



# **Gestión e ingeniería de tratamiento de aguas residuales**

## **Tecnologías existentes y rendimiento de aguas residuales en América Latina**

**M.Sc. Craudy Norori**

**28 de julio de 2022**

## 01 Introducción

## 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

## 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

## 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina



# 01 Introducción

## Modelos de gestión en Latinoamérica

**Colombia**, Empresas Públicas de Medellín, una empresa de servicios públicos de propiedad pública, ha sido un modelo de negocio rentable con servicio universal, incluyendo a los desatendidos.

**Perú**, la gobernanza del agua está fragmentada entre 50 empresas de servicios públicos, el SUNASS como organismos regulador.

**Chile**, una historia de éxito en una concesión privada en Santiago que logró cobertura universal con excelentes estándares operativos y ambientales.

**México**, modelo público

**Centroamérica**, Predomina el modelo público y la gestión comunitaria.

**Brasil**, SABESP ha demostrado un modelo de negocio rentable.

**Argentina** hay 24 jurisdicciones independientes de agua y saneamiento.

Fuente: <https://www.thesourcemagazine.org/perspectives-on-prospects-for-latin-americas-water-and-sanitation/>

# 01 Introducción

## Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

### Operaciones físicas

Operación más comunes
Desbaste
Sedimentación
Flotación
Filtración
Microtamizado
Floculación

### Procesos biológicos

Procesos más comunes	
Aerobio	Lodos activados
	Filtros percoladores
	Sistemas biológicos rotativos de contacto
	Filtro sumergido
Anaerobio	Fosas sépticas
	Tanque Imhoff
	UASB – RAFA
	Filtro anaerobio
Naturales construidos	Sistemas lagunares
	Humedales
	Escurrimiento / infiltración en el suelo

### Procesos químicos

Procesos más comunes
Coagulación – Floculación
Adsorción con carbón activo
Intercambio iónico
Desinfección
Neutralización
Precipitación química
Procesos oxidación reducción

# 01 Introducción

## Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

### Integración de los trenes de tratamientos



## 01 Introducción

## 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

## 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

## 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina



# 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

## Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado sanitario

Parámetros	U.M.	Guatemala		El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panamá
		2020	2024					
DQO	mg/l O <sub>2</sub>			1000		900	750	700
DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	450	200	400		400	300	
DQO/DBO <sub>5</sub>								1.25 - 2.50
Temperatura	°C	< 40	< 40			50	15 a 40	± 3°C de TN*
Grasas y aceites	mg/l	60		150		100	50	150
Materia flotante	Ausencia / Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausentes				
Nitrógeno total	mg/l	80	40	100		60		100
Fósforo total	mg/l	20	10	45		12		10
pH	-	6 a 9	6 a 9	5.5 a 9		6 a 9	6 a 9	5.5 a 9
Coliformes fecales	NMP / 100mL	1.00E+04	1.00E+04					1x10 <sup>6</sup>
Conductividad eléctrica	µS/cm					5,000		2,000
Sólidos totales	mg/l					1,500		1,500
Sólidos suspendidos totales	mg/l	400	200			400	300	300
Sólidos sedimentables	mg/l					10	5	20
Sólidos disueltos	mg/l							1,000
Sustancias activas al azul de metileno	mg/l						5	

\*TN: Temperatura normal del sitio

# 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

## Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales tratadas en cuerpos receptores

Parámetros	U.M.	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panamá	México	Colombia	Perú	Bolivia
		Acuerdo No. 236-2006	NSO 13.49.01:09	Acuerdo N° 058	Decreto 21-2017	Decreto 33601		NOM-001-SEMARNAT-2021	Resolución 0631	D.S. 003-2010-MINAM	RMCH - Ley 1333
pH	-	6 - 9		6 - 9	6 - 9	5 - 9			6 - 9	6.5 - 8.5	
Sólidos suspendidos totales	mg/l	100		100	100	50			100	150	60
Sólidos sedimentables	ml/l			1	1	1			5		
Aceites y grasas totales	mg/l	10	20	10	20	30			20	20	
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l		60	50	110	50			200	100	80
DQO	mg O <sub>2</sub> /l		150	200	220	150				200	250
Amonio	mg/l										4
Nitrógeno total Kjeldahi	mg/l			30							
Nitrógeno total	mg/l	20	50		45						
Fósforo total	mg/l	10	15	5	15						
Coliformes fecales	NMP / 100mL	1 x 10 <sup>4</sup>	2 x 10 <sup>3</sup>	5 x 10 <sup>3</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>				1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>
Coliformes totales	NMP / 100mL		1 x 10 <sup>4</sup>								
Temperatura	°C			25		15 < T < 40				35	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/l					5					
Color	UC			200							

## 01 Introducción

## 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

## 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

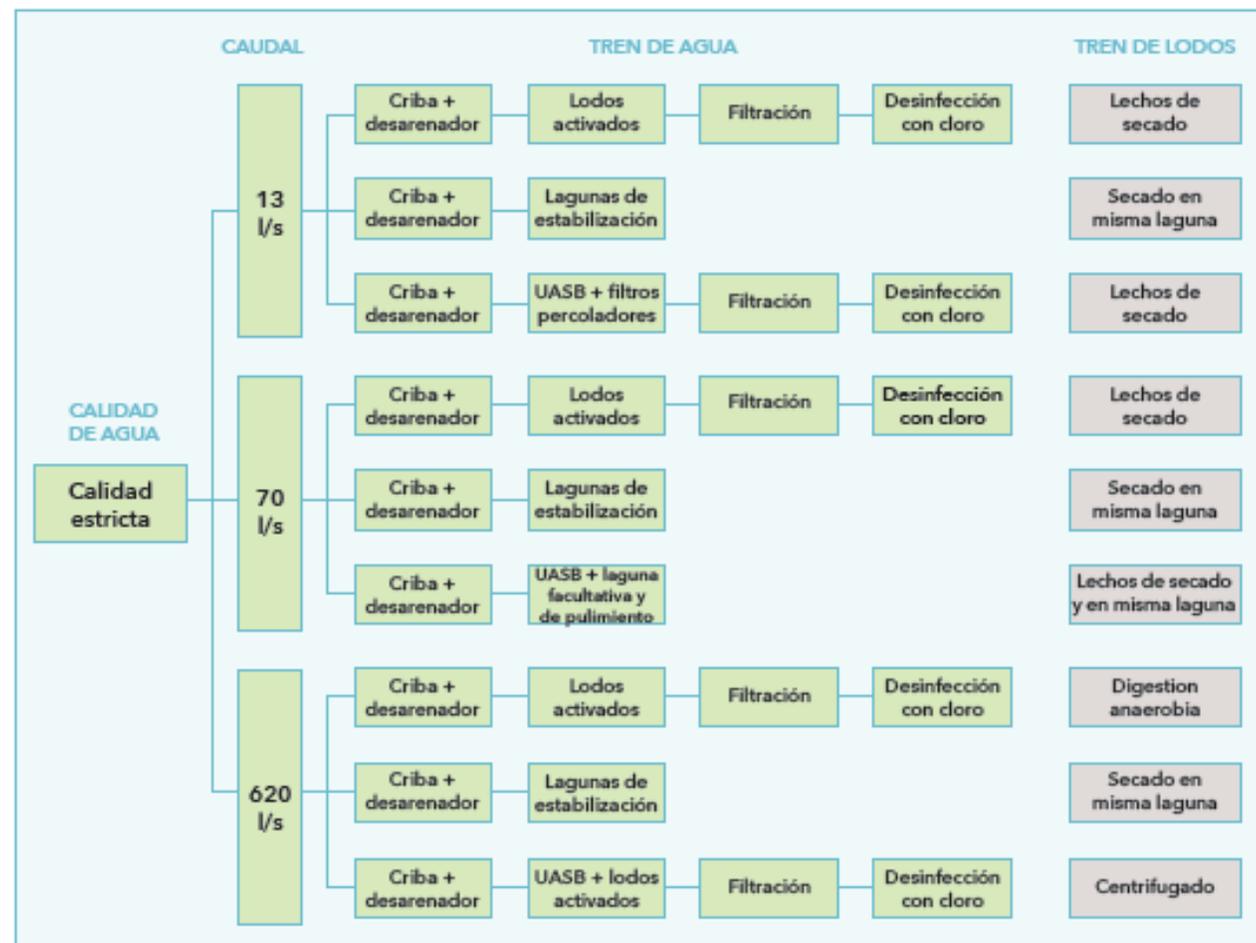
## 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina





# 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

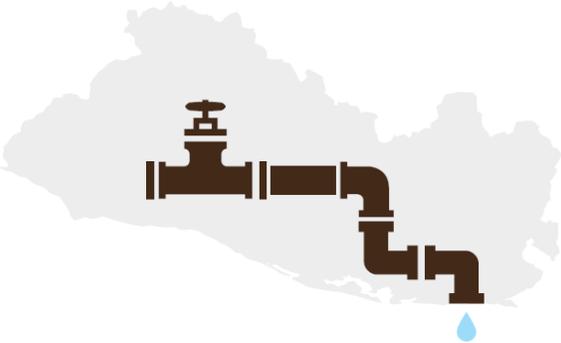
Configuración de trenes de tratamiento representativos de la región de América Latina, 2013



2016


**MARN**  
Ministerio de Medio Ambiente  
y Recursos Naturales

Recomendaciones para la **selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas** en la República de El Salvador



MARN Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tabla 2.17. Tecnologías utilizadas en El Salvador (Fuente: "Gestión de las excretas y aguas residuales en El Salvador". FOCARD-APS y COSUDE, 2013)

Tipo de tecnología	Cantidad existente
<b>Tanque Imhoff:</b> Tanque Imhoffl + Infiltración suelo; Tanque Imhoff + Laguna Facultativa + Humedal; Tanque Imhoff + filtro percolador+ laguna; Tanque Imhoff + humedales, Tanque Imhoff + FAFA,	6
<b>RAFA:</b> RAFA + filtro percolador con sedimentación secundaria; RAFA + Filtro Anaerobio; FAFA	13
<b>Lagunaje:</b> Laguna Facultativa + Laguna Maduración; Laguna. Anaeróbica + Laguna Facultativa + Laguna de maduración; Laguna de estabilización + humedal; Laguna facultativa; Laguna de aireación mecánica y sedimentación	7
<b>Lodos activados:</b> Aireación extendida, Digestor Aeróbico de Lodos y Lechos de secado.	14
<b>Filtro Biológico:</b> con Sedimentación primaria y secundaria, Filtro Biológico con laguna secundaria, Filtros Biológicos, Filtros biológicos.	8
<b>Filtro percolador:</b> Filtro Percolador con Sedimentador Primario y Secundario, Tanque Imhoff + filtro percolador + sedimentador secundario,	26
<b>Humedal artificial:</b> Humedal artificial + Laguna+ humedal	1
No identificados	14
<b>TOTAL</b>	<b>89</b>

2020

## Resumen por proceso 2020

Proceso	Plantas		Capacidad Instalada		Caudal Tratado	
	No.	%	l/s	%	l/s	%
Discos biológicos	22	0.79	1 240.0	0.63	875.23	0.60
Dual	14	0.50	38 219.0	19.43	31 722.7	21.92
Filtros biológicos	105	3.77	5 939.5	3.02	4 729.2	3.27
Lagunas de estabilización	827	29.68	18 820.4	9.57	13 894.5	9.60
Lagunas aireadas	33	1.18	7 586.0	3.86	6 052.0	4.18
Lodos activados	795	28.54	109 500.7	55.65	75 209.2	51.97
Primario	4	0.14	239.0	0.12	233.00	0.16
Primario avanzado	9	0.32	4 269.7	2.17	4 403.7	3.04
R.A.F.A.	364	13.07	4 989.8	2.54	3 259.2	2.25
Reactor enzimático	38	1.36	128.93	0.07	122.43	0.08
Tanque Imhoff	62	2.23	530.40	0.27	372.35	0.26
Tanque séptico	144	5.17	284.99	0.14	235.84	0.16
Humedal	230	8.26	1 700.7	0.86	1 233.7	0.85
Otros	139	4.99	3 300.5	1.68	2 367.0	1.64
<b>Total Nacional</b>	<b>2 786</b>	<b>100</b>	<b>196 749.5</b>	<b>100</b>	<b>144 710.0</b>	<b>100</b>

Inventario  
Municipal  
y de Trata  
Residuales  
Diciembre



2021



**Tabla 2.11. Distribución de las PTAR por tipos de tecnologías y zonas ecológicas.**

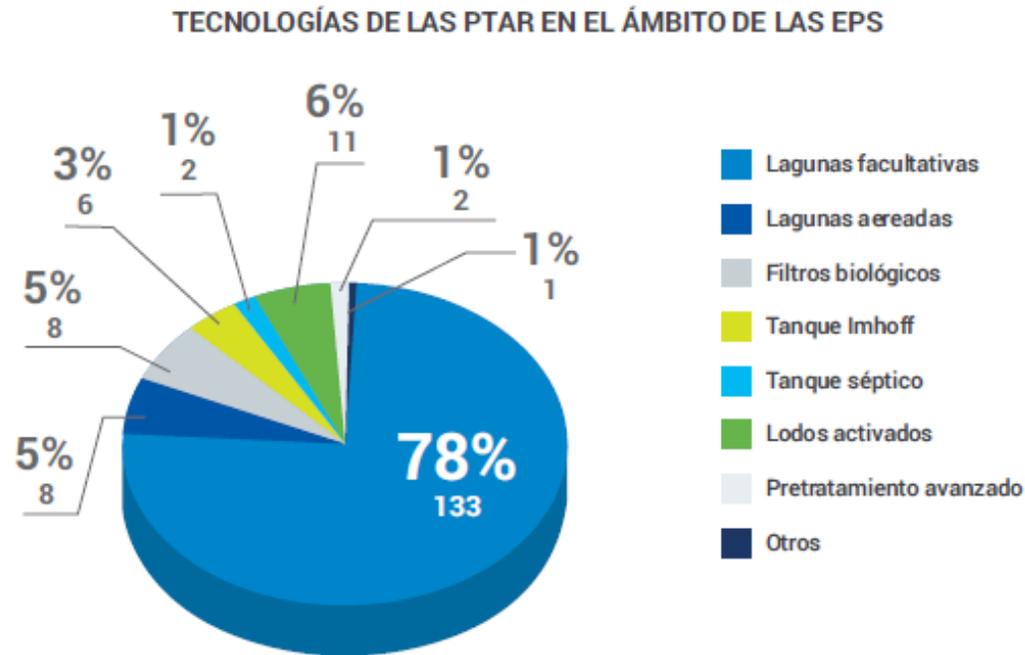
	Altiplano	Valles	Llanos	Número de instalaciones
Lagunas de Estabilización	11	13	31	55
Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA)	7	4	6	17
Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA/RALF)	-	4	9	13
Lombrifiltros	-	2	3	5
Humedales Artificiales	1	1	2	4
Filtros Percoladores	-	2	-	2

# 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

2022

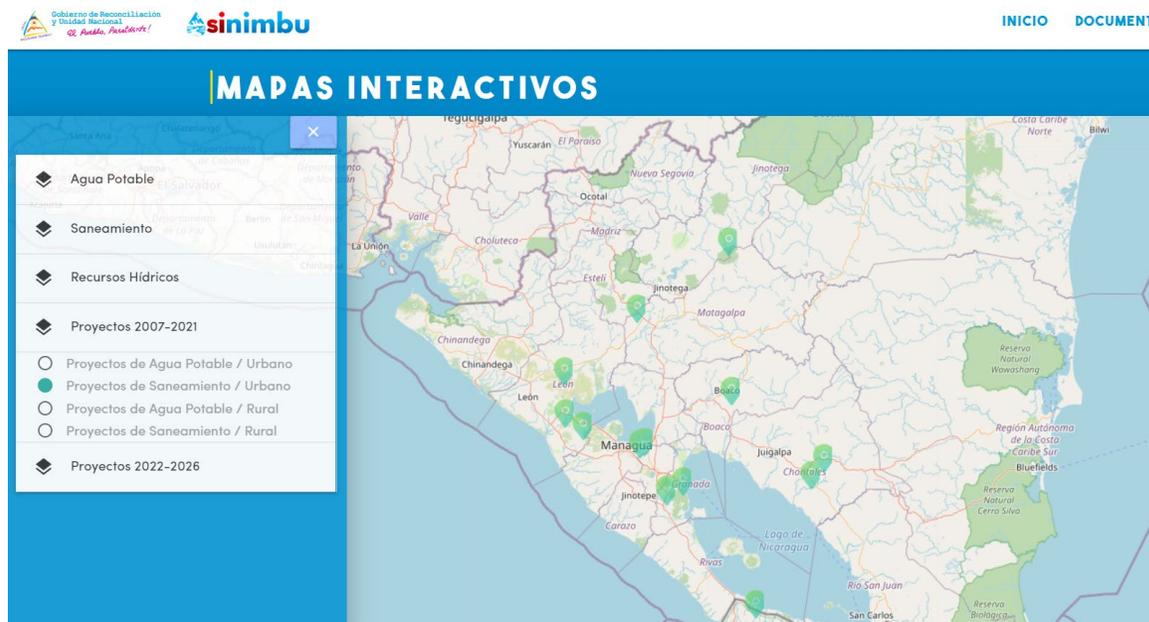


Figura 14: Tecnologías de las PTAR en el ámbito de las empresas prestadoras

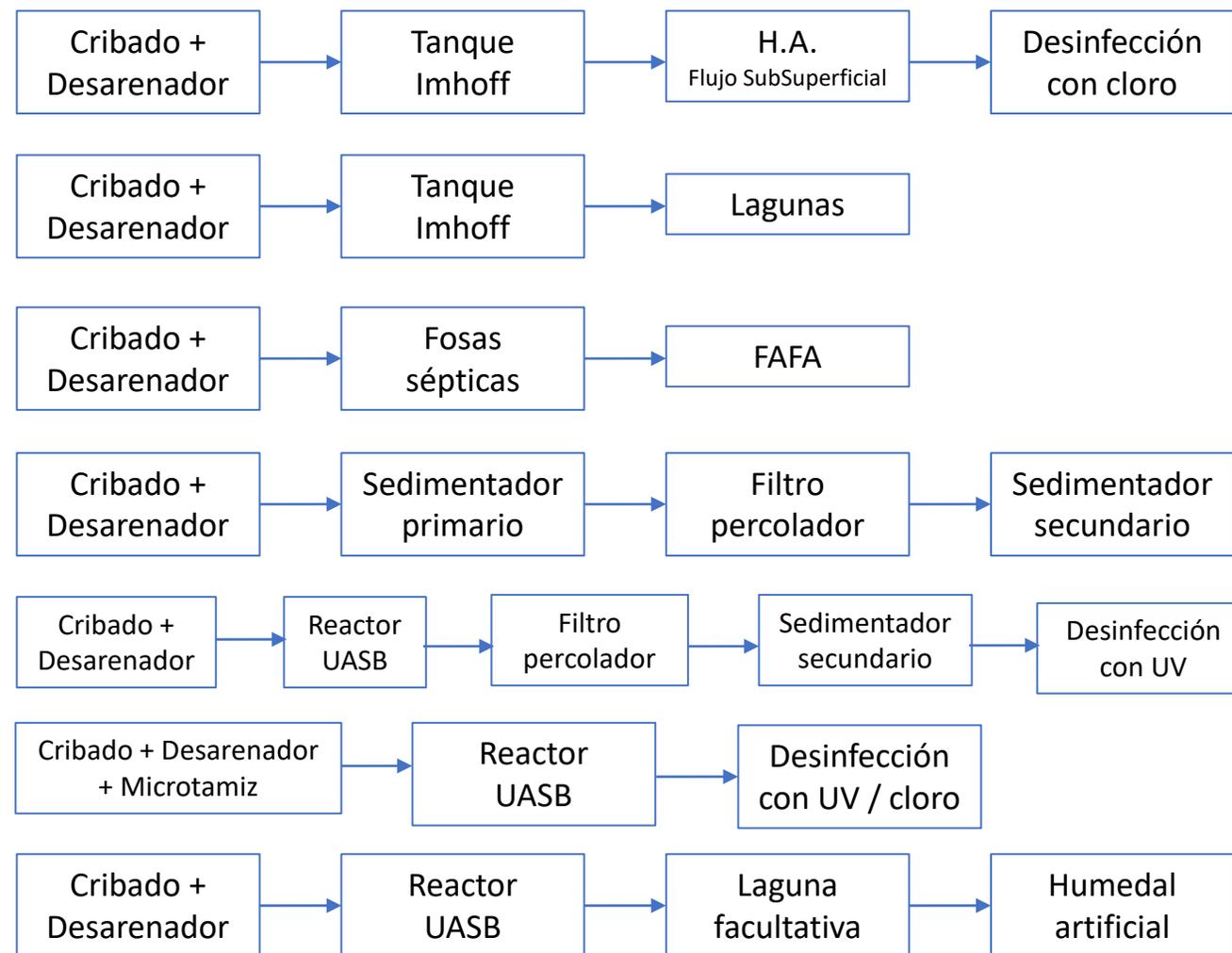


Fuente: Reportes remitidos por las empresas prestadoras el año 2021 / Elaborado por: Sunass.

# 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

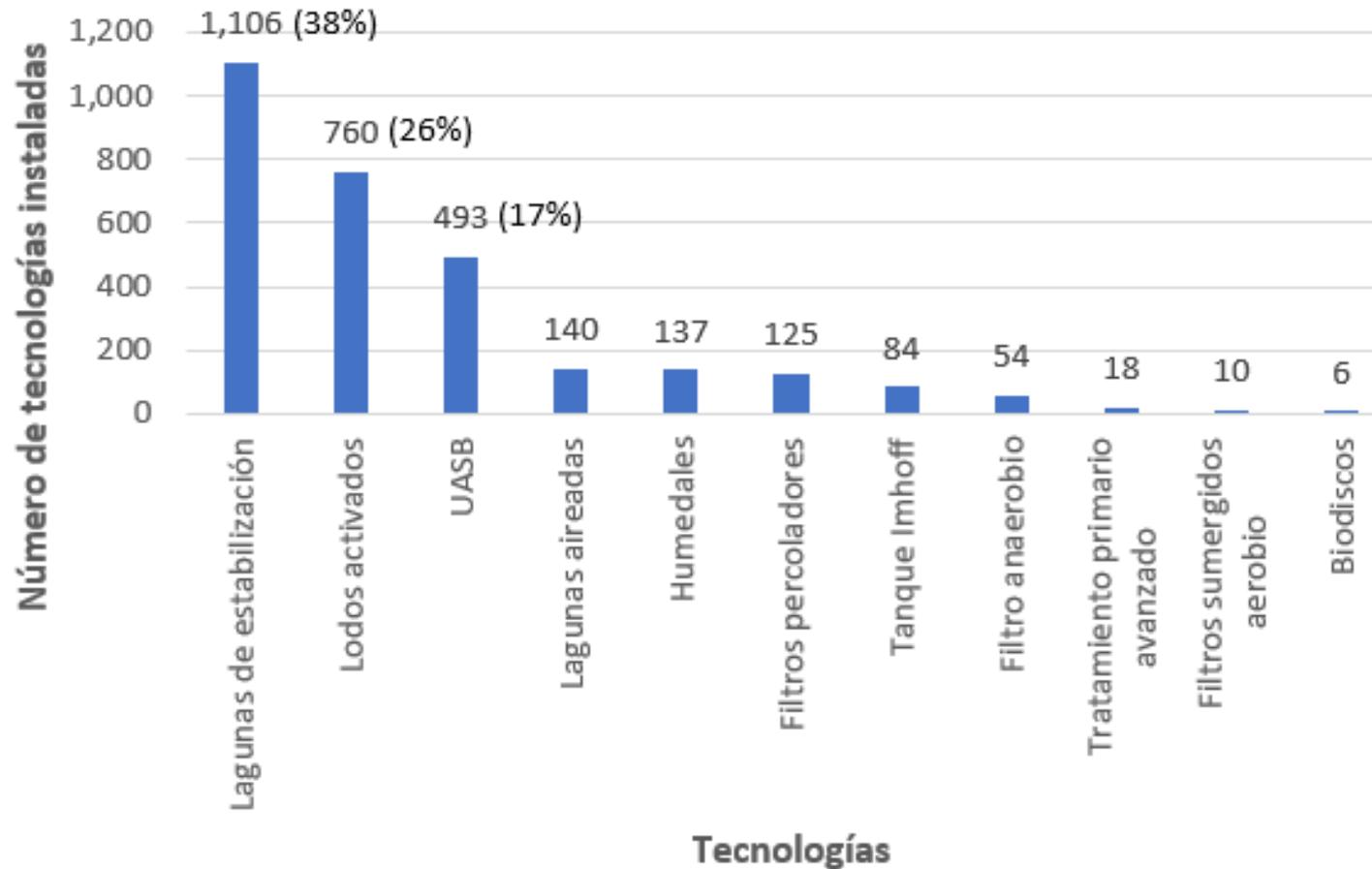


## Configuración de trenes de tratamiento aplicadas en Nicaragua



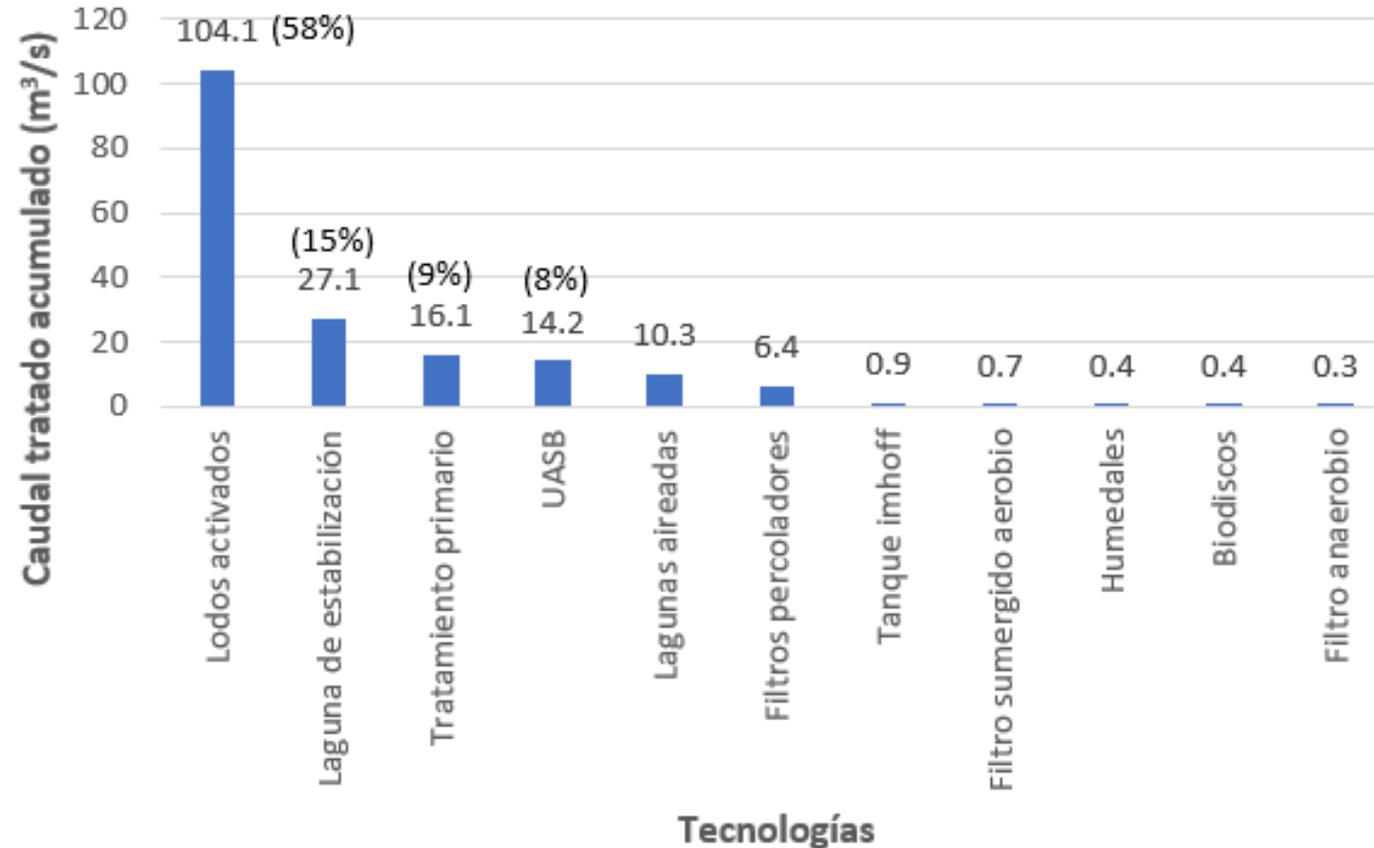
Fuente: <http://aguaysaneamiento.info.ni/nimbu/mapas.html>

Número de plantas de tratamiento en función del tipo de tecnología en la muestra de PTAR en ALC



Fuente: Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, P., Hernández-Padilla, F. (2012) Typology of wastewater treatment technologies in Latin America, *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40, 926-932

Caudal tratado acumulado que ingresa a plantas de tratamiento en función de la tecnología en ALC



Fuente: Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, P., Hernández-Padilla, F. (2012) Typology of wastewater treatment technologies in Latin America, *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40, 926-932

## Número de plantas de tratamiento en función del tipo de tecnología por país

Tecnología	Bolivia	El Salvador	México	Perú
Lagunas de estabilización	55	7	827	133
Lodos activados		14	795	11
UASB	13	13	364	
Humedal	4	1	230	
Filtros percoladores	2	26	105	8
Lagunas aireadas			33	8
Filtro anaerobio de flujo ascender	17	8		
Tanque imhoff		6	62	6
Tanque séptico			144	2
Biodiscos			22	
Lombifiltros	5			
Sedimentador				1
Reactor enzimático			38	
Dual			14	
Primario			4	
Primario avanzado			9	
Emisario submarino				2
No identificadas / Otros		14	139	
<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>89</b>	<b>2,786</b>	<b>171</b>

## 01 Introducción

## 02 Legislación sobre vertidos de aguas residuales tratadas

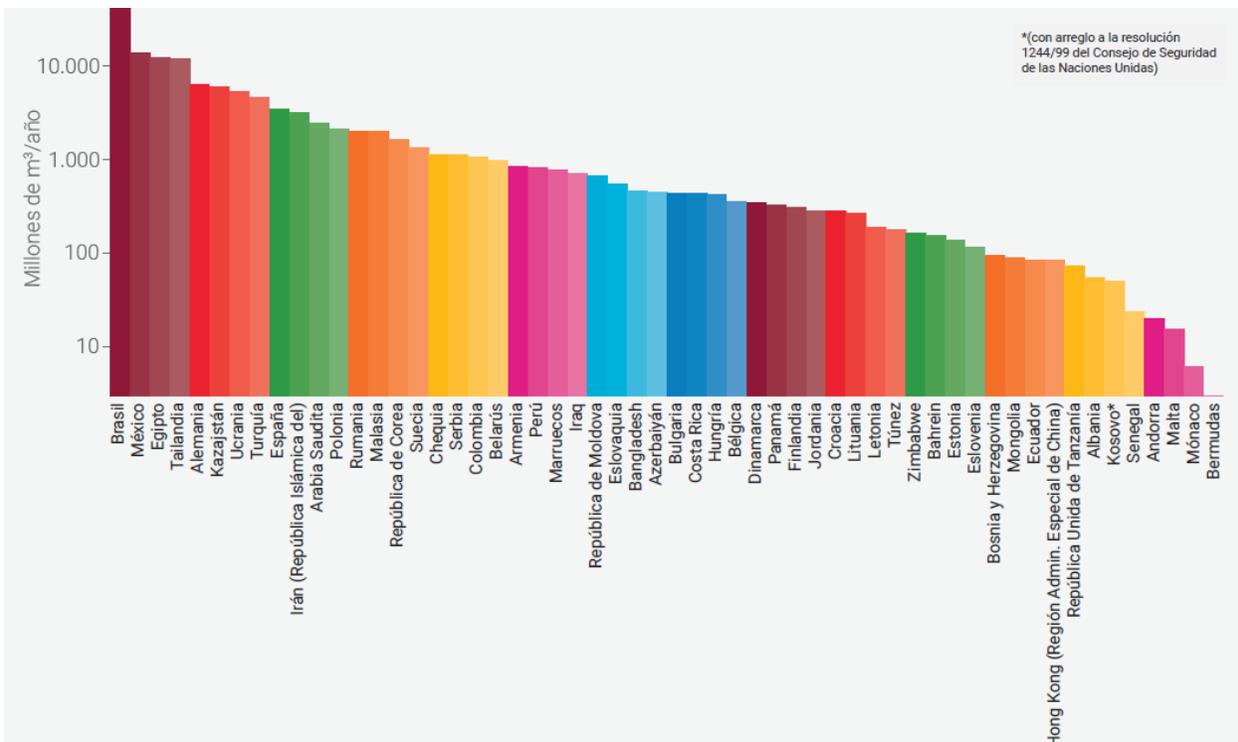
## 03 Tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales en América Latina

## 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina

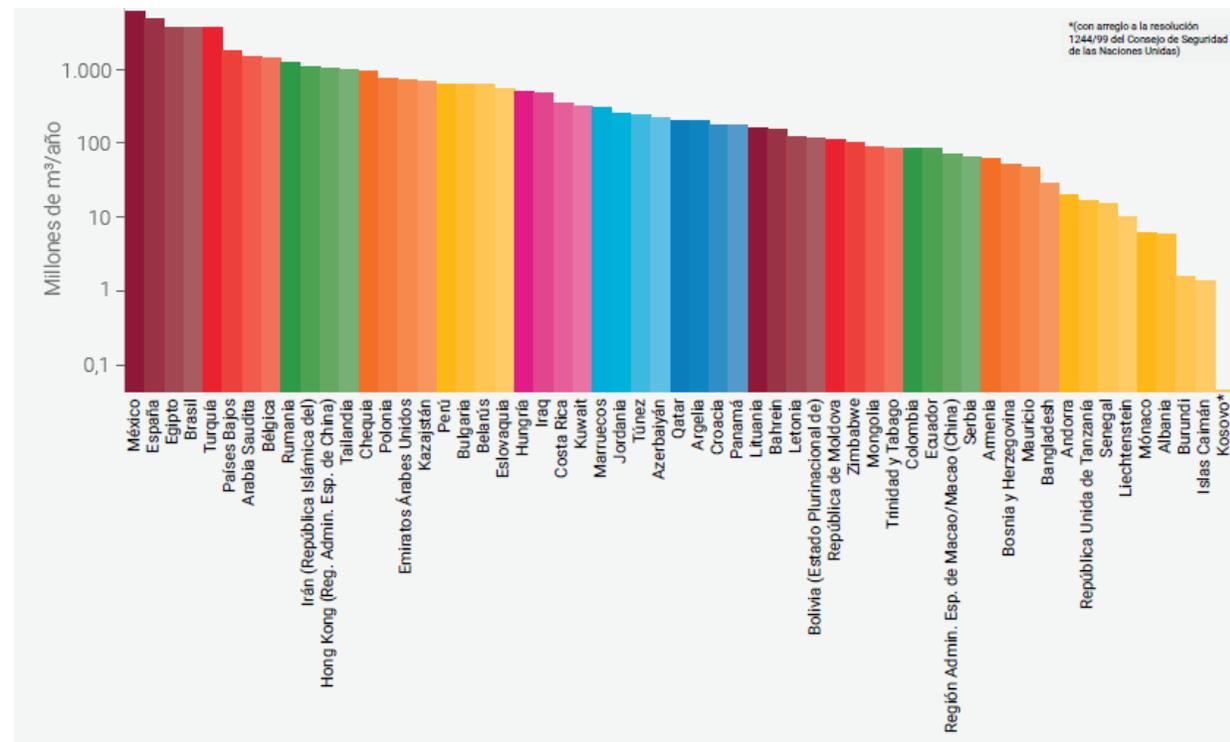


# 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina

### Flujos totales de aguas residuales generados notificados en 2015



### Flujos totales de aguas residuales tratados notificados en 2015



Fuente: Eurostat (2021); OCDE (2021)

# 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina

Parámetros promedio del agua residual bruta municipal en América Latina y El Caribe

Parámetro	Valores promedio propuesto para ALC	Desviación estándar	Valor de referencia
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	244	17	220
DQO (mg/L)	557	40.3	500
SST (mg/L)	264	31.1	220
Nitrógeno total (mg/L)	42	1.4	40
Fósforo total (mg/L)	7	0.7	8
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1.2x10 <sup>7</sup>	1.4x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>7</sup>

\*En base a 158 PTAR de la región

Fuente: Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, P., Hernández-Padilla, F. (2012) Typology of wastewater treatment technologies in Latin America, *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40, 926-932

# 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina

Tabla 8.2. Porcentajes de eliminación de diferentes contaminantes en función de la línea de tratamiento

Líneas de tratamiento	DQO	DBO <sub>5</sub>	SS	NH <sub>4</sub>	N <sub>t</sub>	Pt	CF <sup>3</sup>
Filtro percolador	80-85	80-90	90-95	60-90 <sup>1</sup>	20-35	20-35	1
RAFA + Filtro percolador	80-85	85-95	85-95	60-80	20-35	15-25	1-2
Lagunaje	70-85	75-85	40-80	30-70	50-80	40-60	4-5
Humedales artificiales	80-90	90-95	90-95	20-25	20-30	20-35	1-2
HSSH	80-90	90-95	90-95	60-70	60-70	30-35	1-2
HSSV							
Aireación extendida	80-90	85-95	85-95	90-95	20-35 <sup>2</sup>	20-30	1
Contactores biológicos rotativos	80-85	80-95	80-95	20-30	20-35	15-35	1

<sup>1</sup> Los filtros de baja carga nitrifican más que los de media carga.

<sup>2</sup> Con nitrificación-desnitrificación elimina 80-85% de N<sub>T</sub>

<sup>3</sup> Eliminación en unidades logarítmicas (u. log).



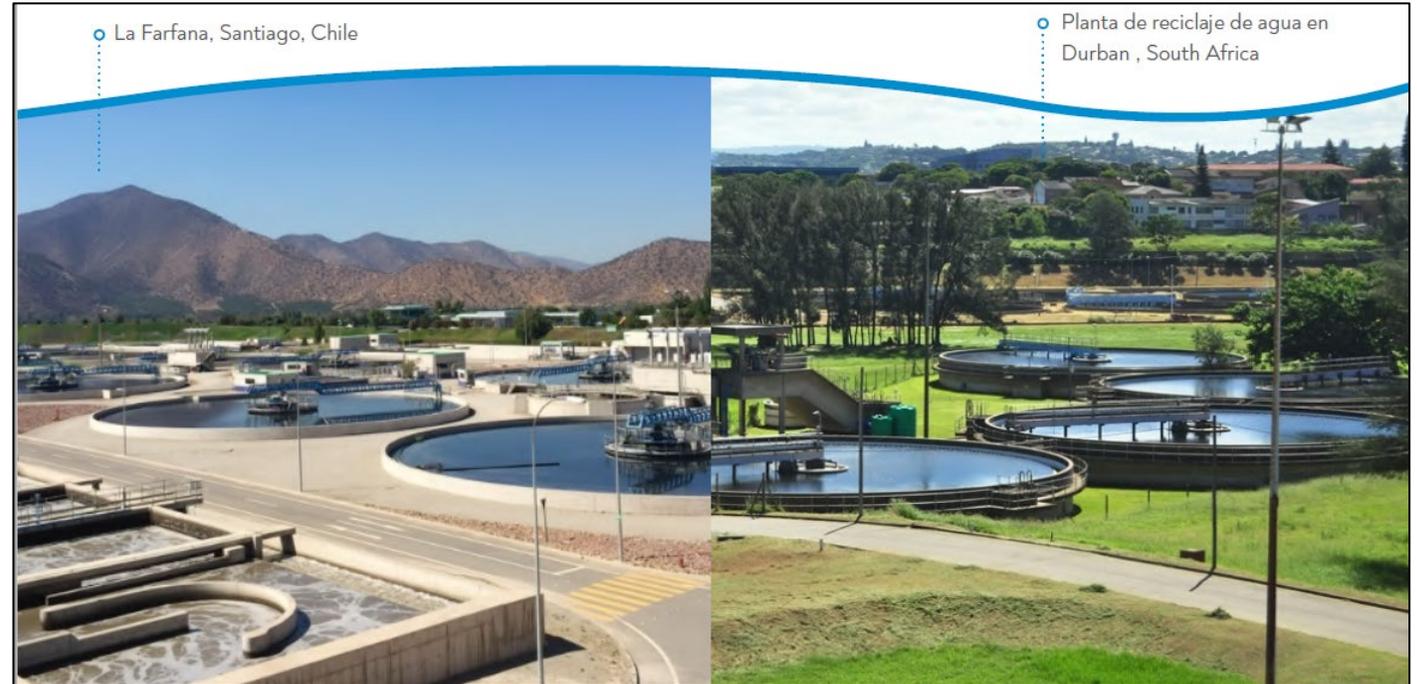
## 04 Rendimientos de tratamiento de aguas residuales en América Latina

*Se pueden hacer preguntas persuasivas sobre el suministro de agua y el saneamiento:*

*¿Cómo se pueden utilizar las nuevas tecnologías, como el big data y los algoritmos, o las energías renovables para mejorar la eficiencia?*

*¿Cómo se pueden implementar nuevos paradigmas como la economía circular o el agua digital?*

*¿Y cómo se pueden diseñar nuevos modelos de negocio para hacer frente a estos desafíos con nuevos enfoques y, al mismo tiempo, atraer inversiones públicas y privadas?*





# **Gestión e ingeniería de tratamiento de aguas residuales**

## **Tecnologías existentes y rendimiento de aguas residuales en América Latina**

**M.Sc. Craudy Norori**

**28 de julio de 2022**



+ 505 8894 3561



ingenieriasanitariacn@gmail.com



<https://www.linkedin.com/in/craudy-norori/>

**Muchas gracias por su atención**

