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

CONCENTRACIONES Y RECUPERACIÓN DE AL Y DQO



Mophethe (2018) y Prakash (2002)

- Iones de aluminio (III) multivalentes
 - Atraviesan Nafion 117
- Se intercambian con iones hidrógeno

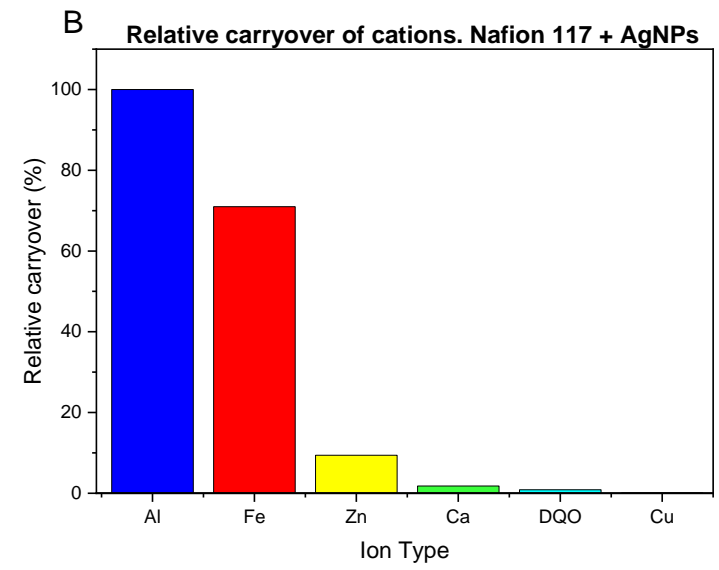
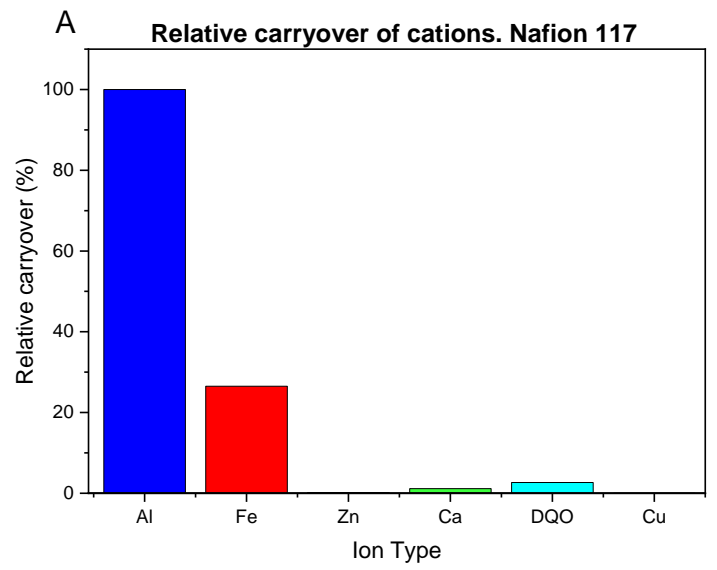
Ramírez et al. (2008)
DQO materia orgánica

Saleha et al. (2017)
Nafion 117 canales de 10 a 40 Å
materia orgánica atraviese el sistema

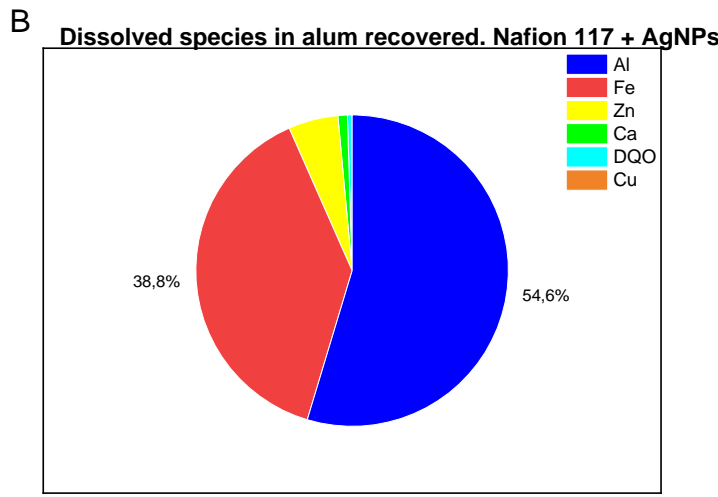
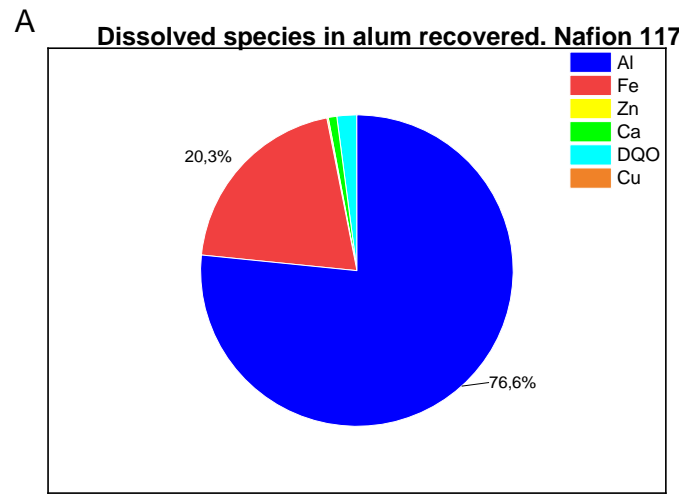
(Louie et al., 2016)
Desde 1 Å

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

CACIONES EN LA SOLUCIÓN DE RECUPERACIÓN

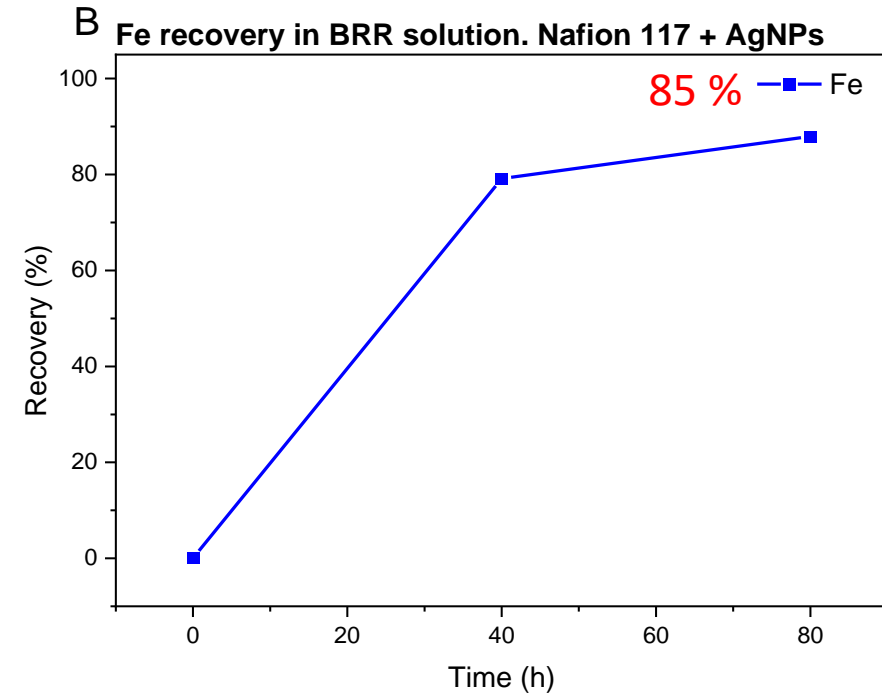
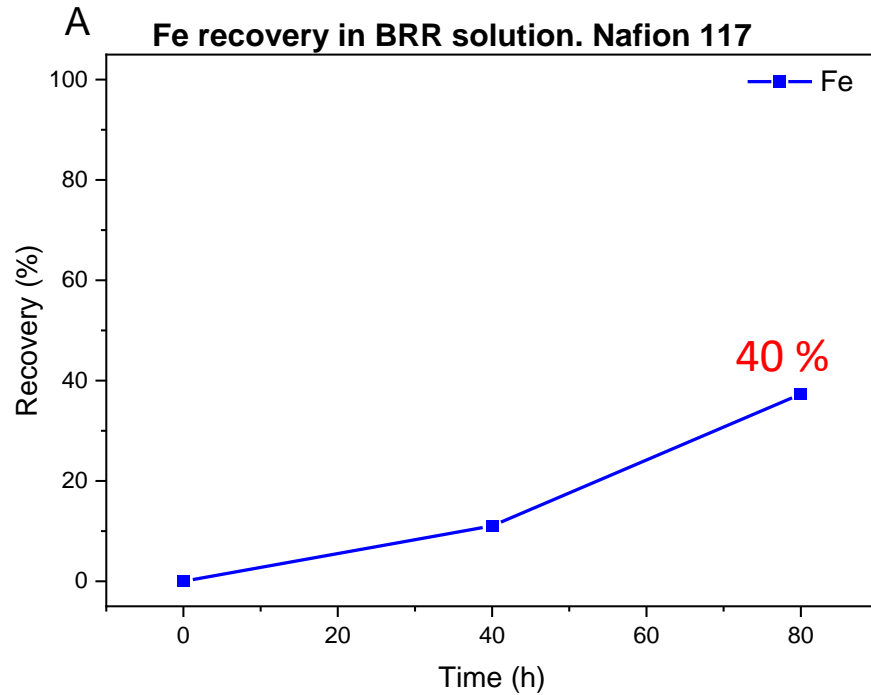


Ca, DQO y Cu
arrastre menor



Al y Fe
únicas especies importantes
recuperadas

RECUPERACIÓN DE HIERRO



SenGupta & Prakash (2002).

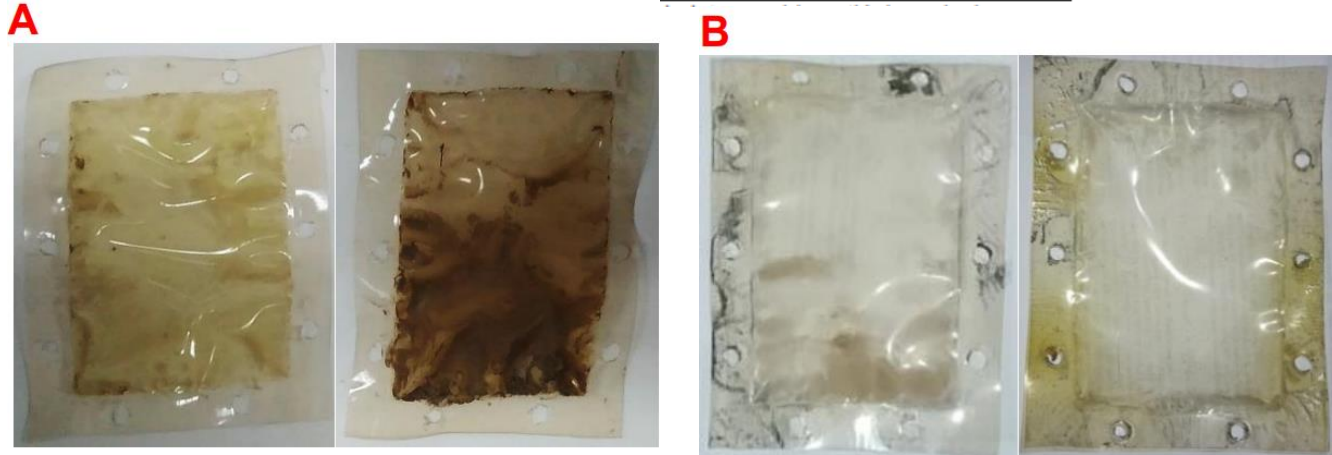
- Eficacia del sulfato de aluminio como coagulante
 - No efectos adversos

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones

ACTIVIDAD ANTIBIOFILM

Actividad antibiofilm de Nafion 117 con AgNPs

Lote	Trat.	Código	Nivel de presencia	
1	13	C1A1T3	++	25 %
	14	C2A1T3	++	
	15	C3A1T3	+++	
	16	C1A2T3	++++	2 %
	17	C2A2T3	+++++	
	18	C3A2T3	+++++	
2	31	C1A1T3	+	25 %
	32	C2A1T3	+	
	33	C3A1T3	+	
	34	C1A2T3	++	
	35	C2A2T3	+	
	36	C3A2T3	++	
3	49	C1A1T3	+	
	50	C2A1T3	+	
	51	C3A1T3	+	
	52	C1A2T3	++	
	53	C2A2T3	+	
	54	C3A2T3	++	



(Zodrow et al., 2009)

- Nanomateriales antibiofilm
- Solución potencial innovadora
- Control de bioincrustaciones en superficies

Turner, et al. (2019)

Cianobacterias potencialmente tóxicas: *Planktothrix*, *Microcystis* y *Cylindrospermopsis*

Patógenos potenciales: *Escherichia coli*, *Bacteroides ovatus*, *Prevotella copri* y *Rickettsia*

4. Recuperación sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN

Comparación de resultados con otros métodos

	Villegas et al. (2005) y Boaventura et al. (2000)	SenGupta & Prakash (2002) y Prakash et al. (2004)	Este estudio	
Método	Digestión ácida	MIC	MIC	MIC+ AgNPs
Alimentación, L WTR	2	3		0.71
Medio/Barrido	H ₂ SO ₄ concentrado	1 L H ₂ SO ₄ 1 M	710 mL H ₂ SO ₄ 0,6 N	
Tiempo, h	2	80		80
Área de IC, cm ²	--	600		44
Al, mg/L	360 - 3700 mg/L (sobrenadante)	4725 - 5000	1760	1800
COD, mg/L	326 y 1800	~20	~47.04	~15.42
% de recuperación Al	50 - 70	~81	62.86	60
Fe, mg/L	159	187	466.8	1277.5
Sulfatos, mg/L	Se mantienen en el sobrenadante	No atraviesan hacia la solución recuperada		
Actividad antibiofilm, %	--	--	25	75

Nota. IC: intercambio catiónico, MIC: membrana de intercambio catiónico.



Se muestrearon y caracterizaron los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable “La Palestina”.

Se sintetizaron nanopartículas de plata Ag-NPs en la superficie de la membrana de intercambio catiónico Nafion-117.

Se diseñó y construyó el sistema de recuperación de sulfato de aluminio de doble compartimento.

Se recuperó sulfato de aluminio de lodos residuales mediante el sistema con membrana de intercambio de iones.

Se determinó que en el tratamiento con AgNPs, las membranas no presentaron bioensuciamiento. Mientras que, para los tratamientos que usaron la membrana sin AgNPs el biofilm generado por los lodos recubrió más del 75 % del área de intercambio de iones.

Se recomienda realizar un análisis cuantitativo de la actividad antibiofilm de las AgNPs en Nafion 117

Colaboradores científicos:

Ing. Luis Cumbal, Ph.D.
Director Centro de Nanociencia y Nanotecnología - ESPE

Lee Blaney, PhD
Blaney Lab, University of Maryland Baltimore County (UMBC)

Ing. Carina Stael
Técnico del Laboratorio de Materiales Avanzados

Alexis Debut, Ph.D.
Jefe del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales

Ing. Karla Vizuite
Técnico del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales

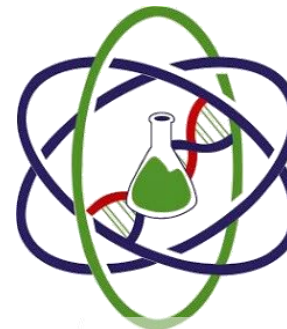
Ing. Sandra Adriano
Técnico de calidad del agua y ambiente - EMAPAST

M. Sc. Katherine Apunte
Técnico de laboratorio de investigación – IKIAM

Ing. Erika Llumiquinga
CENCINAT- USFQ

Quím. Erika Murgueitio PhD.
CENCINAT- ESPE

Ing. Geovanna Arroyo
CENCINAT-ESPE



CENCINAT
Centro de Nanociencia y Nanotecnología



EMAPAST-EP
EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE PASTAZA



Ikiam
Universidad Regional Amazónica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA
VERSIÓN: 1.0

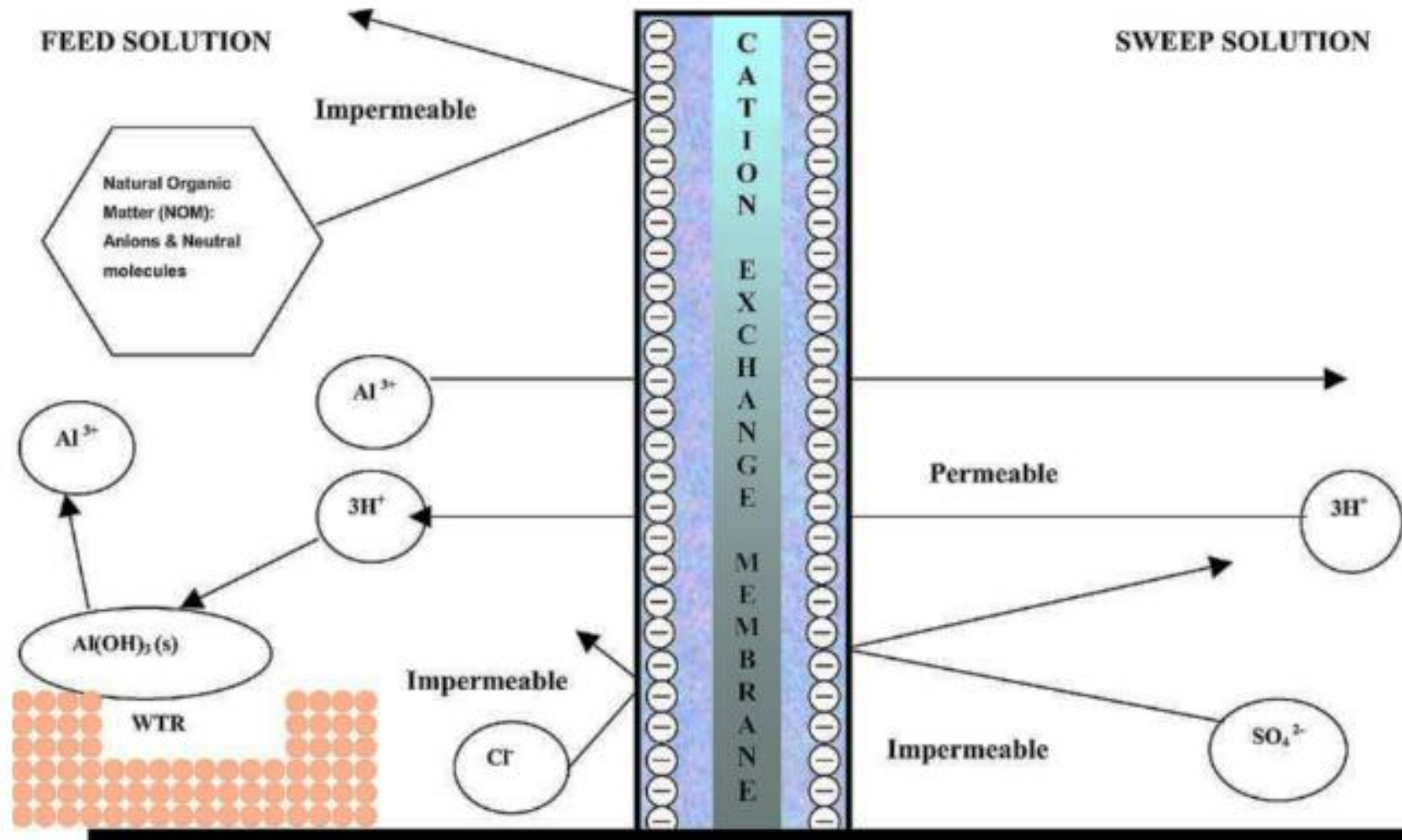
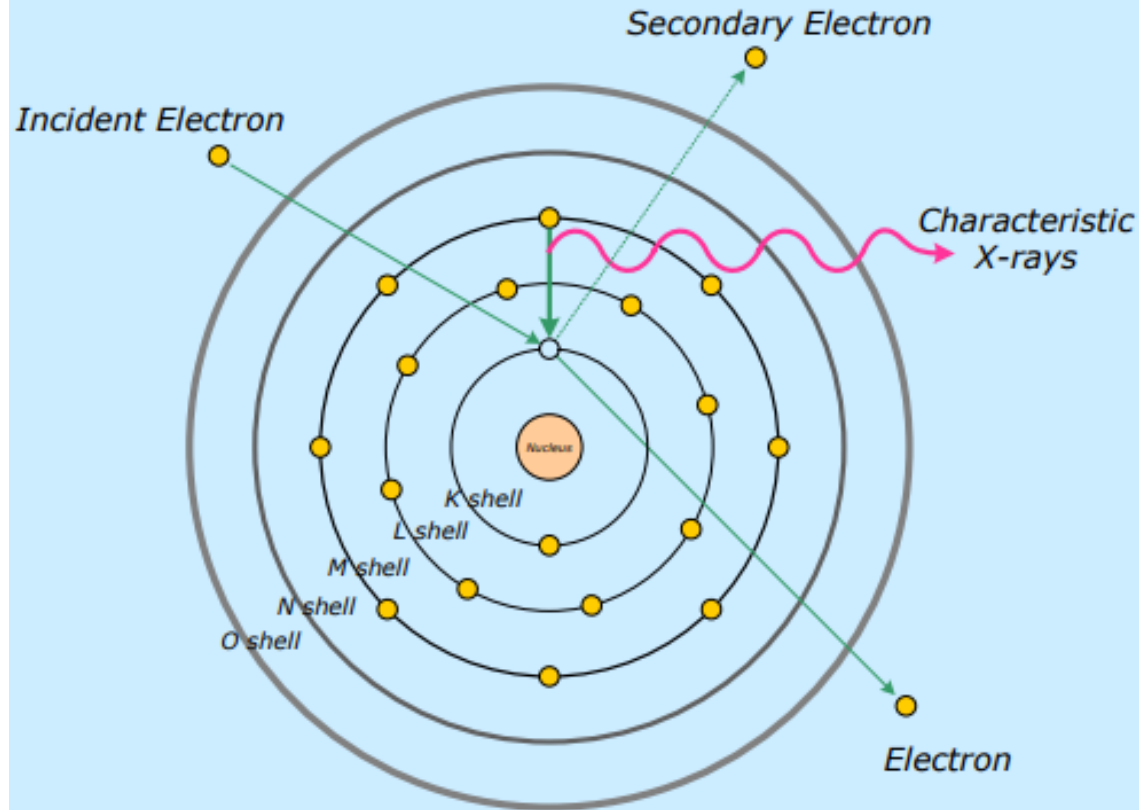


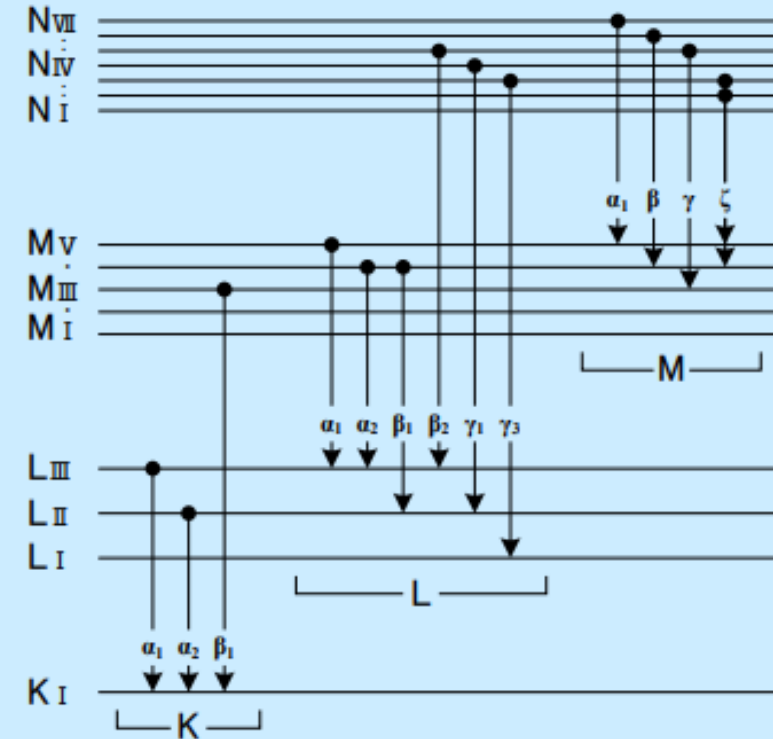
Fig. 6. A schematic of Donnan membrane process illustrating selective alum recovery from water treatment residuals.

Prakash, P., Hoskins, D., & SenGupta, A. K. (2004). Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process. *Journal of Membrane Science*, 237(1– 2), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.03.016>

Characteristic X-rays



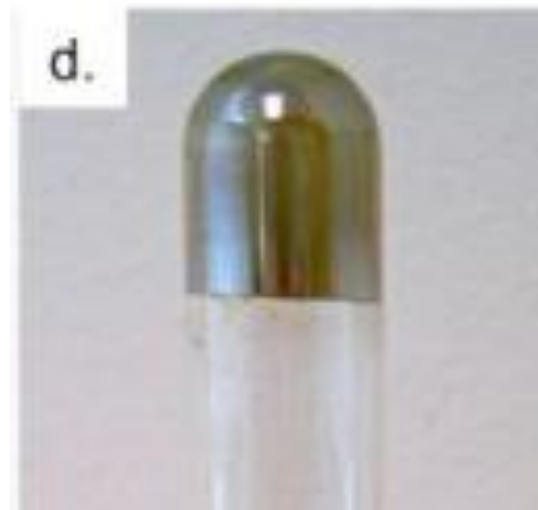
Electron transmissions of major lines



Fedors, R. F., Stephan Eakle, W., Featherstone, J. D. B., Weintraub, J. A., Shain, S. G., Gansky, S. A., Matijašić, G., Glasnović, A., Fernández-García, M., Fernández-Sanz, M., Madrugá López, E., Cuervo-Rodríguez, R., Hernández-Gordo, V., Fernández-Monreal, M. C., Papon, A., Saalwächter, K., Schäler, K., Guy, L., Lequeux, F., ... Thapliyal, P. C. (1990). Energy table for EDS analysis. *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 38(6), 147–154.



F^- reduces $Ag(I)$ salts to $Ag(0)$, forming silver mirrors on the inner surfaces of reaction vessels and luminescent AgNPs in supernatant solutions.



Información extraída de: Maity, K., Panda, D. K., Lochner, E., & Saha, S. (2015). Fluoride-induced reduction of $Ag(I)$ cation leading to formation of silver mirrors and luminescent Ag-nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 137(8), 2812–2815. <https://doi.org/10.1021/ja512020w>



PROBLEMAS

INEC 2016 Ecuador 25 600 kg al año

Castillo 2016 costo de 50 ctvos cada kg

Tratamiento efectivo

Problemas técnicos

Descarga directa en alcantarillado y cuerpo de agua dulce

Desequilibrio biota

Daño salud publica



SOLUCIÓN

