



***PRESENCIA, DETECCIÓN, Y REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. REVISIÓN DE UNA DÉCADA DE LITERATURA.***

---

**Investigador principal  
JENIFER KATHERINE SANCHEZ PEÑA  
Asesor(a)  
JOVANNA ACERO GODOY M.Sc.**

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca  
Facultad de Ciencias de la Salud  
Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico  
Enero de 2019  
Bogota, Colombia**

# 1. INTRODUCCIÓN

**Agua como recurso natural universal<sup>(1,2)</sup>.**

**ARD Y ARI aportan grandes cantidades de agentes biológicos y sustancias químicas, entre estas metales pesados<sup>(3)</sup>.**

**Los metales pesados son el único contaminante no biodegradable, tóxico e incluso carcinógeno<sup>(4)</sup>.**

**Métodos de detección: especificidad, sensibilidad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental.**

**Actualmente existe una gran variedad de técnicas convencionales y no convencionales empleadas en la remoción de metales pesados<sup>(4)</sup>.**



# 2. OBJETIVOS

## 2.1. Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica de los últimos diez años (2008 - 2018), sobre la presencia, técnicas de detección, y remoción de metales pesados en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

## 2.2. Objetivos específicos

➤ Determinar la presencia de metales pesados

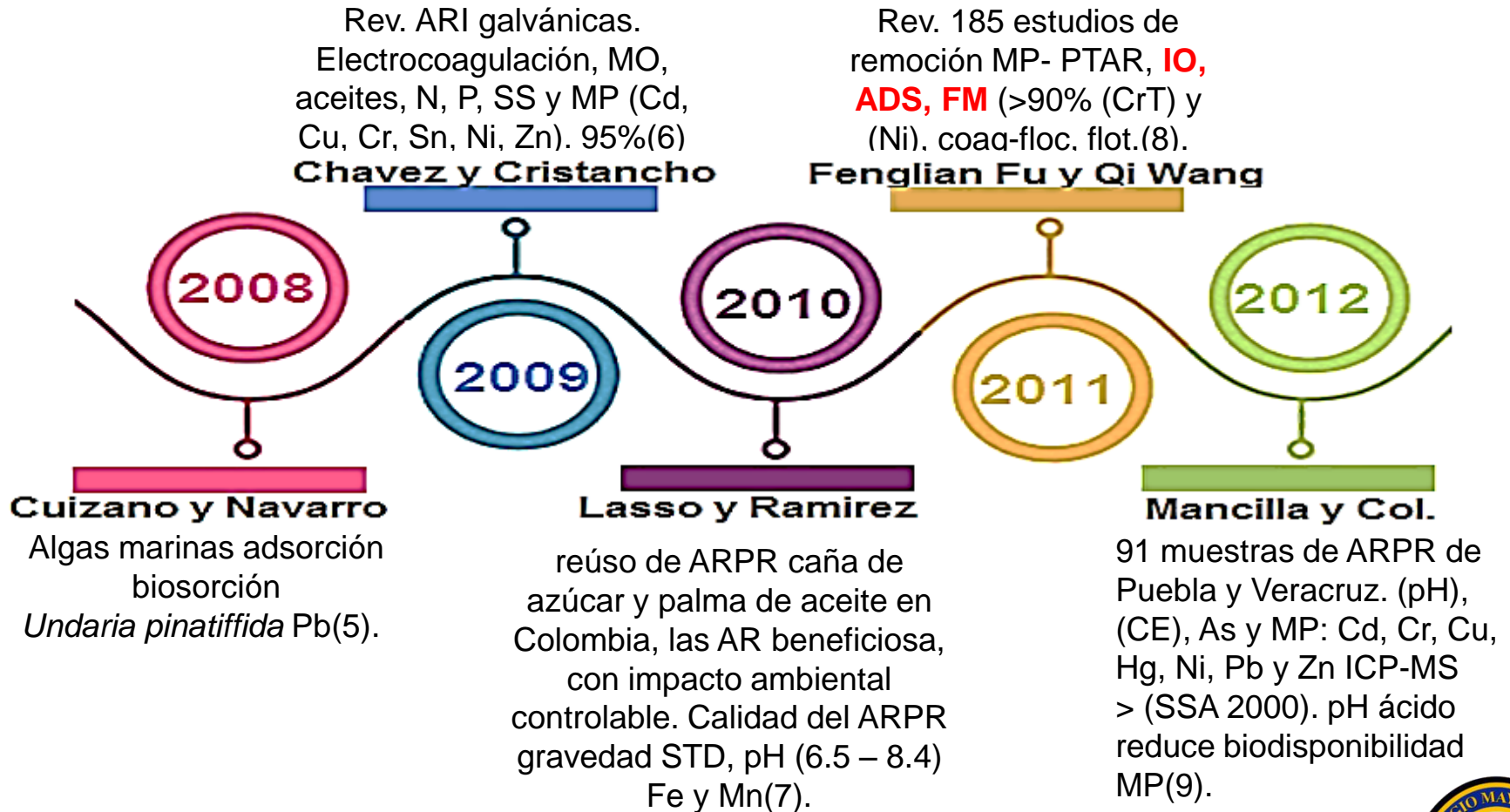
➤ Describir los métodos implementados en la detección de metales pesados

➤ Comparar la eficacia de las técnicas de remoción de metales pesados

**PTAR durante los últimos diez años (2008-2018) a nivel global**



# 3. ANTECEDENTES



Minería, fertilizantes ,  
organofosforado/insectici-  
das, aumento de MP:  
Hg, Pb, As , Cd, Cu,  
Cr(10).

Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, As,  
Cd en los lodos de  
alcantarillado de 9 PTAR,  
China, riesgo ecológico de  
MP lodos cloacales. Lodo  
era seguro para uso  
agrícola sin MP, excepto 3  
PTAR, de Cr, As y Ni(12).

Reutilización ARROA -  
obtención de aluminio  
PTAR Turquía. FM, PTUF,  
NF270 y OI inversa  
(SW30), contra PQ, < 35%  
Al y Cr, FM. NF270 (> 90%)  
Al. Cr y Ni(11).



**Duan B. y Col**

**2017**

**Ates y Uzal**

**2017**

**2018**

**Macias y Col.**

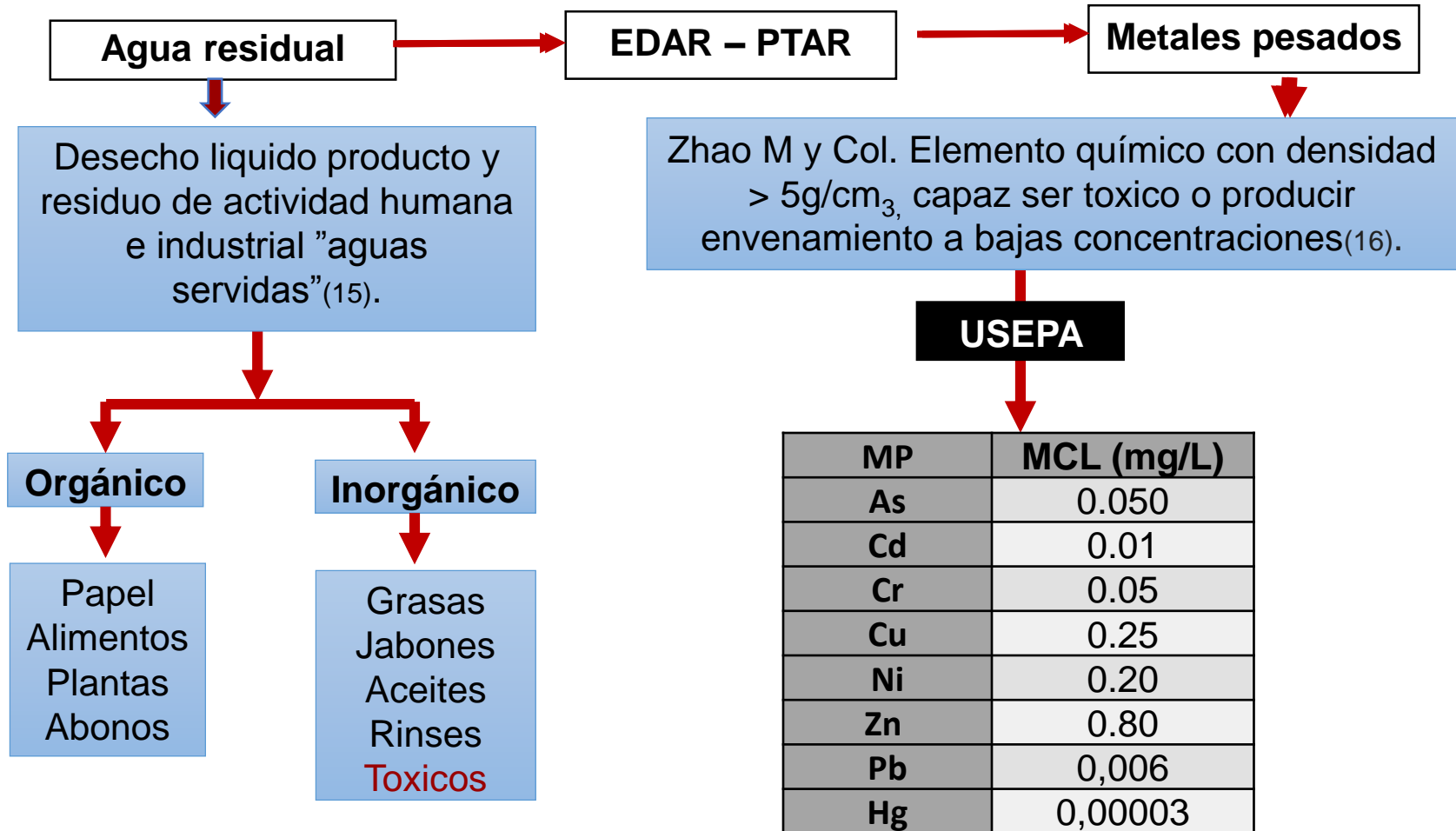
(OSWV) Cd<sup>+2</sup> y Pb<sup>+2</sup> quebrada Las  
Torres del sector Parque Industrial  
en Sogamoso (Colombia), niveles  
> LMA - AR. método de referencia,  
confianza 95%(13).

**Feng J. y Col.**

Efluentes 12 PTAR China  
(As, Cd, Cu, Hg, Mn, Pb, Zn,  
Cr, Hg). 92% (Cr) 16,7% (Hg).  
efecto agudo y/o crónico del  
Cu, Ni, Pb y Zn.(14).



# MARCO TEÓRICO



**Tabla 1.** elementos químicos considerados MP

\*Adaptado de: (Babel and Kurniawan, 2003), Zhao M y colaboradores. Nuevas tendencias en la eliminación de metales pesados de aguas residuales. Appl Microbiol Biotechnol 2016(16).



**AGUA RESIDUAL**

**EDAR – PTAR**

**Propiedades fisicoquímicas**

**DBO<sub>5</sub>**

**DQO**

**OD**

**CE**

**pH**

**T °C**

**Turbiedad**

**STD**

**Dureza**

**Alcalinidad**

**Metales pesados**



FIGURA 1. Arsenicosis Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol. 2014;7(2):60–72.

**DBO<sub>5</sub>**: Materia orgánica biodegradable- oxígeno requerido MO(17,18).

**DQO**: O<sub>2</sub> equivalente al contenido de materia orgánica susceptible de oxidación química(19).

**OD**: Oxígeno presente en el agua. > OD > contaminación(18).



# Detección de metales pesados

EAA

**Kirchhoff:** « cualquier materia que pueda emitir luz a una cierta longitud de onda también absorberá luz a esa longitud de onda». La absorción es directamente proporcional a la concentración del analito (20,21).

VARIACIONES

HG-AAS

FAAS

EAA-HG

AFS

ICP-MS

VRAC

As<sup>5+</sup> de V a III → hidruro volátil (AsH<sub>3</sub>) -(NaBH<sub>4</sub>) 500 - 1000 veces > sensibilidad FAAS<sup>(22)</sup>.  
**IDEAM**

energía de transmisión electrónica única para cada metal. **Ppm** Longitud de onda método 3111<sup>(23)</sup>.

1000 u, inferiores a EAA ultratrazas Atomización tubo grafito, Horno-vapor<sup>(24)</sup>.

Longitud de onda única As, Se, Sb y Hg LOD: < 1 mg/L<sup>-1</sup> <sup>(25)</sup>.

Plasma (Argón) Antorcha: mantiene la temperatura (10000K)plasma acoplado inductivamente (ICP)<sup>(26)</sup>.

pre concentración iones metálicos en electrodo(película) Pulsos o señales producidos por una corriente<sup>(27)</sup>.





# Remoción de metales pesados

**PTAR**

conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales, en donde se busca la descontaminación del agua captada(28).

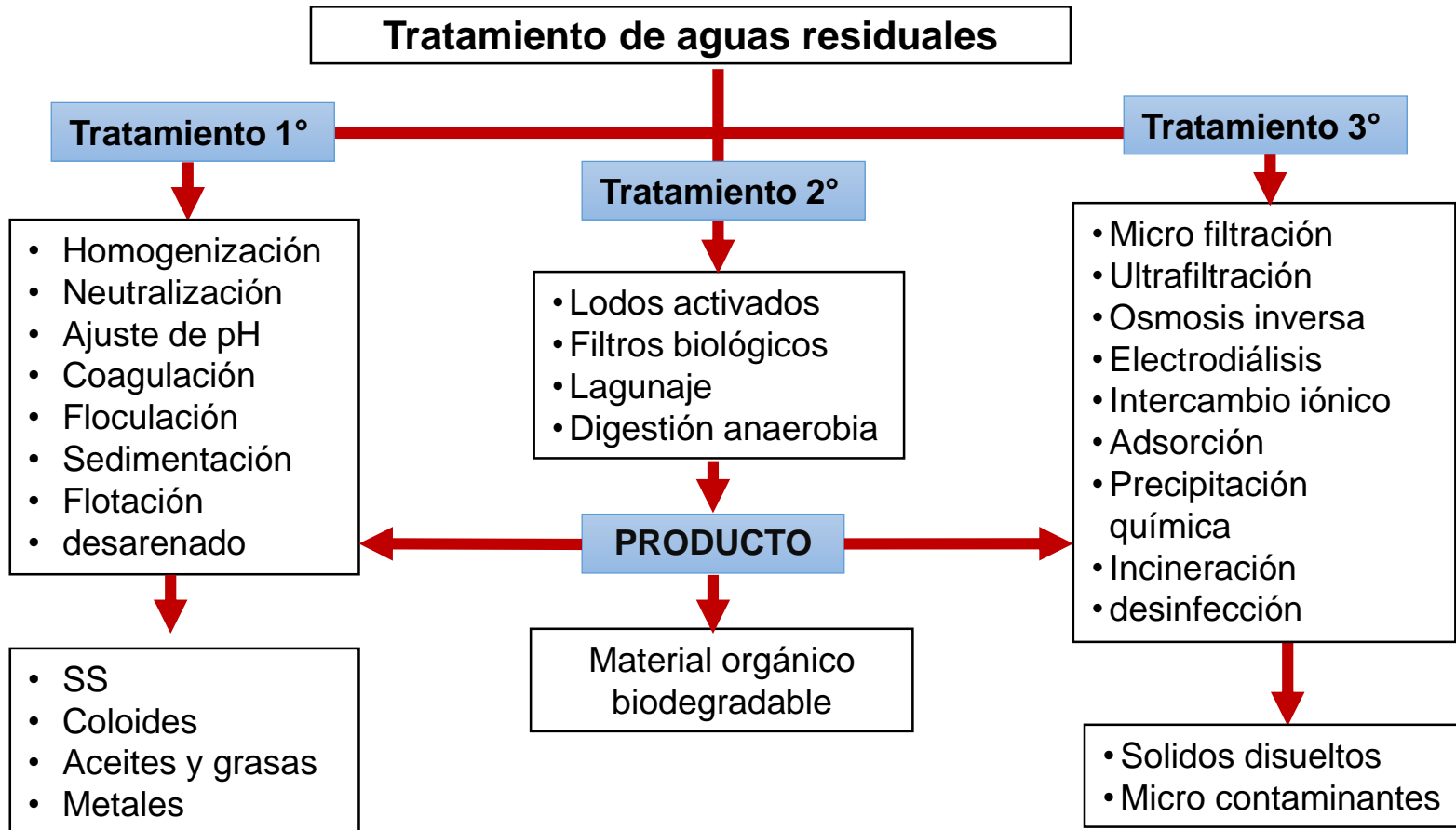


Figura 2. Diagrama general de tratamiento de aguas residuales

\*Tomado de: Limón Macías JG. Tratamiento De Aguas Residuales, ¿Problema O Recurso? 2013; 45(29).



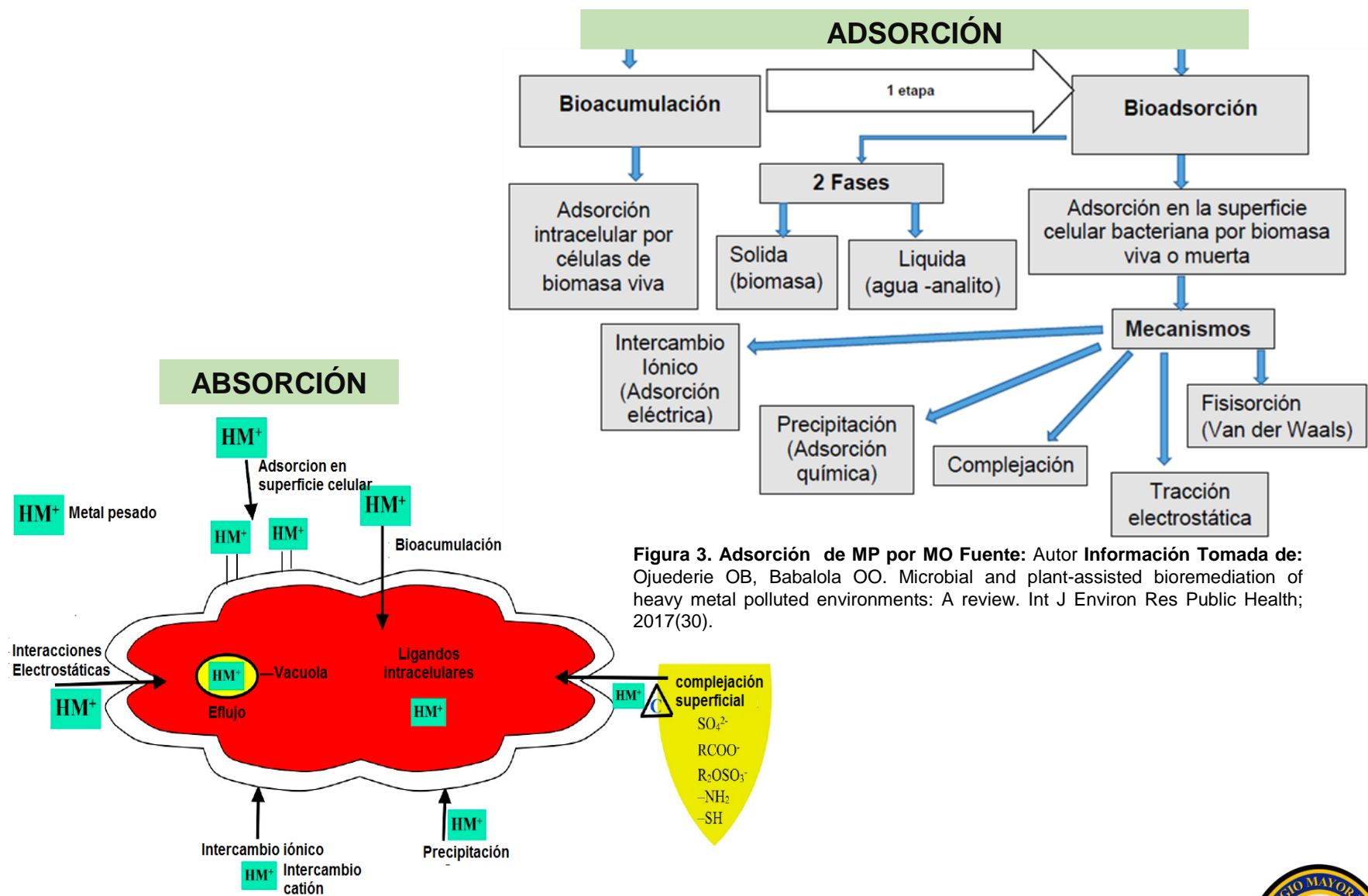


Figura 3. Adsorción de MP por MO Fuente: Autor Información Tomada de: Ojuederie OB, Babalola OO. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. Int J Environ Res Public Health; 2017(30).

Figura 4. Mecanismos de absorción de metales pesados por microorganismos.

\*Tomado de: Ojuederie OB, Babalola OO. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. Int J Environ Res Public Health. 2017; 14((30)



# METODOLOGÍA

## Tipo de investigación

- Documental, estudio descriptivo
- Artículos científicos, libros e investigaciones

## Revisión de artículos

- Publicaciones científicas, repositorios de tesis y proyectos de grado de diferentes Universidades del mundo. Matriz de Microsoft Office Excel®. las variables analizadas, idioma, año, base de datos, objetivos, métodos utilizados, resultados obtenidos más relevantes y conclusiones

## Criterios de inclusión

- Artículos científicos e investigaciones (2008-2018).
- Hallazgos de métodos de detección, cuantificación y remoción de metales pesados como contaminantes existentes en aguas captadas en PTAR en el mundo
- Origen de diversos países de todos los continentes



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

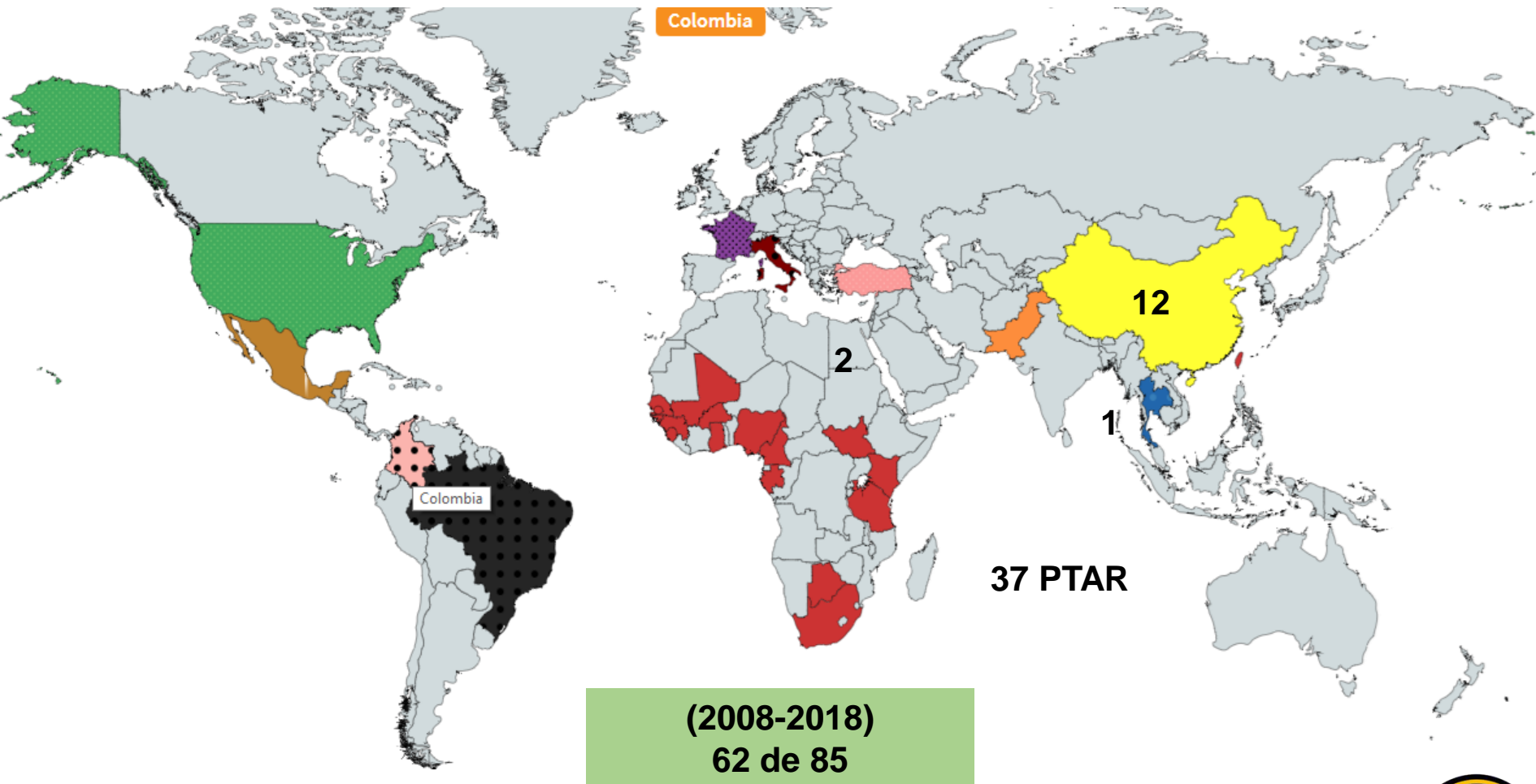
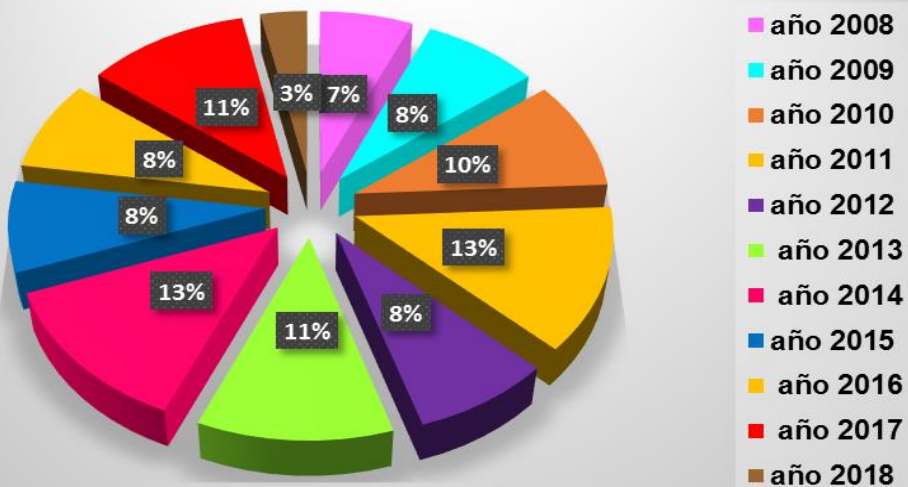


Figura 5. Distribución de información a nivel global  
Elaborado en: <https://mapchart.net/world.html>

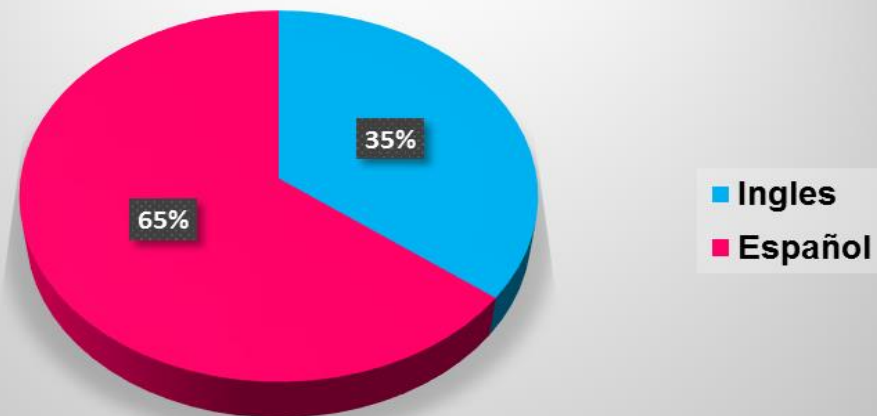
### Figura 6

Documentos revisados (2008-2018)



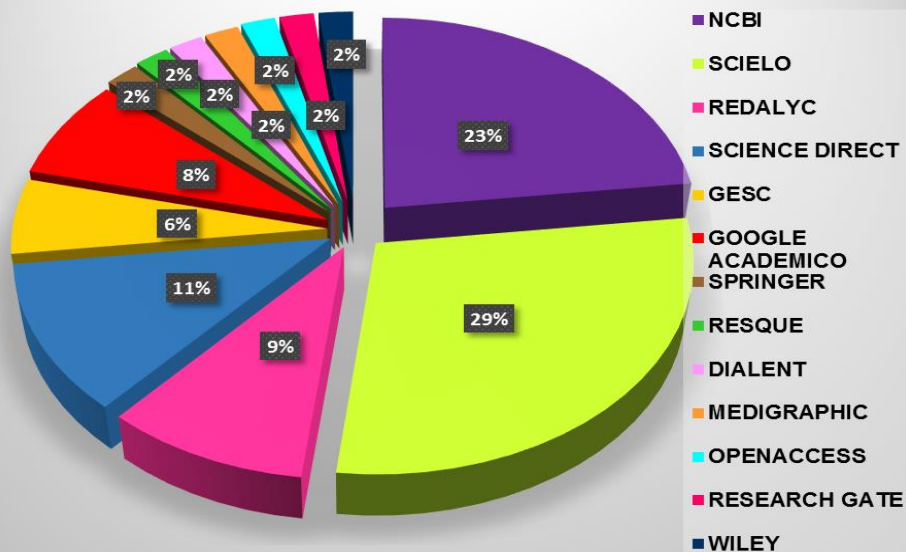
### Figura 7

Idioma de publicación de los documentos consultados



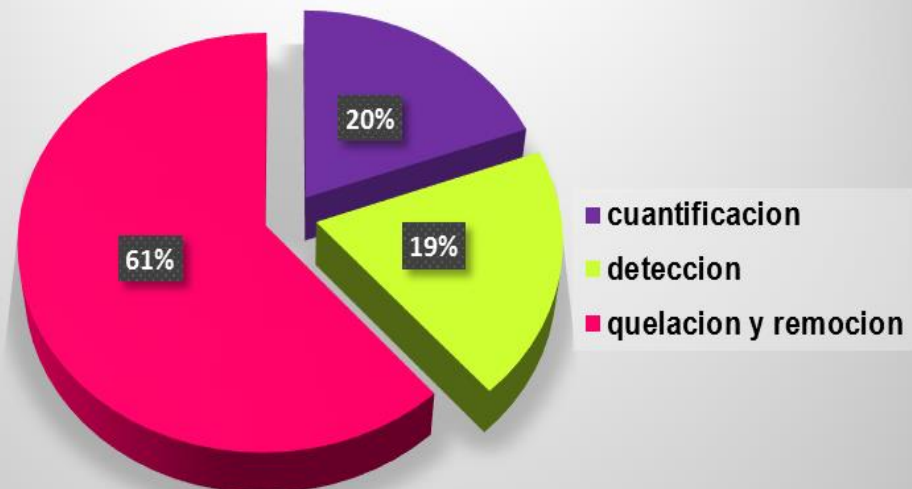
### Figura 8

Bases de datos Científicas consultadas



### Figura 9

Eje central de investigación de cada documento revisado



## Presencia



En todas las PTAR, presencia de metales pesados que sobrepasan VMA por la legislación vigente competente (3,4,6,36,39,40,41).

Los metales de interés en detección y eliminación, fueron Cd, As, Pb, Hg, Cr, Cu, Ni, Zn.

## Detección



(HG-AAS) aplicable a todo tipo de agua, por acoplamiento a caracterización química de elementos metálicos.

(FAAS) técnica > específica. Energía única a cada elemento, menos sensible (HG-AAS). EAA-HG es la técnica más sensible

Todos los métodos de detección, requieren de un pre tratamiento



## Remoción



La coagulación-floculación: técnica química - remoción Mg y Fe del 100% con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Fe, Zn y Ni, 98% ( $\text{FeCl}_3$ ), y (PAC)<sup>(30)</sup>.

La cantidad excesiva de lodos, desplaza métodos convencionales (precipitación) no convencionales (filtración por membrana)<sup>(31)</sup>.

Filtración por membrana como método no convencional – nanofiltración 99% Ni y Cr<sup>(32)</sup>.

## Remoción



capacidad metabólica de los microorganismos por mecanismos de Bioadsorción y bioacumulación

Los sistemas biológicos (microorganismos) remoción >90%. Alta resistencia a cargas toxicas.

ceniza volante, no convencional, bajo costo, eficiencia de remoción baja, remueven metales Hg<sup>2+</sup>. inviable ambientalmente<sup>(33)</sup>.

EPS, permitieron mejorar el rendimiento de la actividad metabólica en biomasa viva (*Paenibacillus* sp) – Cd, Zn y Cu<sup>(34)</sup>.

**Tabla 2.** Metales pesados en afluentes captados en PTAR en diferentes países.

REGION (PTAR)	TIPO DE AGUAS RESIDUALES	Metales en Afluentes ug/L											
		Al	As	cd	CrT	Cu	Fe T	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Seine – Aval (Paris - Francia)	M+I 1.740.000 m <sup>3</sup> /día			0.69	9.42	65.17	682.4		10.92	18.56			
Ribeirao Preto (Sao Paulo Brasil)	M+I 40.000 m <sup>3</sup> /día			0.15	6.87	17.31		52.53		37.42			79.2
5 Central (Bangkok –Tailandia)	M+I (25%) 577.000 m <sup>3</sup> /día			233	18.6	455.1	17217	209.32	32.21	13.97			310.9
Central Thessaloniki (Grecia)	M+I (10%) 135.000 m <sup>3</sup> /día			3.3	40	79	480	67	770	39			470
Fusina (Venecia – Italia)	M+I 100.000 m <sup>3</sup> /día	4320	8.4	1	17.8	108	4650	91	46	31.1			356
Gdansk WWT (Gdansk – Polonia)	M+I			13		100				50			470
WWTP Este (Bursa – Turquía)	M+I (20%) 240.000 m <sup>3</sup> /día	1526	105	18	456	48	1571	114	77	87	380	468	405
WWTP Oeste (Bursa - Turquía)	M+I (35%) 87.500 m <sup>3</sup> /día	208.4	78	7	147	51	2478	154	66	49	209	367	1266
PROMEDIO CONCENTRACION				34.5	99.4	115.4	4513.1	114.642	167	40.756			479.6

Municipal + Industrial)Fuente: autor – información tomada de: Variación del contenido de metales en aguas residuales y lodos activados de las plantas centrales de tratamiento de aguas residuales de Bangkok. 2010(35).

	AUSENCIA - NO DETECTADO
	MAYOR CONCENTRACION
	MENOR CONCENTRACION
	MAYOR PREVALENCIA
	MAYOR CONCENTRACION PROMEDIO





# RESULTADOS MAS RELEVANTES

**Tabla 3.** Comparación de resultados del método voltamperométrico OSWV frente al método de referencia EAA (espectrometría de Absorción Atómica).

Muestra		Concentración ug/L	
		Voltamperometría de onda cuadrada OSWV (95 % confiable)	Espectrofotometría de absorción atómica EAA (95 % confiable)
Muestra con estándar de Pb y Cd (0,2 mg/L)	Cd	679	690
	Pb	711	705
Muestra natural	Cd	364	359
	Pb	347	339
Estándar de Cd y Pb (0,9 mg/L)	Cd	964	968
	Pb	947	944

\*Tomado de: Macías Socha C, et al. Determinación Electroquímica De Plomo Y Cadmio En Aguas Superficiales.2017(35).

**Tabla 4.** Remoción de metales pesados mediante Coagulación-Floculación.

Esp.	Condiciones					R %	Ref
	pH	[ ] inicial	t <sub>r</sub> horas	T ° C	Método y complemento		
Fe Zn Ni	7.0	Fe 15,2 mg/L Zn 5,8 mg/L Ni 6,7 mg/L	30 min	Am	Tres coagulantes (alumbre, cloruro férrico, y cloruro de polialuminio) y como floculante poliacrilamida anionico	98% 83% 63%	Bakar, et al; 2015
Mg Fe	8-9	308,7 mg/L 145,6 mg/L	2-15 min	28	Se utilizó como coagulante Ca(OH) <sub>2</sub>	91,3% 100%	Carrera, et al; 2012

Esp (Especia metálica) [ ] (Concentración), t<sub>r</sub> horas (tiempo de tratamiento en horas), T ° C (temperatura en grados centígrados), R% (porcentaje de remoción), Ref (referencia) \*Tomado de: Caviedes D. Et al. 2015. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. Pág. 9(32).

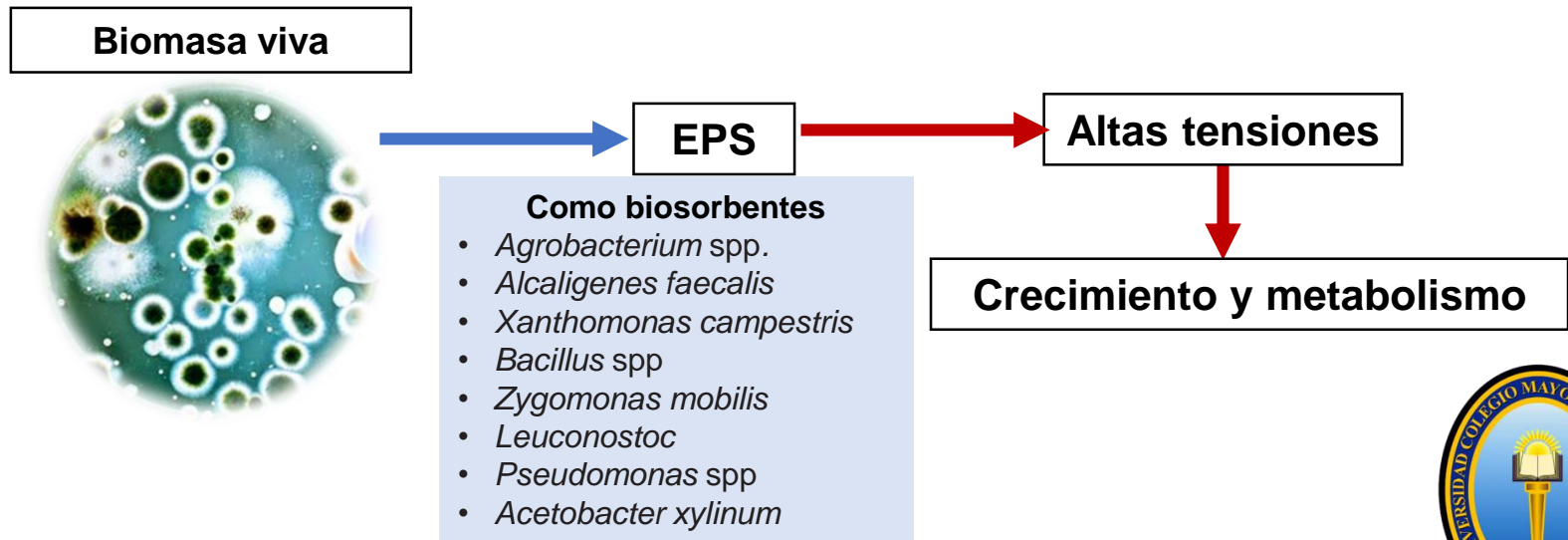


## EPS – *Paenibacillus* sp.

**Tabla 5.** Eficiencia de remoción de metales pesados en experimentos llevados a cabo en ausencia y / o presencia de EPS, con o sin microorganismos.

Experimento	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	Cd	Zn	Cu
<b>Ausencia de EPS</b>			
<b>MP adsorbido en superficie celular</b>	4,33	39,05	12,36
<b>MP internalizado en la célula</b>	1,77	15,78	9,36
<b>Presencia de EPS</b>			
<b>MP adsorbido en superficie celular</b>	3,51	30,33	14,57
<b>MP internalizado en la célula</b>	1,84	17,02	10,36
<b>MP adsorbido en EPS</b>	87,12	19,82	37,64
<b>Presencia de EPS sin M.O.</b>			
<b>MP adsorbido en EPS</b>	98,00	53,25	51,69

\***Tomado de:** Martins PSDO, et al. Aplicación de una sustancia polimérica extracelular bacteriana en la adsorción de metales pesados en un sistema acuoso co-contaminado. 2008 (36)



## Dosis biomasa muerta

**Tabla 6.** Efecto de la dosificación de biosorbente sobre la eficiencia de remoción (%) de metales pesados ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) por biomasa muerta de *Nocardiopsis* sp. MORSY1948 y *Nocardia* sp. MORSY2014

Biosorbente	MP	Eficiencia de biosorción (%) a diferentes dosis de biosorbentes (%)				
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
<b>Nocardiopsis sp. MORSY1948 (células muertas)</b>	$\text{Ni}^{2+}$	13.77	41.90	60.19	87.90	100
	$\text{Cr}^{6+}$	9.52	23.37	54.48	63.75	100
	$\text{Zn}^{2+}$	16.05	41.5	72.57	84.15	100
<b>Nocardia sp. MORSY2014 (células muertas)</b>	$\text{Ni}^{2+}$	15.80	53.20	67.50	93.53	100
	$\text{Cr}^{6+}$	19.27	34.81	70.29	89.22	100
	$\text{Zn}^{2+}$	11.91	40.32	66.12	90.37	100
<b>MP: Metales Pesados</b>						

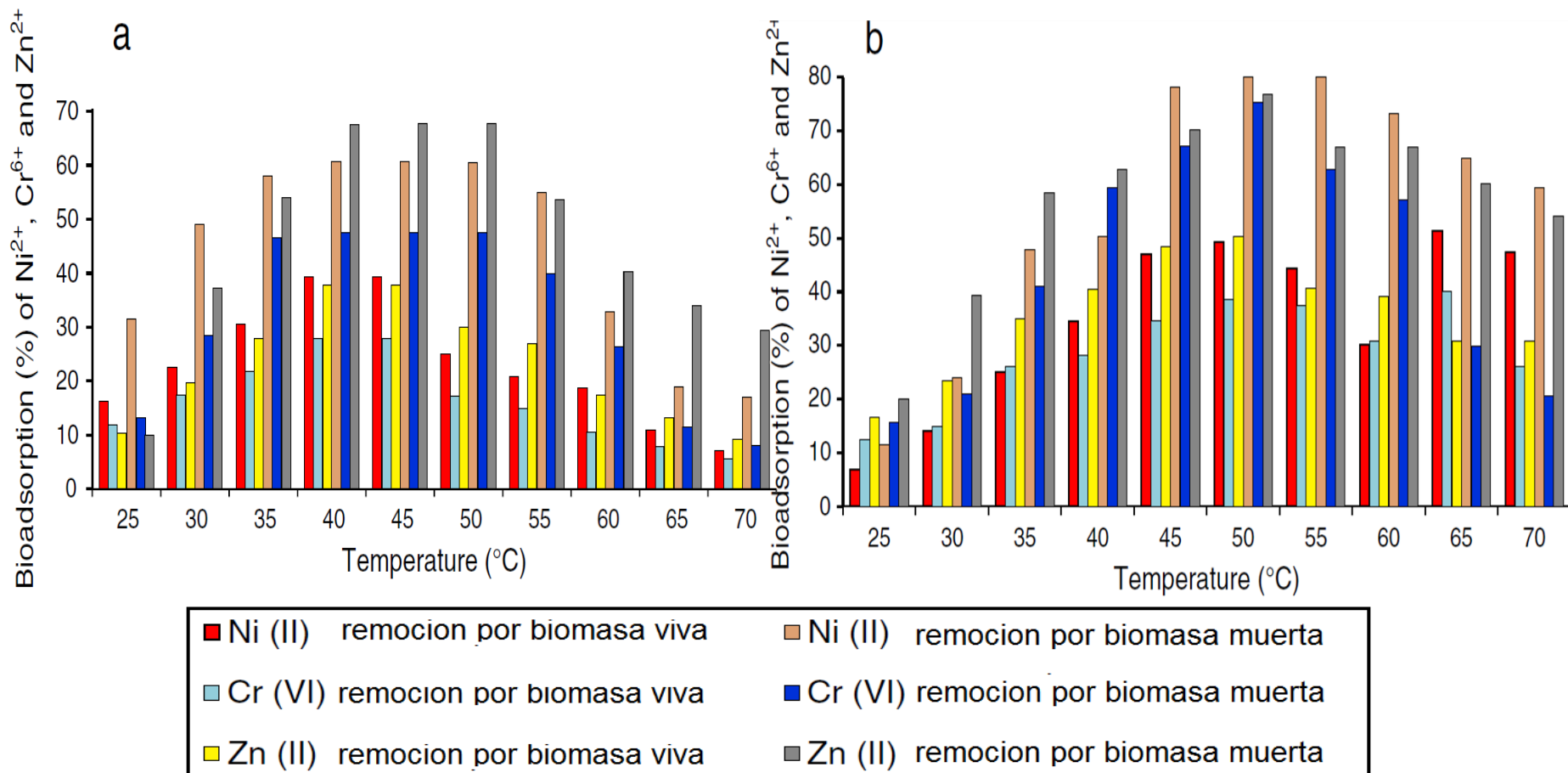
\*Adaptado de: Ahmed MMA et al; 2016. Ahmed MMA et al. Evaluación y mejora de la biorremediación de metales pesados en soluciones acuosas por *Nocardiopsis* sp. (MORSY1948) y *Nocardia* sp. (MORSY2014).2016 (37)

Directamente proporcional



## *Nocardiopsis* sp.

## *Nocardia* sp.



**Figura 10.** (a) Efecto de diferentes temperaturas en la capacidad de biosorción de Ni<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup> y Zn<sup>2+</sup> (%) a partir de la solución acuosa por las células vivas y muertas de *Nocardiopsis* sp. MORSY1948. (b) Efecto de las diferentes temperaturas sobre la capacidad de biosorción de Ni<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup> y Zn<sup>2+</sup> (%) a partir de una solución de resolución por las células vivas y muertas de *Nocardia* sp. MORSY2014.

\*Tomado de: Ahmed MMA et al; 2016. Ahmed MMA et al. Evaluación y mejora de la biorremediación de metales pesados en soluciones a *Nocardiopsis* sp. (MORSY1948) y *Nocardia* sp. (MORSY2014).2016(37).



# Protozoos

Bacterias	Metal	% remoción	Genes
<b>Bacillus licheniformis</b>	Zn	53%	CopC / Cobre ChrB / Cromo CnrA3 / Cobalto - Níquel nccA / Cadmio - Níquel
	Cd	39%	
	Al	23%	
	Ti	75%	
<b>Brevibacillus laterosporus</b>	Co	17%	CopC / Cobre ChrB / Cromo CnrA3 / Cobalto - Níquel nccA / Cadmio - Níquel
	Ni	33%	
	Mn	21%	
	V	35%	
	Pb	31%	
	Cu	29%	
	Zn	41%	
	Cd	35%	
<b>Pseudomonas putida</b>	Ti	100%	CopC / Cobre ChrB / Cromo CnrA3 / Cobalto - Níquel nccA / Cadmio - Níquel
	Pb	96%	
	V	83%	
	Co	71%	
	Ni	57%	
	Cu	49%	
	Mn	45%	
<b>Protozoos</b>	<b>Metal</b>	<b>% remoción</b>	<b>Genes</b>
<b>Peranema sp.</b>	Ti	78%	CopC / Cobre chrB / Cobre cnrA3 / Cobalto - Níquel
	Co	66%	
	Pb	59%	
	Zn	45%	
	Cd	42%	
<b>Trachelophyllum sp.</b>	Ni	27%	CopC / Cobre chrB / Cobre
	Cu	41%	
	Mn	33%	
	V	32%	

**Tabla 7.** Genes que codifican resistencia a metales pesados en bacterias y protozoos.

**Fuente:** Autor – Información tomada de: Kamika I, Momba MNB. Assessing the resistance and bioremediation ability of selected bacterial and protozoan species to heavy metals in metal-rich industrial wastewater. BMC Microbiol; 2013 (45).



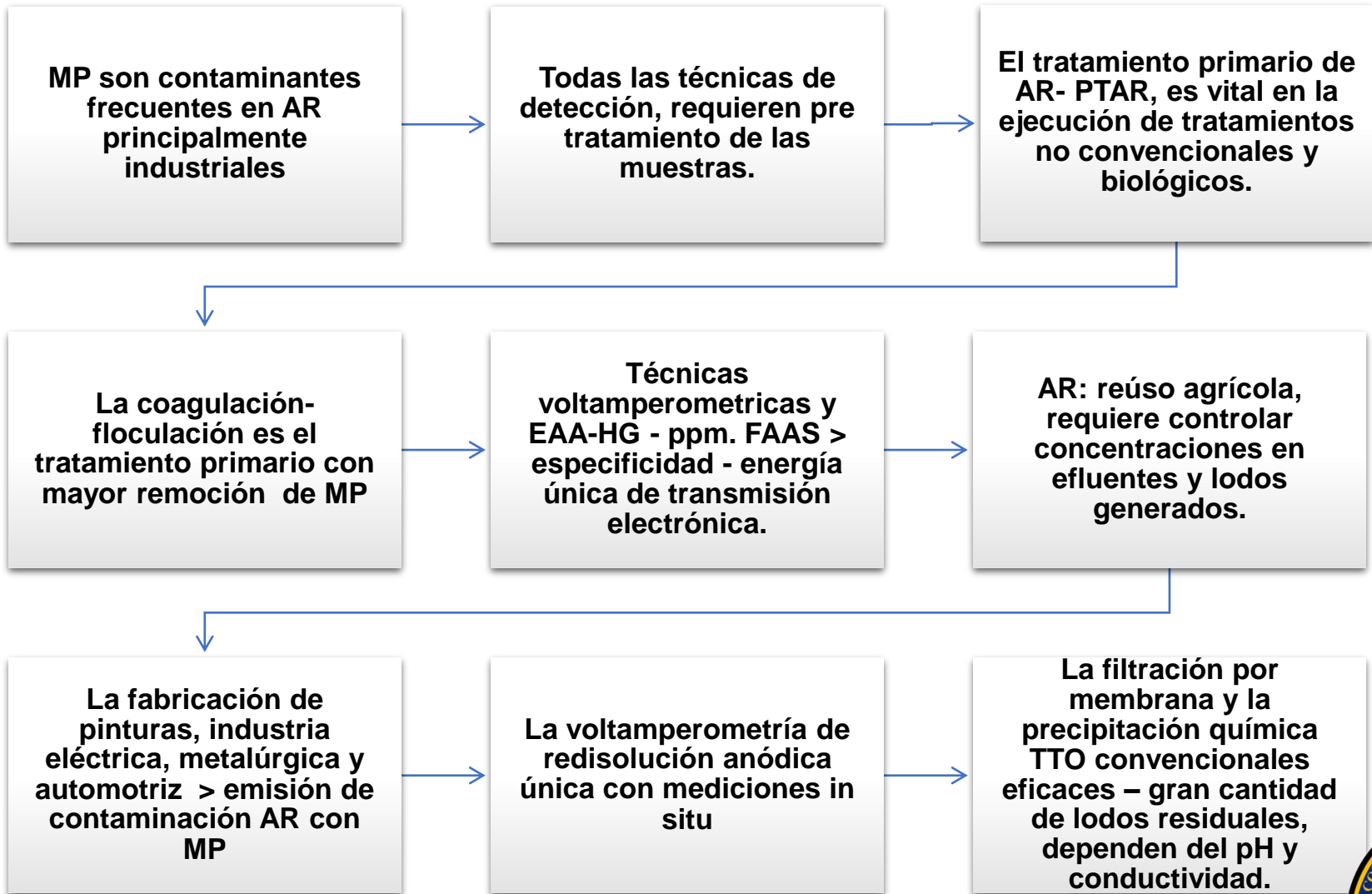
**Tabla 8.** Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos

<b>Bioadsorción</b>	<b>Bioacumulación</b>
<b>Proceso pasivo</b>	Proceso activo
<b>Biomasa sin vida</b>	Biomasa con vida
<b>Metales unidos a la superficie celular</b>	Metales unidos a la superficie celular y acumulados en el interior de la célula
<b>Proceso reversible</b>	Proceso parcialmente reversible
<b>No requiere nutrientes</b>	Requiere nutrientes
<b>Rápido</b>	Lento
<b>No es controlado por el metabolismo</b>	Controlado por el metabolismo
<b>No afectado por el efecto toxico</b>	afectado por el efecto toxico
<b>No hay crecimiento celular</b>	Implica crecimiento celular
<b>Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes</b>	Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes
<b>Posibilidad de recuperación y reúso de contaminantes POR desorción</b>	Los metales no pueden recuperarse
<b>La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción</b>	La biomasa no puede recuperarse

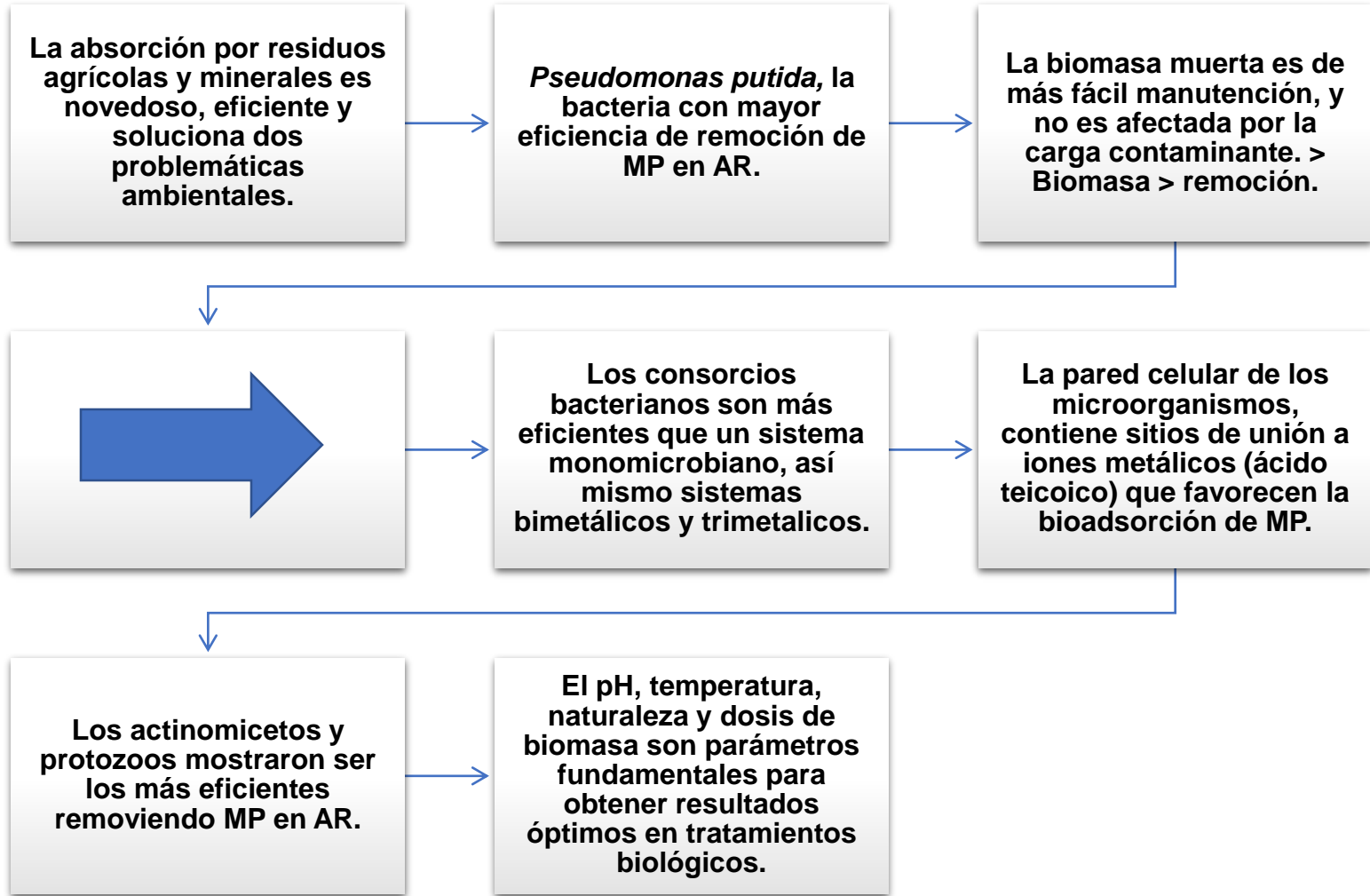
\*Tomado de: Tejada C, et al; 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Tecno Lógicas (38).



# CONCLUSIONES



# CONCLUSIONES





# RECOMENDACIONES

- ✓ Los métodos de detección y remoción de metales pesados deben ser escogidos en función de la carga contaminante, estructura, normatividad vigente para cada país o región y presupuesto de cada PTAR.
- ✓ Evaluar el método de pretratamiento a fin a cada técnica de detección.



# AGRADECIMIENTOS

## ***A mi Asesora***

*Msc. Jovanna Acero Godoy*

*Por ofrecerme todas las herramientas académicas,  
humanas y su empeño profesional para el desarrollo  
de esta investigación.*

## ***A mi Alma Mater***

*Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca*

*Por ser parte fundamental de mi formación  
profesional*



# DEDICATORIA

**A Dios.**

*Por sus infinitas bendiciones, por cada día que dedique a dar este gran paso, siempre con el objetivo de aportar a la sociedad, soñando con un mundo mejor.*

**A mi hijo - Alan Jacob.**

*Mi fuente de inspiración, orgullo y grandeza, agradezco por su paciencia, por soportar mis ausencias y comprender paso a paso este proceso.*

**A mis padres - Humberto y Rosalba.**

*Por el apoyo incondicional por sus valores y motivación constante, por su esfuerzo invaluable en la construcción de mi carrera profesional*

**A mi esposo - Luis.**

*Por brindarme siempre un abrazo, una palabra de aliento, por su infinito amor, por ser un guía en mi vida, por creer en mis capacidades al no permitir que me rindiera en ningún momento*

*¡Gracias a ustedes!*



# REFERENCIAS

1. OMS. Guidelines for Drinking-water Quality. Atención Primaria [Internet]. 2006;23(Vdv):7. Available from: [http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1262/Investigao\\_e\\_evo\\_luo.pdf?sequence=1](http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1262/Investigao_e_evo_luo.pdf?sequence=1)
2. FAO. Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, principios y necesidades. 2017. 116 p.
3. Robledo Zacarías VH, Velázquez Machuca MA, Montañez Soto JL, Pimentel Equihua JL, Vallejo Cardona AA, López Calvillo MD, et al. Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. Rev Int Contam Ambient. 2017;33(2):221–35.
4. Rincón-silva NG. Evaluacion de parametros fisico-quimicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. 2017;
5. Cuizano N a, Navarro AE. Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. An Quím [Internet]. 2008;104(2):120–5. Available from: <http://analesdecp22.webjoomla.es/index.php/AnalesQuimica/article/viewFile/416/405>
6. Chávez Porras Á, Cristancho Montenegro DL, Ospina Granados ÉA. Una Alternativa Limpia para el Tratamiento de las Aguas Residuales Galvánicas: Revision Bibliografica. Rev Ing Univ Medellín. 2009;8(14):39–50.



7. Lasso J, Ramírez JL. Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. *El hombre y la máquina*. 2010;36:95–105.
8. Fu F, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J Environ Manage* [Internet]. 2011;92(3):407–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
9. Mancilla-Villa ÓR, Ortega-Escobar HM, Ramírez-Ayala C, Uscanga-Mortera E, Ramos-Bello R, Reyes-Ortigoza AL. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de puebla y Veracruz, México. *Rev Int Contam Ambient*. 2011;28(1):39–48.
10. Londoño Franco LF, Londoño Muñoz PT, Muñoz Garcia FG. Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología en el Sect Agropecu y Agroindustrial* [Internet]. 2016;14(2):145. Available from: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/1707>
11. Ates N, Uzal N. Removal of heavy metals from aluminum anodic oxidation wastewaters by membrane filtration. *Environ Sci Pollut Res*. 2018;(Sergey 2011).
12. Duan B, Zhang W, Zheng H, Wu C, Zhang Q, Bu Y. Disposal situation of sewage sludge from municipal wastewater treatment plants (WWTPs) and assessment of the ecological risk of heavy metals for its land use in Shanxi, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(7).



- 13.** Macías Socha C, García Colmenares M, Chaparro S. P. Determinación Electroquímica De Plomo Y Cadmio En Aguas Superficiales. Luna Azul [Internet]. 2017;(44):27–38. Available from: [http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul44\\_3.pdf](http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul44_3.pdf)
- 14.** Feng J, Chen X, Jia L, Liu Q, Chen X, Han D, et al. Effluent concentration and removal efficiency of nine heavy metals in secondary treatment plants in Shanghai, China. Environ Sci Pollut Res. 2018;(2015):1–8.
- 15.** del Villar A. Guía Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales urbanas. Trat Av Aguas Residuales [Internet]. 2010;70. Available from: [http://www.consolider-tragua.com/documentos/guia\\_tratamientos\\_avanzados.pdf](http://www.consolider-tragua.com/documentos/guia_tratamientos_avanzados.pdf)
- 16.** Zhao M, Xu Y, Zhang C, Rong H, Zeng G. New trends in removing heavy metals from wastewater. Appl Microbiol Biotechnol [Internet]. 2016;100(15):6509–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019> .
- 17.** Larriva J, González O. Cinética de la remoción de DBO 5 en humedales con flujo sub-superficial horizontal. Ing Hidraul y Ambient. 2017;38(1):17–30.
- 18.** Arroba Torres CA, Ávila Malaver DA. Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de un campus universitario. 2015;43. Available from: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9408/ÁvilaDavid2015.pdf?sequence=1>
- 19.** Ivan M, German G, Sergio V. Remocion de Niquel y DQO presentes en las aguas residuales de la industria automotriz mediante electrocoagulacion. 2013;(19):13–21. Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=90232018&lang=es&site=ehost-live25>. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol 2014;7(2):60–72.



20. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol*. 2014;7(2):60–72.
21. Ayangbenro AS, Babalola OO. A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(1).
22. Razmilic B. Control de Calidad de Insumos y Dietas Acuicolas [Internet]. Fao Italia. 1994. Available from: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S04.htm>
23. Cesar A, Vergara F, Acevedo R, Severiche C. Evaluación analítica para la determinación de arsénico y selenio en aguas por espectroscopía de absorción atómica. *Boliv J Chem*. 2014;31(1):10–4.
24. Method FP, Method AS, Couple I. Anexo I Metodologías De Analisis Parte a : Aguas Superficiales Continentales. 1998;1–7.
25. Hernández FG, Martínez, Antonio PlaJerez AH, Conde-Salazar LR, Guarnido OL. Determinación de Metales por absorción atómica - Horno de Grafito [Internet]. 2009. Available from: <http://www.ugr.es/~fgil/proyecto/grafito/fundamento3.html>
26. Sánchez-Rodas D, Corns WT, Chen B, Stockwell PB. Atomic Fluorescence Spectrometry: A suitable detection technique in speciation studies for arsenic, selenium, antimony and mercury. *J Anal At Spectrom*. 2010;25(7):933–46.
27. Barve KH, Laddha KS, Jayakumar B. Extraction of saponins from safed musli. *Pharmacogn J*. 2010;2(13):561–4.
28. Estrada J. Electrodo de Pasta de Carbón Modificados con Residuos de Café para Cuantificar Metales Pesados en Solución Acuosa. Tesis Doctoral. 2012;64.
29. Alvis Yepes C. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo urbanístico Barcelona de Indias [ tesis pre grado]. Bogota: Universidad nacional de Bogota; 2015. 2015;
30. Torres P. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Rev EIA*. 2012;115–29



- 31.** Tejada-Tovar C, Villabona-Ortiz Á, Garcés-Jaraba L. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*. 2015;18(34):109–23.
- 32.** Ojuederie OB, Babalola OO. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(12).
- 33.** Engels C, Kirkby E, White P. Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships [Internet]. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*. Elsevier Ltd; 2011. 85-94 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4>
- 34.** Salihoglu NK. Assessment of Urban Source Metal Levels in Influent, Effluent, and Sludge of Two Municipal Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Plants of Bursa, an Industrial City in Turkey. *Clean - Soil, Air, Water*. 2013;41(2):153–65.
- 35.** Chanpiwat P, Sthiannopkao S, Kim KW. Metal content variation in wastewater and biosludge from Bangkok's central wastewater treatment plants. *Microchem J* [Internet]. 2010;95(2):326–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2010.01.013>
- 36.** Methods S. 3114 ARSENIC AND SELENIUM BY HYDRIDE GENERATION / ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY \* 3114 B . *Manual Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometric Method* [Internet]. 2009. Available from: <https://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=209>
- 37.** Rubio DIC, Calderón RAM, Gualtero AP, Acosta DR, Rojas IJS. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Rev Ing y Región*. 2015;13(1):73–90.
- 38.** Muñoz Lucas MI. Caracterización y acondicionamiento de cenizas volantes para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas. tesis doctoral. universidad de Leon; 2012.
- 39.** Martins PSDO, De Almeida NF, Leite SGF. Application of a bacterial extracellular polymeric substance in heavy metal adsorption in a co-contaminated aqueous system. *Brazilian J Microbiol*. 2008;39(4):780–6





**40.** Mervat Morsy Abbas Ahmed El-Gendy AMAE-B. Evaluation and enhancement of heavy metals bioremediation in aqueous solutions by *Nocardiosis* sp. MORSY1948, and *Nocardia* sp. MORSY2014. *Brazilian J Microbiol* [Internet]. 2016;47(3):571–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.029>

**41.** Gallegos W, Vega M, Noriega P. Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja, Rev Ciencias la vida*. 2012;15(1):18–25.

**42.** Caviedes Rubio DI, Delgado DR, Olaya Amaya A. Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Prod mas Limpia* [Internet]. 2016;11(2):126–49. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200012&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200012&script=sci_abstract&tlng=es)

