11 de octubre 2021

Reutilización de Aguas Residuales Tratadas y Gestión de Lodos Residuales

Dra. Gabriela Mantilla Morales

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Ciclo hidrológico antropogénico

Aguas Residuales

Agua procedente de cualquier actividad antropogénica.

Descargas:

- Municipales: generadas en los núcleos de población y colectadas en los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales.
- No municipales: generadas por otros usos no domésticos (industria, agricultura, ganadería…)

Tratamiento de aguas residuales

Municipales

Urbano, doméstico, comercial

- Eliminación de sólidos coloidales no sedimentables
- Estabilización materia orgánica
- Control microbiológico

No municipales

- Disminución de compuestos orgánicos e inorgánicos
- Compuestos no biodegradables
- Disminución de toxicidad

Tratar…….
¿Por qué? ¿Para qué?

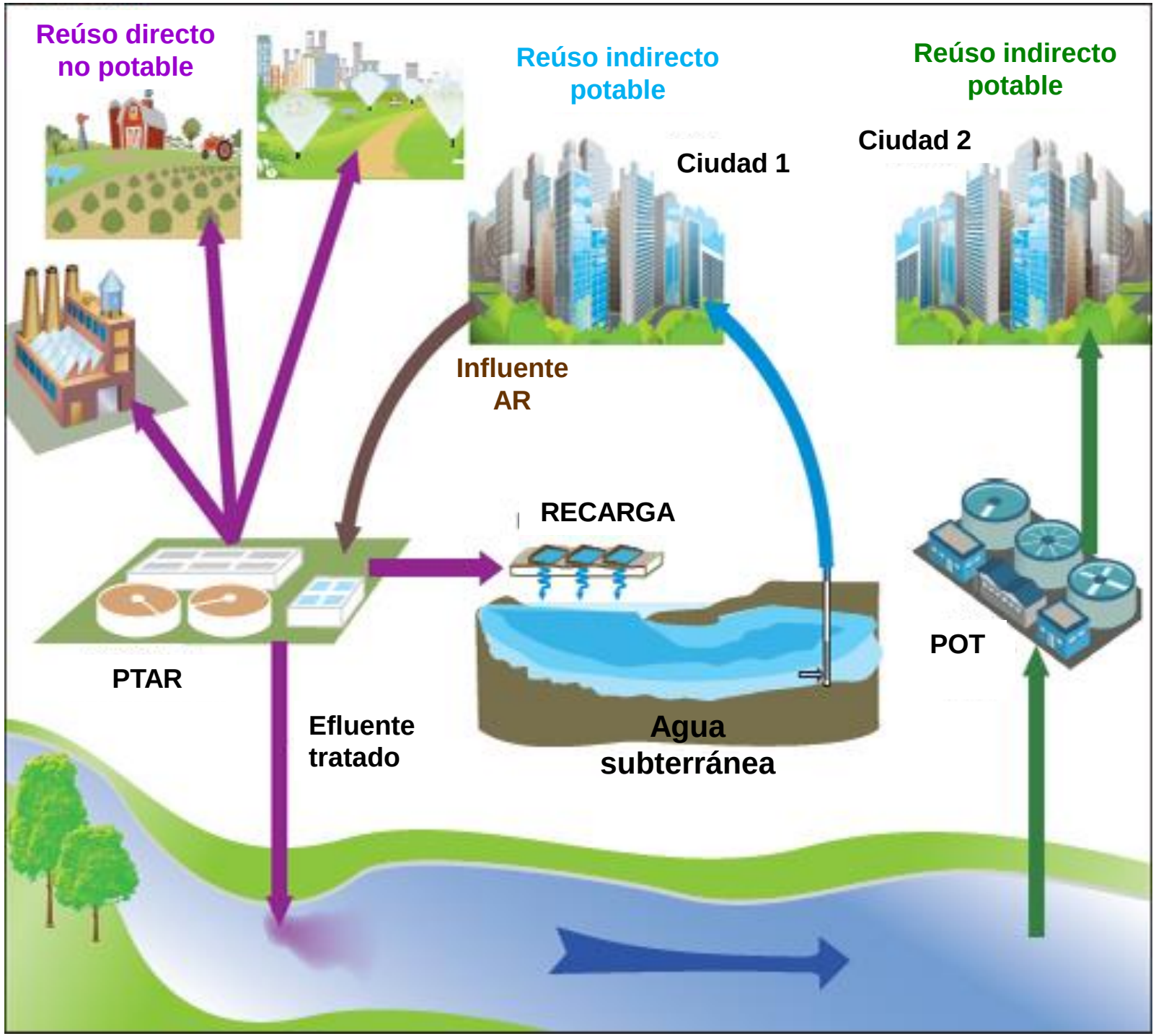
SANEAMIENTO

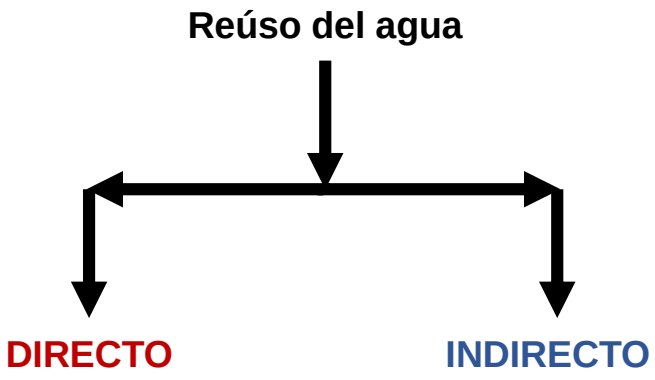
- Derecho Humano
- Obligación inherente
- Conservación del hábitat y del entorno ambiental

- Preservación de fuentes de abastecimiento
- Producción de alimentos confiable
- Inocuidad alimentaria
- Preservación del entorno: desarrollo sostenible

Objetivos del tratamiento de las aguas residuales

- Control de la contaminación para la protección de la calidad del agua en los cuerpos receptores y del agua subterránea
- Recuperación y saneamiento de cuencas
- Salud pública
- **Reúso – preservación del agua de primer uso**
- Pretratamiento de los efluentes industriales en casos de descarga al alcantarillado municipal
- Protección de las fuentes de abastecimiento





- Urbano
- Industrial
- Agricultura
- Medio ambiente y Recreación
- Recarga artificial de acuíferos
- Aumento del abastecimiento del agua potable (indirecto)

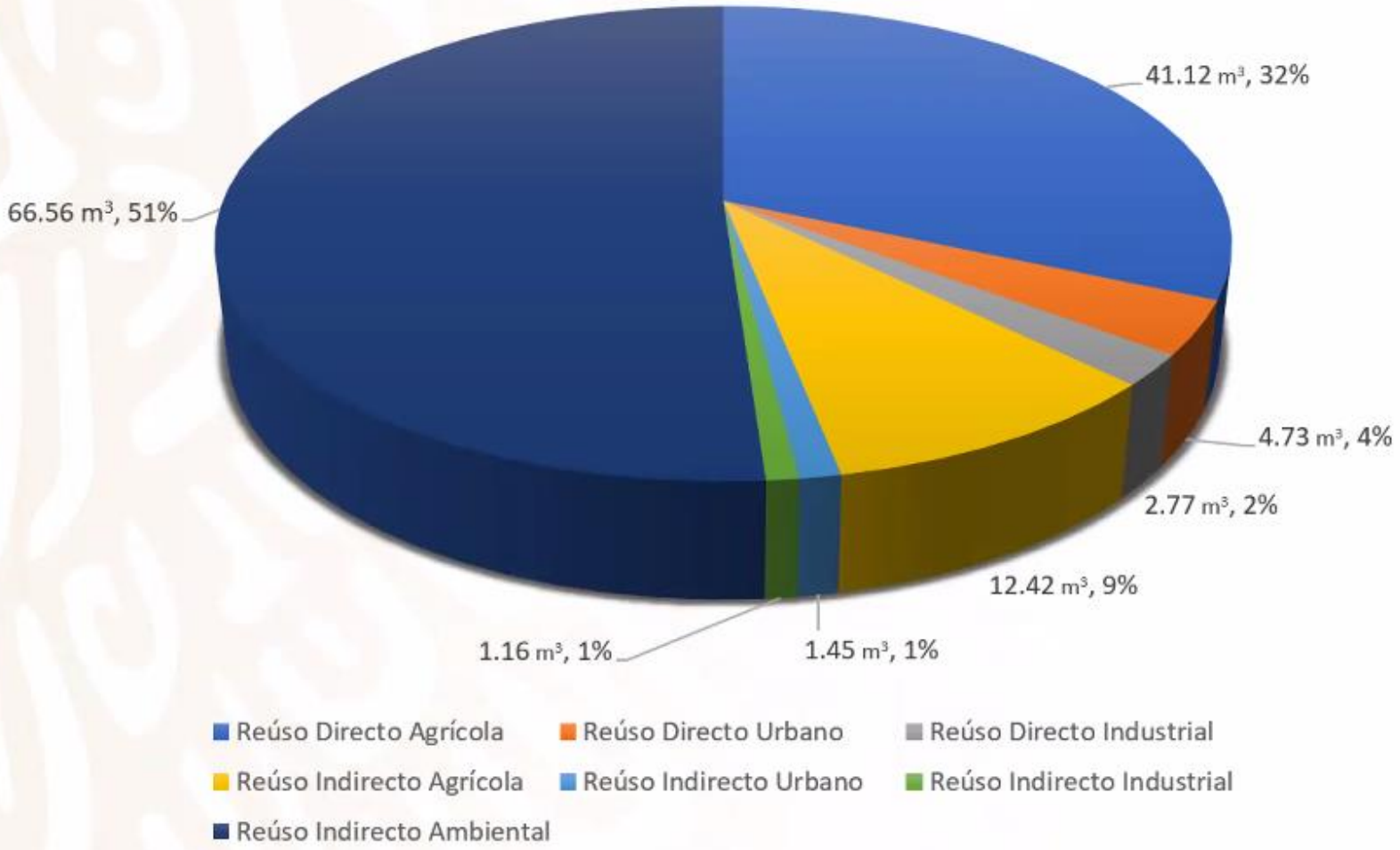
Reúso Potable Indirecto

Una planta de tratamiento de aguas residuales de una ciudad descarga el agua residual tratada en un cuerpo de agua que es utilizado cono fuente de abastecimiento de otra ciudad aguas abajo

En México

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Tipos de Reúso



Los 2 tipos de reúso más importantes en México son:
El reúso indirecto ambiental
51%
El reúso directo agrícola
32%

Reúso

Utilización del agua residual, **con o sin tratamiento**.

Estadísticas del Agua en México, 2016, CONAGUA

- **Reúso Potable**
- **Reúso no potable**

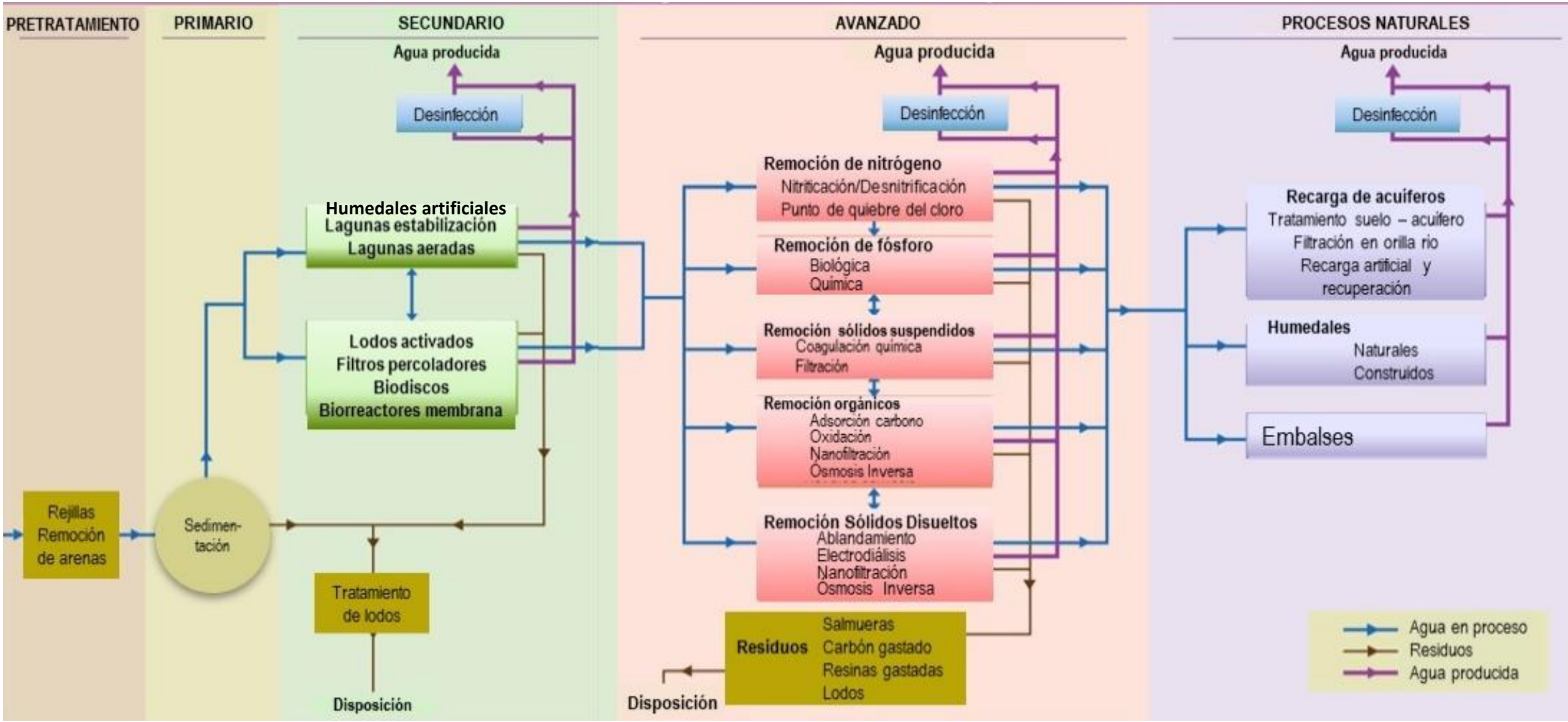
2016 - México

- Reúso directo (antes de descarga a cuerpo receptor): 28.5 m^3/s.
- Reúso Indirecto (después de descarga en cuerpo receptor): 78.9 m^3/s.
- Intercambio:
  agua tratada $\rightarrow$ agua primer uso: 8.2 m^3/s

Tratamiento sugeridos y usos			
Incremento de los niveles de tratamiento Aumento de los niveles aceptables de exposición humana →			
Tratamiento Primario: → Sedimentación	**Tratamiento Secundario:** → Procesos biológicos; Desinfección	**Tratamiento Terciario/ Avanzado:** → Coagulación química, Filtración; desinfección	
No se recomienda su utilización	• Irrigación superficial de huertos y viñedos • Riego de cultivos no alimentarios • Paisaje restringido - embalses • Recarga de agua subterránea de acuífero no potable ** • Humedales, hábitat de vida silvestre, aumento de la corriente ** • Procesos de enfriamiento industrial **	• Riego de campos de golf y jardines • Agua inodoros • Lavado de vehículos • Riego de cultivos alimentarios • Embalses recreativos sin restricciones	• Reutilización indirecta potable: recarga de agua subterránea de acuífero potable y aumento del depósito de agua de superficie **

* Los usos sugeridos se basan en Guidelines for Water Reuse, U.S. EPA.
** El nivel de tratamiento recomendado es específico del sitio.

Procesos de tratamiento



REÚSO

Categorías de reúso	Limitaciones potenciales
Riego agrícola y de jardines Cultivos Viveros comerciales Parques Patios escolares Autopistas Campos de golf Cementerios Cinturones verdes Áreas residenciales	Efectos de sales sobre los suelos y los cultivos. Preocupación de salud pública, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, comerciabilidad de cultivos, aceptación pública
Reúso industrial Enfriamiento Agua para calderas Agua de proceso Construcción Textil	Escamas, corrosión, crecimiento biológico, incrustaciones. Preocupación de salud pública
Recarga acuíferos Reposición de aguas subterráneas Intrusión de agua salada Control de hundimientos	Toxicidad potencial (químicos) y patógenos

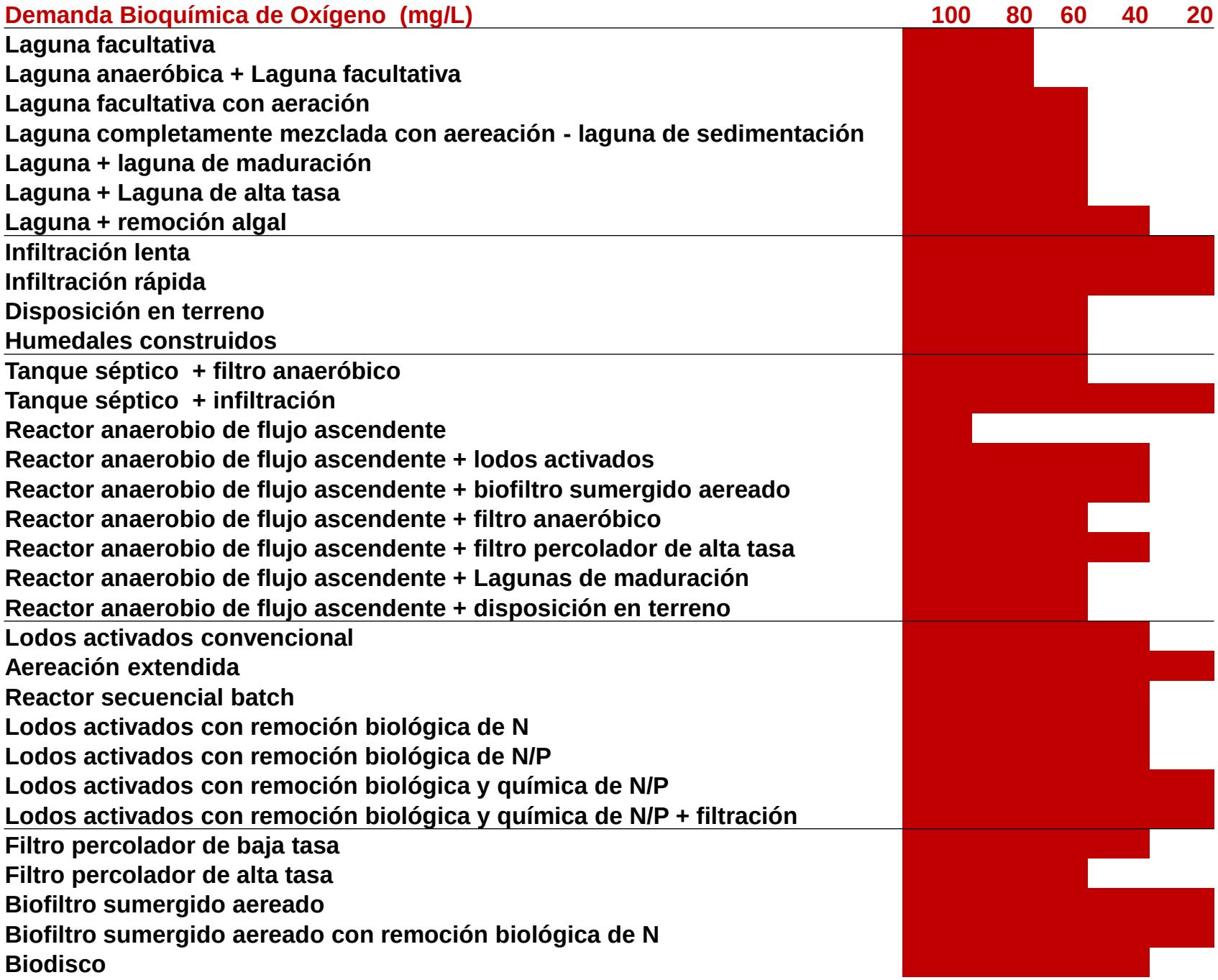
Categorías de reúso	Limitaciones potenciales
Recreativo y medio ambiente Lagos y lagunas Marismas Aumento de gasto en ríos Pesquerías Nieve artificial	Preocupación de salud pública Eutroficación
Reúso no potable municipal Agua contra incendios Aire acondicionado Agua para inodoros Lavado de autos Limpieza de calles	Salud pública Escamas, corrosión, crecimiento biológico, incrustaciones
Reúso Potable Mezcla en el suministro de agua Suministro de agua de tubería a tubería	Toxicidad potencial (químicos) Salud pública Aceptación pública

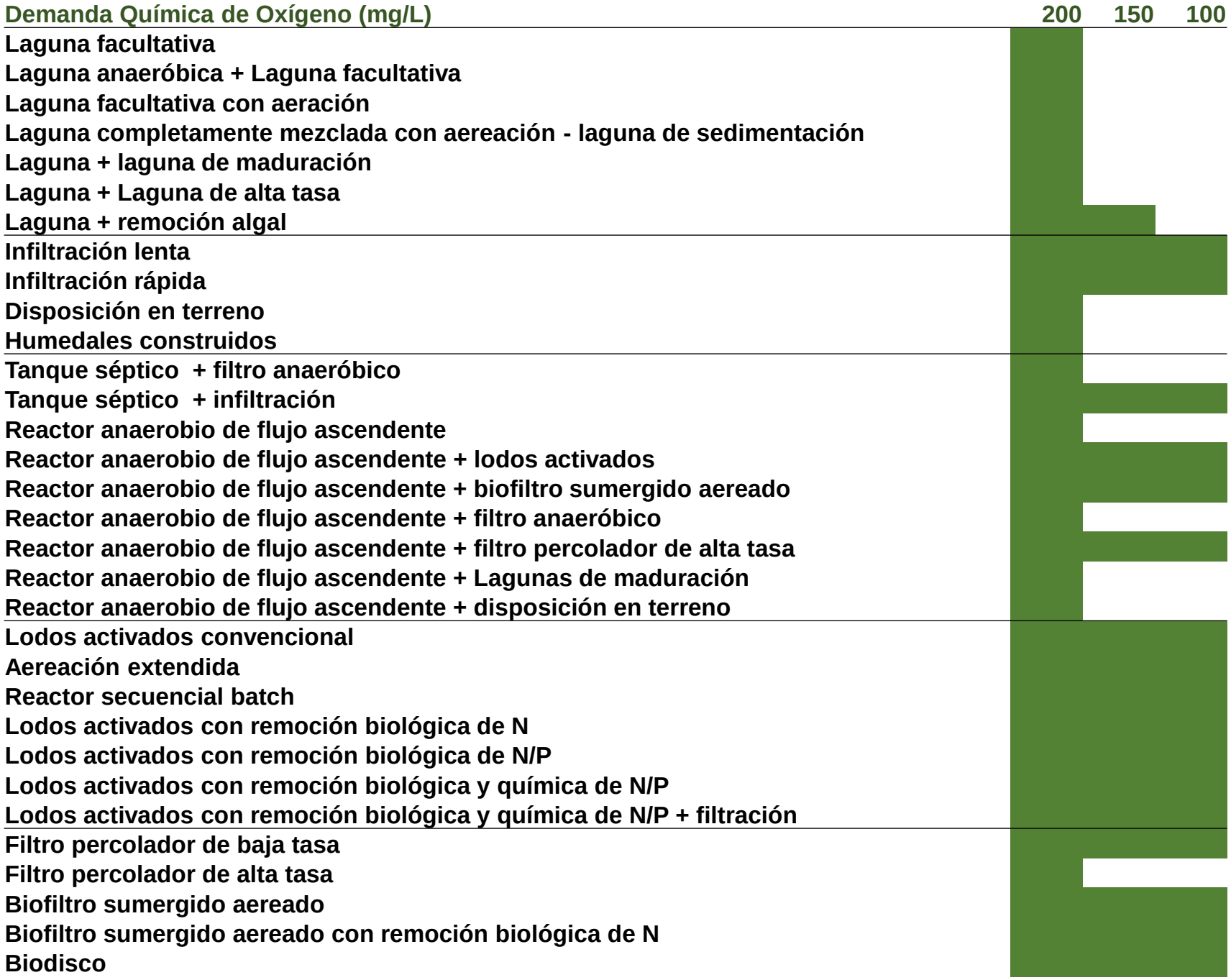
Adaptado de Asano, T.D. et al., Water Environ.Technol., 4,36,1992

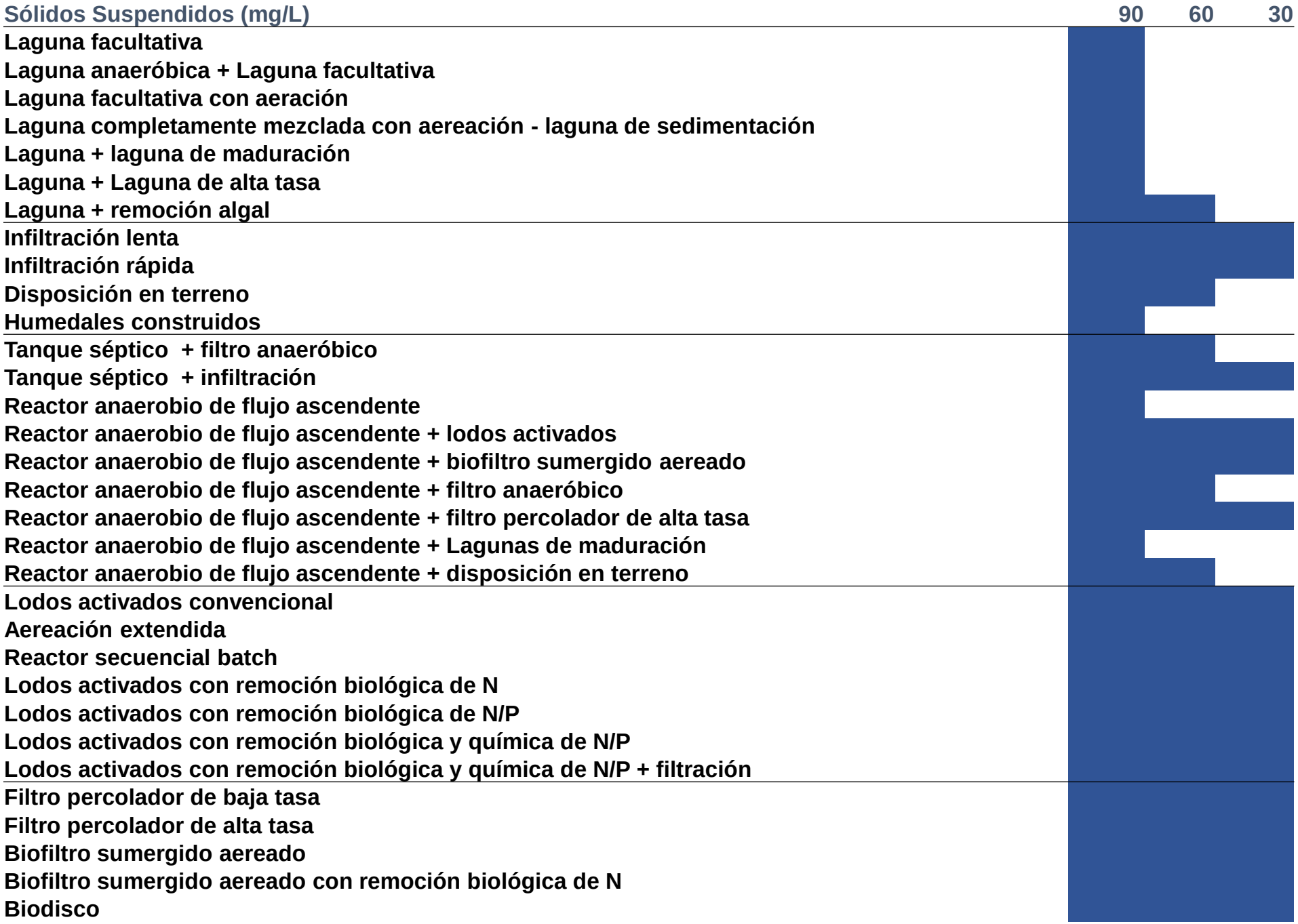
Recomendaciones de tratamiento

Capacidad de las tecnologías de tratamiento para obtener resultados consistentes en el nivel de calidad del efluente

Referencia: von Sperling, M., C.A. de Lemos C.
A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standards
XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental I-078 12 pp


Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
100
80
60
40
20
Laguna facultativa
Laguna anaeróbica + Laguna facultativa
Laguna facultativa con aeración
Laguna completamente mezclada con aereación - laguna de sedimentación
Laguna + laguna de maduración
Laguna + Laguna de alta tasa
Laguna + remoción algal
Infiltración lenta
Infiltración rápida
Disposición en terreno
Humedales construidos
Tanque séptico + filtro anaeróbico
Tanque séptico + infiltración
Reactor anaerobio de flujo ascendente
Reactor anaerobio de flujo ascendente + lodos activados
Reactor anaerobio de flujo ascendente + biofiltro sumergido aereado
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro anaeróbico
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro percolador de alta tasa
Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lagunas de maduración
Reactor anaerobio de flujo ascendente + disposición en terreno
Lodos activados convencional
Aereación extendida
Reactor secuencial batch
Lodos activados con remoción biológica de N
Lodos activados con remoción biológica de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P + filtración
Filtro percolador de baja tasa
Filtro percolador de alta tasa
Biofiltro sumergido aereado
Biofiltro sumergido aereado con remoción biológica de N
Biodisco


Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
200
150
100
Laguna facultativa
Laguna anaeróbica + Laguna facultativa
Laguna facultativa con aeración
Laguna completamente mezclada con aereación - laguna de sedimentación
Laguna + laguna de maduración
Laguna + Laguna de alta tasa
Laguna + remoción algal
Infiltración lenta
Infiltración rápida
Disposición en terreno
Humedales construidos
Tanque séptico + filtro anaeróbico
Tanque séptico + infiltración
Reactor anaerobio de flujo ascendente
Reactor anaerobio de flujo ascendente + lodos activados
Reactor anaerobio de flujo ascendente + biofiltro sumergido aereado
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro anaeróbico
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro percolador de alta tasa
Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lagunas de maduración
Reactor anaerobio de flujo ascendente + disposición en terreno
Lodos activados convencional
Aereación extendida
Reactor secuencial batch
Lodos activados con remoción biológica de N
Lodos activados con remoción biológica de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P + filtración
Filtro percolador de baja tasa
Filtro percolador de alta tasa
Biofiltro sumergido aereado
Biofiltro sumergido aereado con remoción biológica de N
Biodisco


Sólidos Suspendidos (mg/L)
90
60
30
Laguna facultativa
Laguna anaeróbica + Laguna facultativa
Laguna facultativa con aeración
Laguna completamente mezclada con aereación - laguna de sedimentación
Laguna + laguna de maduración
Laguna + Laguna de alta tasa
Laguna + remoción algal
Infiltración lenta
Infiltración rápida
Disposición en terreno
Humedales construidos
Tanque séptico + filtro anaeróbico
Tanque séptico + infiltración
Reactor anaerobio de flujo ascendente
Reactor anaerobio de flujo ascendente + lodos activados
Reactor anaerobio de flujo ascendente + biofiltro sumergido aereado
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro anaeróbico
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro percolador de alta tasa
Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lagunas de maduración
Reactor anaerobio de flujo ascendente + disposición en terreno
Lodos activados convencional
Aereación extendida
Reactor secuencial batch
Lodos activados con remoción biológica de N
Lodos activados con remoción biológica de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P + filtración
Filtro percolador de baja tasa
Filtro percolador de alta tasa
Biofiltro sumergido aereado
Biofiltro sumergido aereado con remoción biológica de N
Biodisco

Nitrógeno Total (mg/L)	20	15	10
Laguna facultativa			
Laguna anaeróbica + Laguna facultativa			
Laguna facultativa con aeración			
Laguna completamente mezclada con aereación - laguna de sedimentación			
Laguna + laguna de maduración	■		
Laguna + Laguna de alta tasa	■	■	
Laguna + remoción algal			
Infiltración lenta	■	■	■
Infiltración rápida	■	■	
Disposición en terreno	■		
Humedales construidos			
Tanque séptico + filtro anaeróbico			
Tanque séptico + infiltración	■	■	■
Reactor anaerobio de flujo ascendente			
Reactor anaerobio de flujo ascendente + lodos activados			
Reactor anaerobio de flujo ascendente + biofiltro sumergido aereado			
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro anaeróbico			
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro percolador de alta tasa			
Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lagunas de maduración	■		
Reactor anaerobio de flujo ascendente + disposición en terreno	■		
Lodos activados convencional			
Aereación extendida			
Reactor secuencial batch			
Lodos activados con remoción biológica de N	■	■	■
Lodos activados con remoción biológica de N/P	■	■	■
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P	■	■	■
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P + filtración	■	■	■
Filtro percolador de baja tasa			
Filtro percolador de alta tasa			
Biofiltro sumergido aereado			
Biofiltro sumergido aereado con remoción biológica de N	■	■	
Biodisco			

Fósforo Total (mg/L)	4	3	2	1
Laguna facultativa				
Laguna anaeróbica + Laguna facultativa				
Laguna facultativa con aeración				
Laguna completamente mezclada con aereación - laguna de sedimentación				
Laguna + laguna de maduración				
Laguna + Laguna de alta tasa	■			
Laguna + remoción algal				
Infiltración lenta	■	■	■	
Infiltración rápida	■			
Disposición en terreno				
Humedales construidos				
Tanque séptico + filtro anaeróbico				
Tanque séptico + infiltración				
Reactor anaerobio de flujo ascendente				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + lodos activados				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + biofiltro sumergido aereado				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro anaeróbico				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + filtro percolador de alta tasa				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + Lagunas de maduración				
Reactor anaerobio de flujo ascendente + disposición en terreno				
Lodos activados convencional				
Aereación extendida				
Reactor secuencial batch				
Lodos activados con remoción biológica de N				
Lodos activados con remoción biológica de N/P	■	■	■	
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P	■	■	■	■
Lodos activados con remoción biológica y química de N/P + filtración	■	■	■	■
Filtro percolador de baja tasa				
Filtro percolador de alta tasa				
Biofiltro sumergido aereado				
Biofiltro sumergido aereado con remoción biológica de N				
Biodisco				

Tipo de uso	Terciario con desinfección	Secundario con desinfección	Primario avanzado con desinfección
		Riego agrícola	
Riego no restringido: productos agrícolas en forma ilimitada	**X**	**X**	
Riego restringido: productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas		**X**	**X**
Compactación de suelo, elaboración de concreto		**X**	
	Comercial e industrial		
Refrigeración, aire acondicionado y torres de enfriamiento	**X**	**X**	
	Recarga de agua subterránea		
Barrera de intrusión salina	**X**		
Recarga de acuíferos usados como fuente de agua potable	**X**		

Tipo de uso	Terciario con desinfección	Secundario con desinfección	Primario avanzado con desinfección
		Uso urbano	
Lavado de autos	X		
Lavandería	X		
Compactación de suelo, elaboración de concreto		X	
Contacto no directo: riego, camellones, fuentes de ornato, sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones	X	X	X
Contacto directo: llenado de lagos y canales recreativos, riego en parque y jardines,	X		
Excusados y mingitorios, riego jardines domésticos, lavado de auto en los hogares	X		
	Ambiental	y otros usos	
Embalses naturales o artificiales para uso urbano (NOM-00)-		X	
Aguas costeras para recreación (NOM-001-Semarnat1996)			X
Acuacultura	X	X	

Sistemas de tratamiento para reúso agrícola

La tecnología de tratamiento que se pretenda instalar para reusar las aguas residuales en riego agrícola debe tener en cuenta:

- Tipo de cultivo (pueden asimilar diferentes calidades de agua)
- Técnicas y sistemas de riego (contenido de partículas que pudieran bloquear o tapar las boquillas u orificios de salida)
- Contenido de nutrientes exigidos (para eliminar o reducir el uso de productos agroquímicos)
- Manejo laboral de las aguas residuales y del riego para la protección de los agricultores (contenido de patógenos)
- Criterios de Salud Pública para la protección de los consumidores (contenido de patógenos)

Reúso agrícola y requerimientos de tratamiento

Tipo de Reúso agrícola	Tratamiento	Calidad
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	Secundario- Filtración -desinfección.	pH= 6.5-8.4 DBO < 10 $mg \cdot L^{-1}$ 14 NMP ·100 mL^{-1} < 1 huevo·L^{-1}
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	Secundario-desinfección.	pH= 6.5-8.4 DBO < 30 $mg \cdot L^{-1}$ SS < 30 $mg \cdot L^{-1}$ 200 NMP coli fecal·100 mL^{-1}
Reúso agrícola en cultivos que no se consumen	Secundario-desinfección	pH= 6.5-8.4 DBO < 30 $mg \cdot L^{-1}$ SS < 30 $mg \cdot L^{-1}$ 200 NMP ·100 mL^{-1}

Agua para riego agrícola

Clasificación	SDT (mg/L)	CE (mmhos/cm)
Agua para la cual no se notan efectos perjudiciales	500	0.75
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	500 - 1000	0.75 – 1.50
Agua que puede tener efectos adversos sobre muchos cultivo, requiere manejo especial	1000 - 2000	1.50 – 3.00
Agua que puede ser utilizada para plantas tolerantes sobre suelos permeables con cuidadosas prácticas de manejo	2000 - 5000	3.00 – 7.50

Adaptado de USEPA, Office of Water Program Operations, EPA-4309-75-001, 1975

Sistemas de tratamiento para reúso industrial

Característica	Nivel de tratamiento			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Contaminantes removidos	Sólidos gruesos Grasas Acondicionamiento químico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida	Sólidos suspendidos Materia orgánica suspendida Nutrientes:15-50 por ciento	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble Nutrientes patóge-nos.
Remoción	DBO: 0-5 por ciento coliformes: 0 por ciento nutrientes: 0 por ciento	SS:60-70 por ciento DBO: 30-40 por ciento Coliformes: 30-40 por ciento Nutrientes:< 20 por ciento	SS: 60-99 por ciento DBO: 60-99 por ciento Coliformes: 60-99 por ciento Nutrientes:15-50 por ciento	SS: >99 por ciento DBO: >99 por ciento Coliformes: >99.9 por ciento Nutrientes:> 90 por ciento
Estanques de estabilización de desechos[6]	1-6	1-3	1-4	1-4
Mecanismo predominante	Físico	Físico	Biológico o químico	Biológico o químico
Cumple patrón de vertimiento	No	No	Usualmente si	Si
Cumple patrón de reúso	No	No	Usualmente si	Si

Criterios de calidad de agua de refrigeración recomendados para el agua de reposición de sistemas de recirculación

Parámetro	Límite recomendado
Cl	500
SDT	500
Dureza	650
Alcalinidad	350
pH	6.9 – 9.0
DQO	75
SST	100
Turbiedad	50
DBO	25
Orgánicos	1.0

Parámetro	Límite recomendado
NH_4-N	1.0
PO_4	4
SiO_2	50
Al	0.1
Fe	0.5
Mn	0.5
Ca	50
Mg	0.5
HCO_3	24
SO_4	200

Valores en mg/L, excepto para pH

Guidelines for water reuse, EPA/625/R-92/004; 1992

Sistemas de tratamiento para reúso en recarga de acuíferos

Los sistemas de tratamiento de agua residuales típicos en los países desarrollados incluyen por al menos una operación física (separación de materia sedimentable y flotante) + proceso biológico (estabilización de la M.O.)

Proceso de obtención de un agua residual regenerada:

1. La implantación de un control de descargas a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan impedir la reutilización del agua regenerada
2. Tratamiento biológico secundario: SST y DBO < 10-20 mg/L
3. Tratamiento adicional para reducir SST y turbiedad del efluente secundario + desinfección del mismo
4. Depósito regulador de los caudales de agua regenerada, a fin de adecuar la producción de la planta a la demanda de uso y asegurar una cierta reserva de agua regenerada

Tratamientos utilizados

Proceso	Sólidos suspen-didos	Coloi-des	Materia orgáni-ca	Materia orgáni-ca di-suelta	Nitró-geno y fósforo	Cons-titu-yentes traza	Solidos disuel-tos totales	Bacte-rias	Proto-zoos y helmin-tos	Virus
Tratamiento secundario	X			X						
Secundario con remoción de nutrientes				X	X					
Filtración profunda	X							X	X	
Filtración superficial	X		X					X	X	
Microfiltración	X	X	X					X	X	
Ultrafiltración	X	X	X					X	X	X
Flotación de aire disuelto	X	X	X						X	X
Nanofiltraci-ón			X	X		X	X	X	X	X
Osmosis inversa				X	X	X	X	X	X	X
Electrodiálisis		X					X			
Carbón activado				X		X				
Intercambio iónico					X	X	X			
Oxidación avanzada			X	X						
Desinfección			X					X	X	X

Calidad y remoción de nutrientes en sistemas de tratamiento

Sistema	Calidad promedio del efluente ($mg \cdot L^{-1}$)			Eficiencia de remoción promedio (por ciento)		
	Nitrógeno amoniacal	Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno amoniacal	Nitrógeno total	Fósforo total
Tratamiento primario	>20	>30	>4	<30	<30	<35
Lodos activados convencional	<5	>20	>4	>80	<60	<35
Lodos activados con aireación extendida	<5	>20	>4	>80	<60	<35
Filtro percolador de baja carga	5-10	>20	>4	65-85	<60	<35

Ejemplos de reúso

Reúso en México

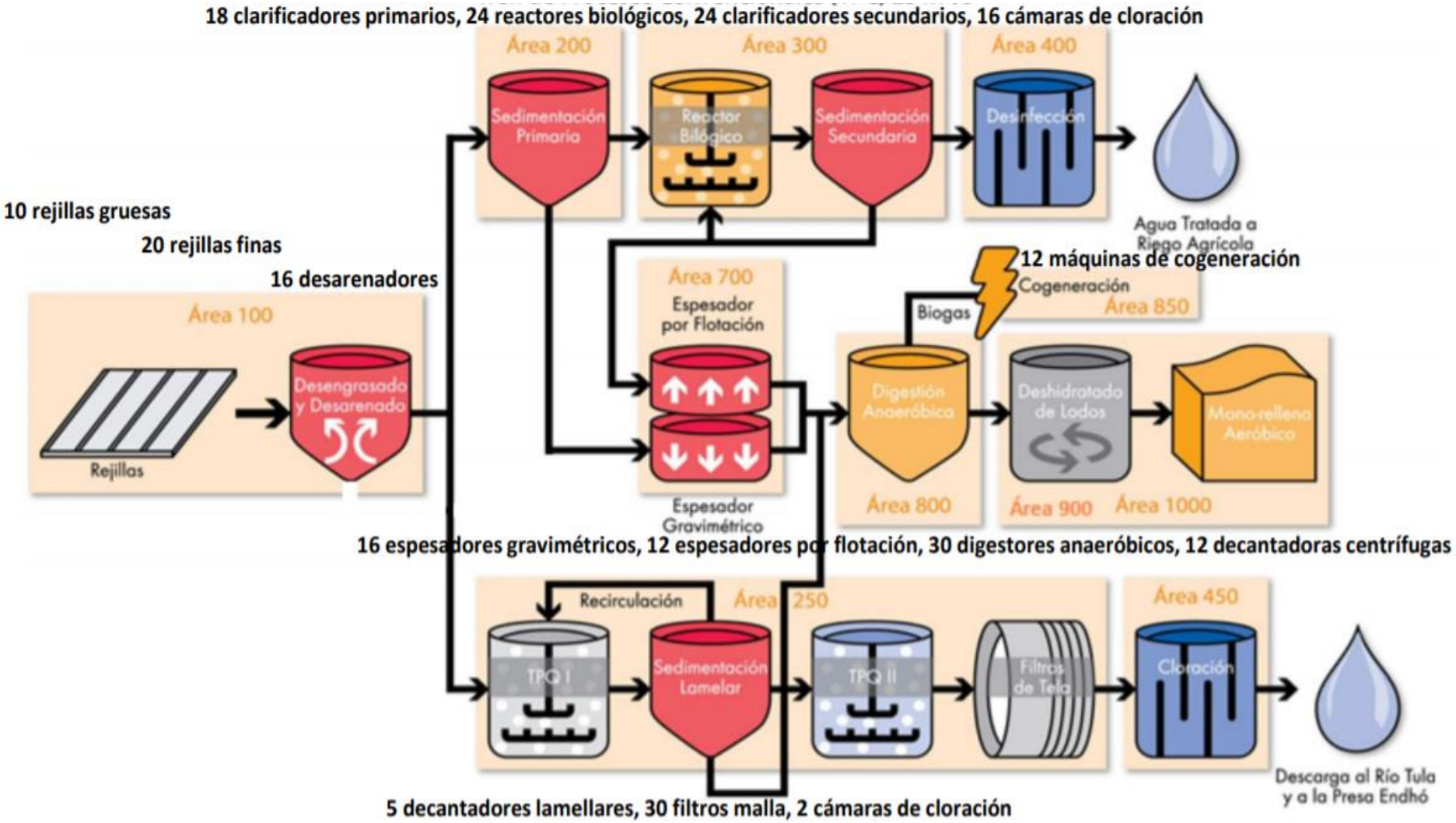
Estado	Municipio	Ciudad	PTAR	Qinst, l/s	Qop, l/s	Reúso
COAH	Acuña	Ciudad Acuña	Ciudad Acuña	500	482	Indirecto, CFE
COAH	Monclova	Monclova	AHMSA	650	550	Industrial
COAH	Ocampo	Chula Vista	Chula Vista	5	5	Directo Industrial
COAH	Piedras Negras	Piedras Negras	Piedras Negras	720	789	Indirecto Industrial (CFE)
COAH	Saltillo	Saltillo	AINSA	75	35	Industrial
COAH	Torreón	Torreón	Met Mex Peñoles	150	110	Industrial
CDMX	Coyoacán	Coyoacán	UNAM	7.5	3	Servicios sanitarios
CDMX	Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	110	51	Procesos Industriales
CDMX	Iztapalapa	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	3000	1344	Industrial
DGO	Lerdo	Lerdo	Ciudad Lerdo	200	180	Industrial (CFE)
GTO	Apaseo el Alto	Apaseo el Alto	Apaseo el Alto	45	25	Construcción
MEX	Ecatepec	Ecatepec de Morelos	Papelera San Cristobal	350	100	Industrial
MEX	Tlalnepantla de Baz	Tlanepantla	San Juan Ixhuatepec	150	100	Industrial
MEX	Cuautitlán Izcalli	Cuautitlán Izcalli	Lechería	400	160	Industrial
OAX	Salina Cruz	Salina Cruz	Salina Cruz II (Pemex)	100	100	Industrial
SLP	San Luis Potosí	San Luis Potosí	Tanque Tenorio	1050	1000	Industrial (CFE enfriamiento)
SLP	San Luis Potosí	San Luis Potosí	Industrial Minera México	40	40	Industrial (enfriamiento & energía)
SON	Hermosillo	Hermosillo	Unión Fenosa - CFE	110	85	Termoeléctrica
ZAC	Fresnillo	Fresnillo	Peñoles	150	150	Industria minera

Inventario Nacional de Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación. CONAGUA 2016

Reúso agrícola: PTAR Atotonilco

- PTAR Atotonilco : 60% AR de CDMX.
- El Proyecto Atotonilco provee ART para el riego de aprox. **80 000 ha** en el valle de Hidalgo.
- El metano generado por la estabilización anaerobia de los lodos residuales (175,000-200,000 Nm^3/d) genera calor y electricidad a través de plantas con sistemas combinados de calor y energía (CHP)
- Cogeneración anual : 197 GWh
- Consumo total de energía: 245 GWh
- Capacidad: 32.4 MW → reducción de emisiones GEI (1m ton CO2e/año).
- **0.07 USD/m^3 ART**

Proceso convencional (TPC): 23 m³/s



Proceso químico (TPQ): 13 m³/s

Capacidad

Estiaje

TPC+TPQ	35 m³/s
TPC	23 m³/s
TPQ	12 m³/s

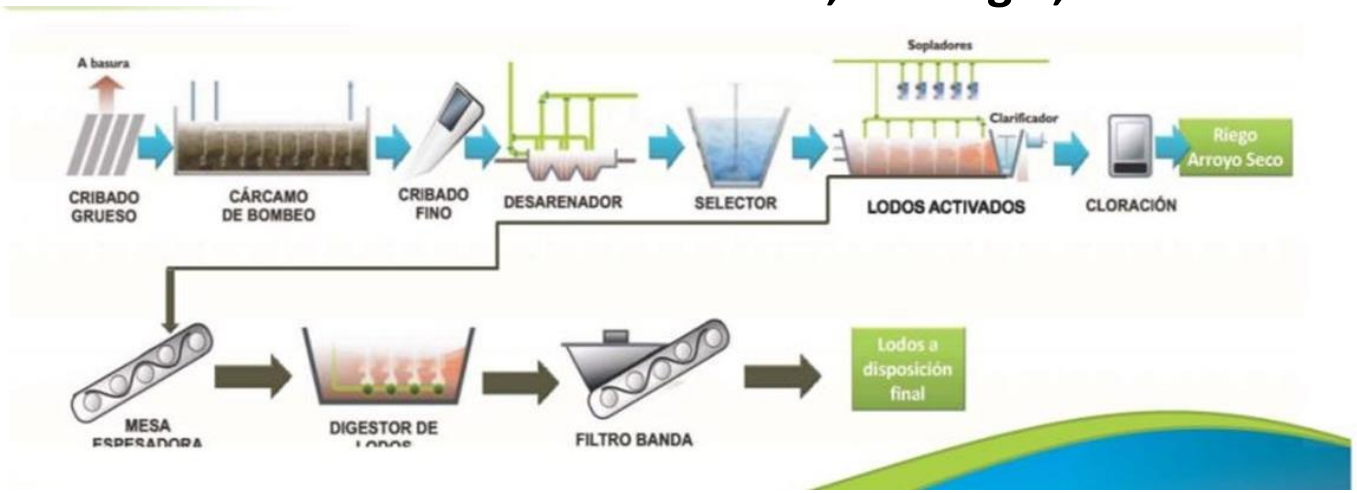
Lluvias

TPC+TPQ	42 m³/s
TPC	27.6 m³/s
TPQ	14.4 m³/s

Lluvia máxima

TPC+TPQ	50 m³/s
TPC	33 m³/s
TPQ	17 m³/s

PTAR Sur, Durango , México



Proceso	Lodos activados con aeración extendida
Q diseño	600 l/s
Inicio operación	2010
TRH	16-20 horas
Q operación	350 l/s
COSTO: MXP/ m^3 ART	$1.20

Agua y Drenaje de Monterrey, NL

Commercial and Industrial rates 2017

User	Clientes	Precio promedio: Agua & sanemiento (m^3)	
		MXP	USD
Doméstico	1 395 441	14.92	0.741
Comercial	67 599	47.52	2.360
Industrial	1 486	53.80	2.636
Público	6 119	23.08	1.146

2017

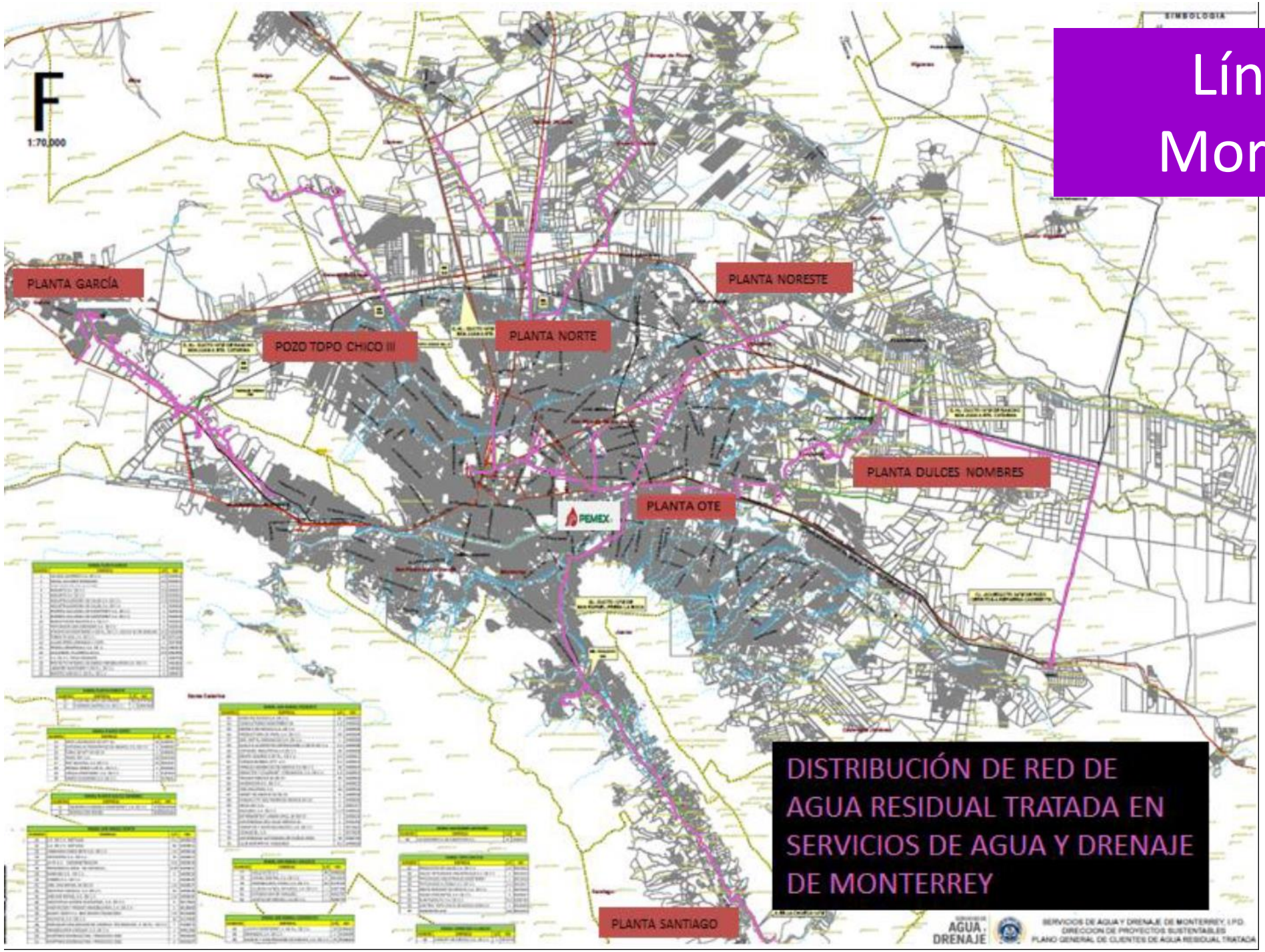
Producción metropolitana PTARs: 342 820 363 m^3
Producción fóranea PTARs: 41 191 032 m^3
Lagunas estabilización: 3 815 970 m^3

Total: 387 827 365 m^3

	Agura residual cruda		Agua residual tratada	
Usuarios	9		107	
Volumen (m^3)	15 734 741		30 870 908	
Costo ($/$m^3$)	1.60 MXP	0.0795 USD	10.54 MXP	**0.5236 USD**
Agua no contabilizada			29.2%	

Lodos Activados
12,575 L/s

Línea Morada



AHMSA, Monclova, Coah.
Industria de hierro y acero

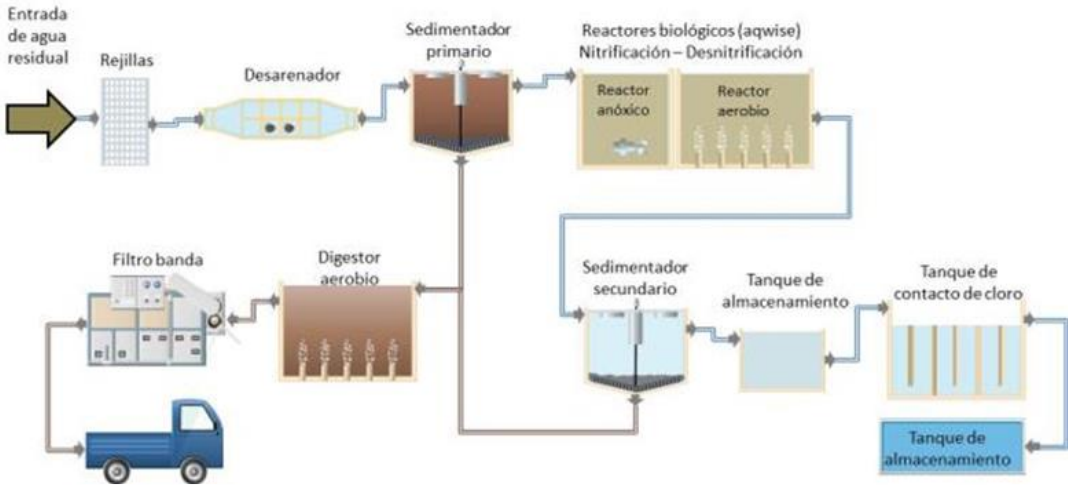
Production:

- Placa
- Hot Roll
- Cold Roll
- Estaño
- Lámina cromada
- Perfiles estructurales

Agua residual tratada en el proceso: 580 L/s

PTAR AHMSA

Q_{ins}: 650 L/s
Q_{op}: 580 l/s
Lodos activados + nitrificación - desnitrificación+ filtración
SST-DBO_{ef} >6 mg/l



Producción energía eléctrica
Carbón II & José López Portillo

Producción: 2600 MW

Carboeléctrica Carbón II
Capacidad: 1400 MW
Generación anual: 10 300 000 MWH
Carboeléctrica JLP
Capacidad: 1200 MW
Generación anual: 9 200 000 MWH

Reúso industrial : enfriamiento

Reúso: hasta1200 l/s

CEA-Coahuila → CFE
9 MXP/m^3 ART → 0.447 USD/m^3

PTAR Piedras Negras
Q_{ins}: 720 l/s (320), Q_{op}: 780 l/s
Lodos activados
DBO_{ef}: 6 mg/l

PTAR Acuña
Q_{ins}: 500 l/s (250), Q_{op}: 482 l/s
Lodos activados
DBO_{ef}: 6 mg/l

Costo tratamiento: 1 MXP/m^3
0.0496 USD/m^3

Planta termoeléctrica Huexca
Production: 622 MW
Central Ciclo Combinedo
Industrial reuse: enfriamiento
Q: 250 l/s
6.00 MXP/m^3 ART → 0.30 USD/m^3

PTAR Cuautla
Q_{ins}: 630 l/s
Q_{op}: 540 l/s
Filtros biológicos

Reúso
Agua para consumo humano indirecto

¿AGUA POTABLE DEL AGUA NEGRA?

Las moléculas neutras (sin carga eléctrica neta) y de bajo peso molecular no son rechazadas con efectividad por la OI.

Ejemplo: **cloroformo y bromoformo**.

En una prueba inicial hay remoción de estas sustancias pero al cabo de algunas horas (≈ 10h) el rechazo va disminuyendo.

Un ión que tampoco es rechazado con eficiencia es el nitrato **NO_3-**, las eficiencias varían pero son del orden del 50 al 60 %.

La **N-Dietil-meta toulamida** (DEET) no es rechazada eficientemente por membranas de nanofiltración ya que el único mecanismo de rechazo (por ser molécula neutra) es la estericidad y el peso molecular de corte de las membranas de Nanofiltración es mayor que el tamaño molecular de DEET.

N-Dietil-meta toulamida (DEET)

Ingrediente más habitual de los repelentes de insectos.

Se usa aplicándolo sobre la piel o la ropa para evitar las picaduras de artrópodos.

En particular se utiliza contra las picaduras de garrapatas y mosquitos.

Contaminantes emergentes

- Presentes en aguas residuales municipales, industriales y agrícolas en concentraciones muy bajas (µg/L - ng/L)
- Representan < 1% DQO, pero la mayoría son cancerígenos, mutagénicos y /o disruptores endócrinos
- Crean problemas de tratabilidad : son poco biodegradables (estructura y toxicidad)
- Consumo en aumento de productos farmacéuticos y de uso personal

La revolución química:
La diversidad de los compuestos químicos

En 1999 el *Chemical Abstracts Service* (CAS), una división de la Sociedad Americana de Química registró el compuesto químico número: 10 millones

El 7 de septiembre de 2009, el CAS registró el compuesto químico número: 50 millones

Las estadísticas del CAS, indicaron que cada 2.6 segundos se aisló o sintetizó un nueva sustancia durante los doce meses previos a septiembre de 2009

2009: registro de casi 60 millones de sustancias orgánicas e inorgánicas, CAS Home Page

→ millones de compuestos químicos (naturales y sintéticos) se encuentran en el ambiente y tienen el potencial de ingresar al agua (superficiales, subterráneas, agua potable y aguas residuales)

Cosméticos
Surfactants
Biocides
Colorants
Anti-UV
…

Materiales de construcción
Metales
Biocidas
Anti-UV

Transporte
Metales
HAP
…

Fuentes de micro contaminantes

Agro - químicos
Plaguicidas (jardines, agricultura)
…

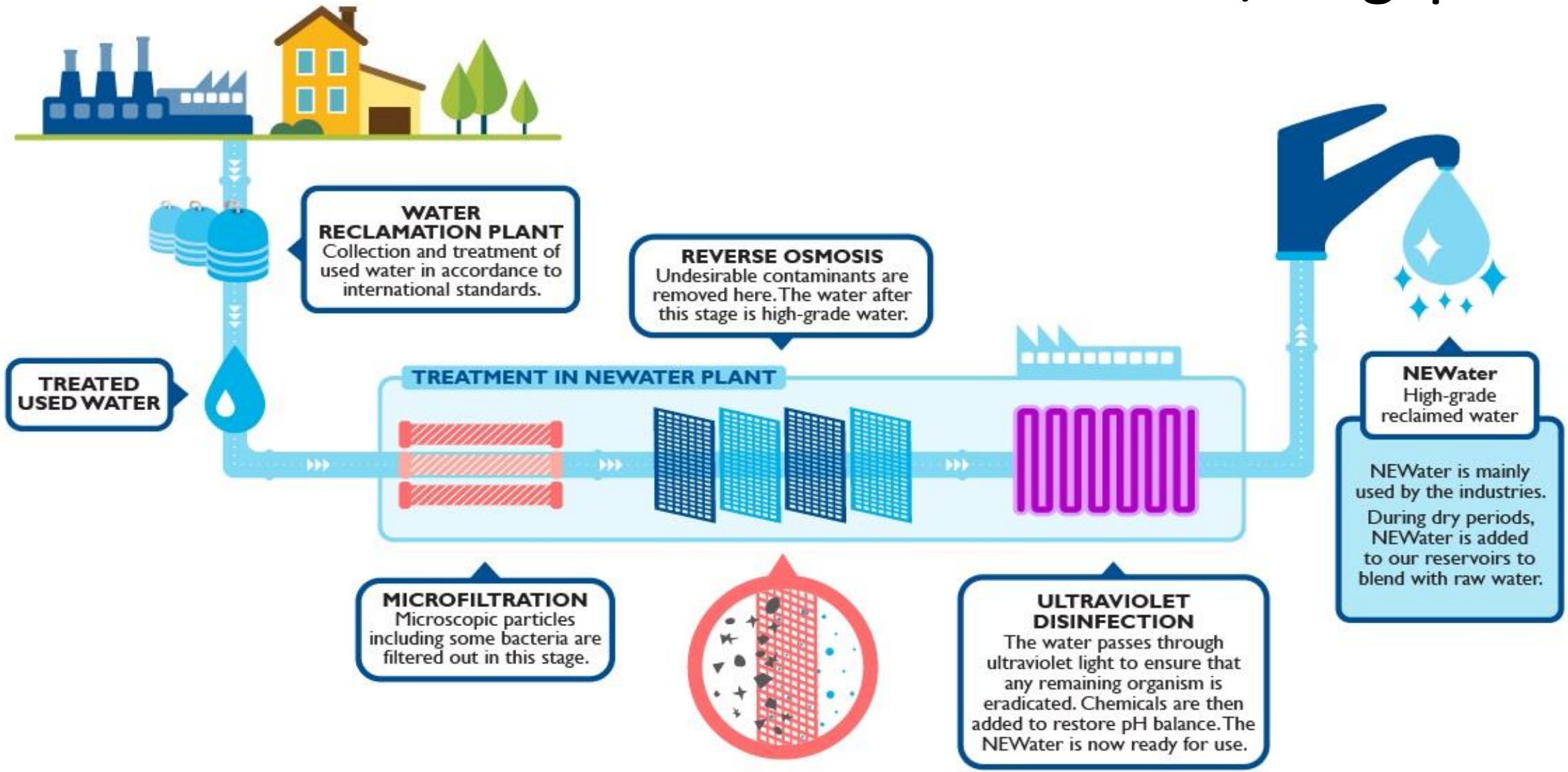
Productos farmacéuticos
Medicinas
Antibióticos
Hormonas
…

Productos de Limpieza
Surfactantes
Biocidas
Colorantes

Remoción de CE en diferentes procesos

Proceso	Descripción	Remoción
Tratamiento biológico	Aerobio - anaerobio Depende de compuestos y condiciones de operación	Variable De nada a buena
Coagulación floculación	Para hidrofóbicos asociados con partículas	Baja
Carbón activado	Para hidrofóbicos con eficiencia baja por competencia con compuestos de > PM o polaridad les favorece.	40 – 60%
Oxidación	Para compuestos con grupos funcionales electronegativos En dosis mucho mayor a la desinfección	Variable a alta
Fotólisis con luz UV	Para compuestos con grupos cromóforos. Dosis mayores a las de desinfección	Variable
Membranas	Eficiencia buena y confiable. Costo elevado	Alta
Sistemas Avanzados de Tratamiento	Mayor conocimiento mecanismos de transporte Remueve por adsorción y biodegradación La transformación es hasta ácidos húmicos y fúlvicos.	Buena

NeWater, Singapur



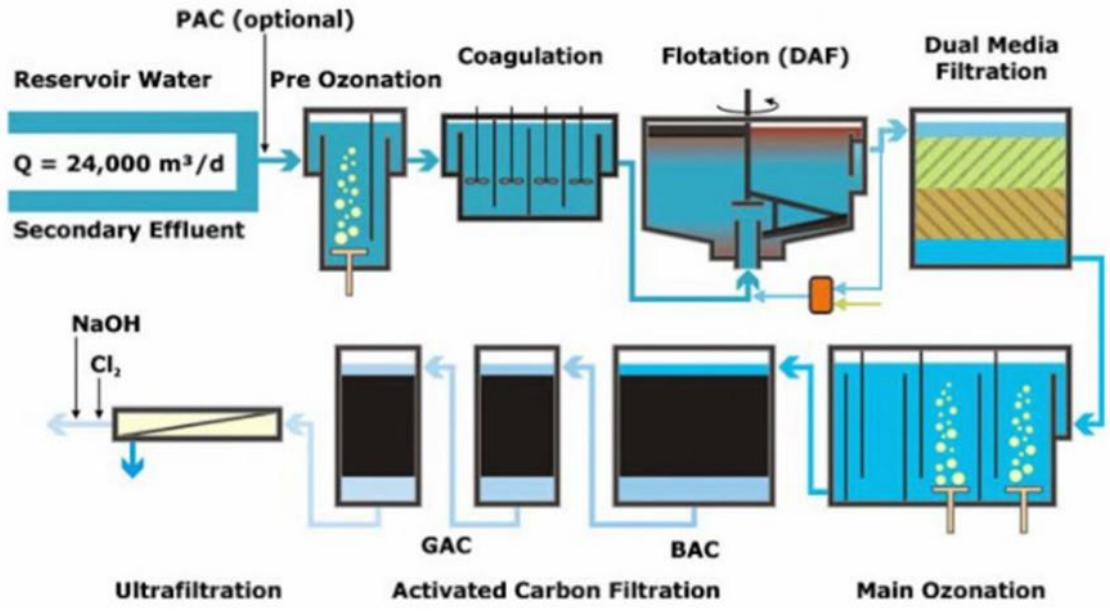
https://www.pub.gov.sg/PublishingImages/NEWaterDemographics.jpg

PTAR Gammans y PTAR Goreangab

Winhoek, Namibia

Población : 322,500 hab

Las aguas residuales municipales de la región son previamente tratadas en la PTAR Gammans (eliminación de nutrientes) y pulidas en lagunas de maduración antes de ser tratadas en un sistema avanzado de barreras múltiples en la PTAR Goreangab



PTAR Goreangab

Capacidad: 21,000 m^3/d (243 l/s)

Volumen total anual ART: 6.4 Mm^3/año

Volumen total reciclado: 5.8 Mm^3/año

Estándares de agua potable (mezcla con un máximo del 35% de agua regenerada)

http://www.wingoc.com.na/process.html

Obstáculos para la implementación del reúso

Exigen cancelar termoeléctricas en Huexca

Rubicela Morelos Cruz
Corresponsal

Periódico La Jornada
Miércoles 8 de marzo de 2017, p. 32

Cuernavaca, Mor.

Habitantes de Huexca, municipio de Yecapixtla, principalmente mujeres, marcharon al predio donde se edifican dos termoeléctricas del Proyecto Integral Morelos (PIM) para exigir su cancelación ante el riesgo de afectaciones a la salud de los pobladores y escasez de agua en la región.

La marcha partió del centro del poblado hasta el lugar donde se construyen las generadoras, una de las cuales ya está concluida, pero iniciará operaciones cuando queden terminados el acueducto y el gasoducto, que también forman parte del plan.

"Pedimos la cancelación del proyecto y exigimos que cese el robo de agua de Ayala y Cuautla", manifestó Jaime Domínguez Pérez, integrante del Frente de Pueblos en Defensa del Agua, la Tierra y el Aire de Morelos, Puebla y Tlaxcala.

Recordó que ejidatarios de Ayala y Cuautla permanecen en plantón desde agosto pasado en San Pedro Apatlaco, para exigir que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) no se lleve el agua del río Cuautla al acueducto, por ser un recurso vital para la siembra de autoconsumo.

Denunciaron que la construcción de una de las plantas genera "ruidos espantosos" y aunque todavía no funciona, en pocos meses ya se han presentado niños con afectaciones en los oídos y los adultos sufren crisis nerviosas y padecimientos oculares.

La Jornada

Desinformación

Morelos, México, 2017

"Se están robando nuestra agua"

"Pedimos la cancelación de Proyecto y exigimos que cese el robo de agua de Ayala y Cuautla"

Agua para agricultura de autoconsumo

Ausencia de negociación con la población

Desinformación : “Es un problema utilizar el agua residual tratada”

Irregularidad : Flujo constante & calidad constante

Precio : agua municipal, costos de extracción< agua residual tratada

Transporte: ***Construcción de líneas de reúso: línea morada***

Bombeo & transporte → PTARs municipales lejos de los sitios de reúso

Problemática generalizada: calidad del efluente

- PTAR's subutilizadas ($Q_{diseño} > Q_{op}$)
- Plantas mal diseñadas
- Plantas mal construidas
- Plantas sobrecargadas
- No hay manuales de operación
- No se cuenta con equipo para control de proceso
- Capacitación deficiente de operadores
- Módulos viejos, instalaciones y equipos en mal estado
- No hay recursos para O&M
- No hay mantenimiento preventivo
- Rotación de personal

NOM-003-SEMARNAT-1997 - “Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público”

3.11 Reúso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico.

En lo que corresponde a esta NOM se consideran los siguientes reúsos: **llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.**

3.12 Reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia.

En lo que corresponde a esta NOM se consideran los siguientes reúsos: **riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.**

Parámetros

Promedio mensual					
Tipos de reúso	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO_5 mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	≤ 1	15	30	20
Servicios al publico con contacto indirecto u ocasional	1,000	≤ 5	15	30	30

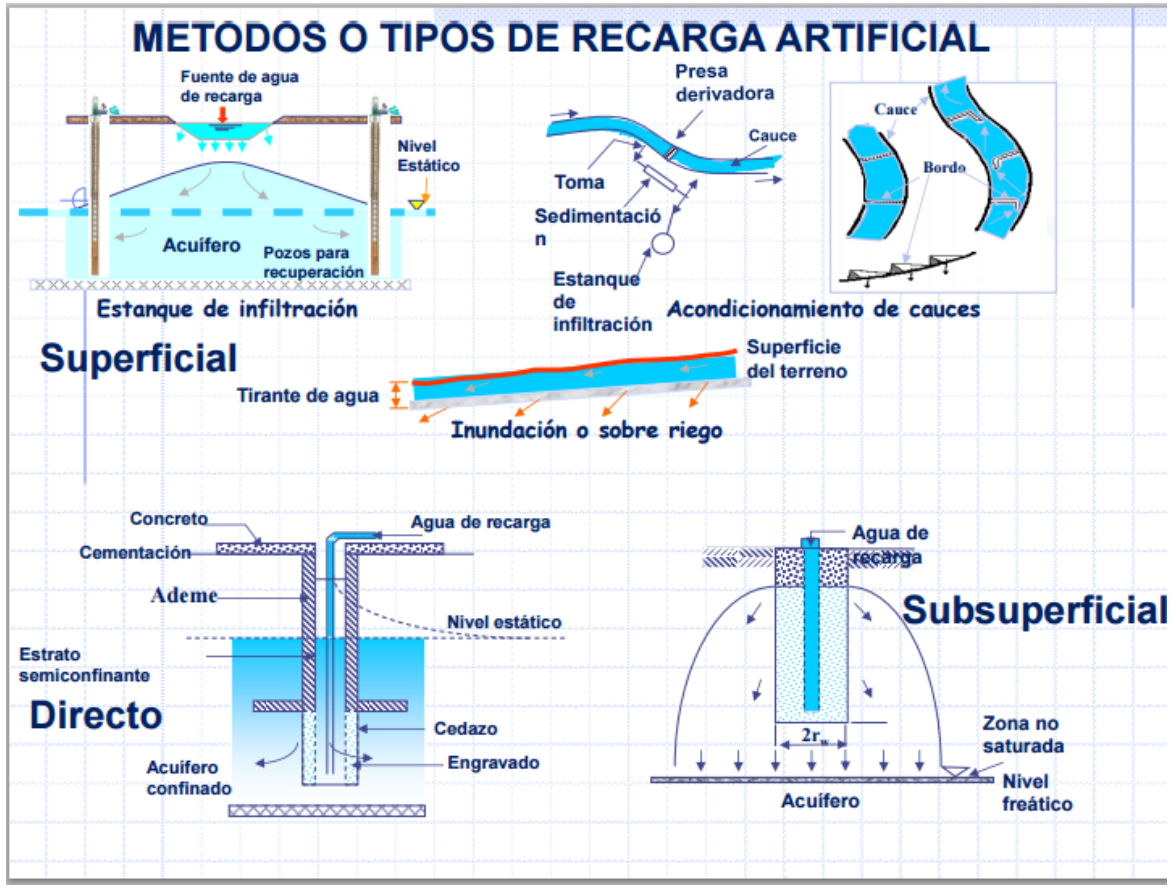
El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de **metales pesados y cianuros** mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

NOM-014-CONAGUA-2003 - “Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada”

Contempla tres tipo de recarga :

1. superficial
   (aprovechando las capacidades depuradoras del suelo)
2. subsuperficial
   (por encima del nivel estático)
3. directa (inyección al acuífero).

Los niveles de tratamiento necesario, descritos en términos de calidad del agua a recargar, varían de menos a más estrictos de acuerdo al tipo de recarga, a fin de alentar esta práctica.



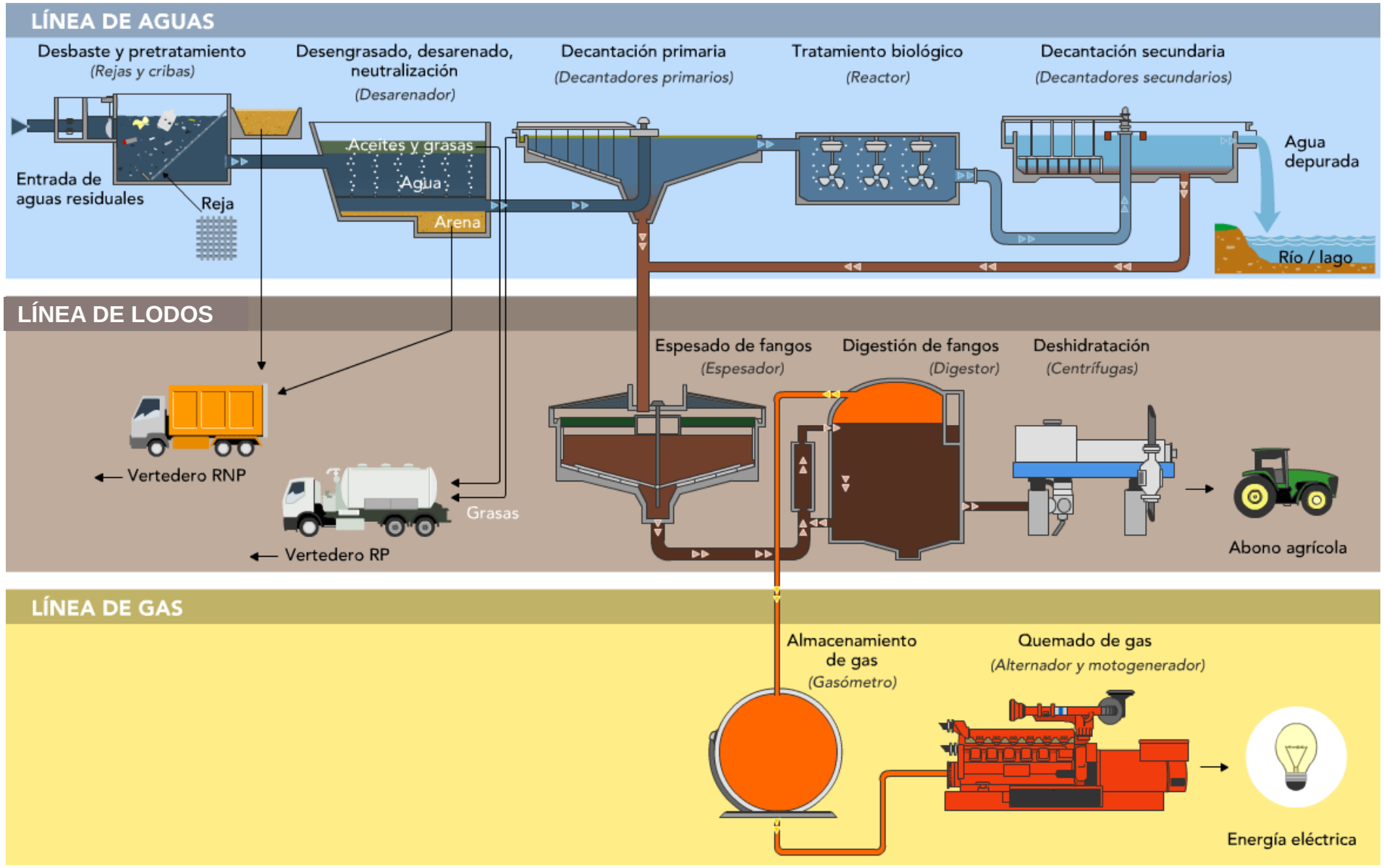
Calidad del agua residual tratada para recarga artificial

Tipo de contaminante	Método de Recarga Superficial / Subsuperficial	Directo
Microorganismos patógenos	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus *	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus
Contaminantes regulados por Norma	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994
Contaminantes no regulados por Norma	DBO<30 mg/L COT < 16 mg/L	COT <1 mg/L

* Puede ser de menor calidad si se demuestra la capacidad de atenuación del medio.

¿Y los lodos residuales?

¿Problema o Recurso?



http://www.elrenacimientodelagua.com/estadisticas

Lodos Residuales

Subproductos generados por los procesos de tratamiento de las PTARs
Formados por agua: 95 a 99%
Contienen la mayor parte de la materia indeseable que es separada del AR

Objetivo del tratamiento

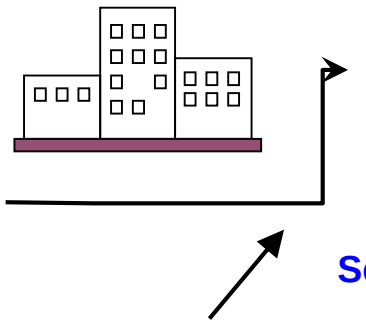
- Disminución de materias volátiles y volumen
- Mineralización de la materia orgánica.
- Concentración de lodos
- Degradación controlada de sustancias orgánicas y eliminación de olores
- Control de organismos patógenos
- Mejoramiento de las propiedades de lodos residuales para su utilización o disposición

Lodos residuales

- Los lodos residuales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso.
- Los lodos residuales deben ser tratados (estabilizados) antes de llevarlos a su disposición final.
- **Clasificación**
    - Lodos primarios
    - Lodos secundarios
    - Lodos químicos
- Objetivo de la estabilización :
    - ✓ reducir la presencia de patógenos
    - ✓ eliminar los olores desagradables
    - ✓ reducir o eliminar su potencial de putrefacción.

Generación, tratamiento, aprovechamiento y disposición de lodos residuales

Generación de aguas residuales

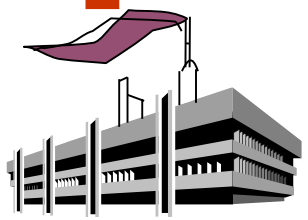


Primario → Lodo primario

Secundario → Lodo secundario

Pretratamiento en la industria

Terciario → Lodo terciario



Efluente

Tratamiento

Control de olor y reducción de patógenos

Estabilización

Remoción de agua

- ✓ Espesamiento
- ✓ Acondicionado
- ✓ Desaguado
- ✓ Secado

Disposición final

- Aplicación al suelo
- Composteo, distribución y mercadeo
- Incineración
- Relleno sanitario

TIPOS DE LODO RESIDUAL

Tipo de lodo	Origen	% Sólidos	Características
Lodo primario	Sedimentación primaria	3 - 7	Alto contenido de materia orgánica
Lodo secundario	Tratamiento biológico (Procesos anaerobios, lodos activados, biofiltros y biodiscos)	0.5 - 2	Constituido principalmente por biomasa. Difícil de deshidratar
Lodo terciario o tratamiento químico	Coagulación – floculación, filtración, precipitación química	Variable hasta 50%	Dependen del proceso de tratamiento aplicado

Lodos residuales

Los medios de estabilización más eficaces son:

- la reducción biológica del contenido de materia volátil
- la oxidación química de la materia volátil
- la adición de agentes químicos para hace que el lodo no sea adecuado para la supervivencia de microorganismos
- la aplicación de calor para la desinfección (esterilización) del lodo.

Técnicas más utilizadas para la estabilización de los lodos :

- ✓ **digestión aerobia**
- ✓ **digestión anaerobia**
- ✓ **estabilización con cal**
- ✓ **tratamiento térmico**
- ✓ **compostaje**

Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para la Clase C.
Excelente o bueno	C	Usos forestales. Mejoramiento de suelos. Usos agrícolas.

Tratamiento de lodos

LODO RESIDUAL

CLASE A
Uso sin restricciones

Procesos termofílicos
Composteo (T> 55°C)
Digestión aerobia
Digestión anaerobia

Otros procesos:
Secado con calor (T> 80°C)
Pasteurización (T>70°C * 30 min.)
Irradiación con rayos Gamma
Irradiación con rayos Beta

CLASE B y C
Uso restringido

Digestión aerobia
Secado al aire
Digestión anaerobia
Estabilización con cal

Procesos físicos		Procesos químicos	Procesos biológicos	Procesos térmicos	Disposición
Espesamiento	**Deshidratación**				
Espesamiento por gravedad	Filtro al vacío	Acondicionamiento	Digestión aerobia	Incineración	
Espesamiento por flotación	Filtro de bandas	Neutralización	Digestión anaerobia	Vitrificación	Relleno
Centrifugación	Filtro Prensa	Extracción	Composteo	Oxidación con aire húmedo	Reciclo
Espesamiento filtros de bandas	Centrifugación	Oxidación Reducción	Tratamiento en tierra	Desorción	Aplicación en tierra
	Lechos de sacado	Estabilización Solidificación		Cristalización	
	Evaporación secado	Decloración			
	Prensa de tornillo				

Alternativas tecnológicas

Digestión aerobia

Se utiliza generalmente para PTARs < 250 L/s

Ventajas:

- Menores concentraciones de DBO en líquido sobrenadante
- Inversión inicial suele ser menor
- Producto final biológicamente estable, sin olores.

Desventajas

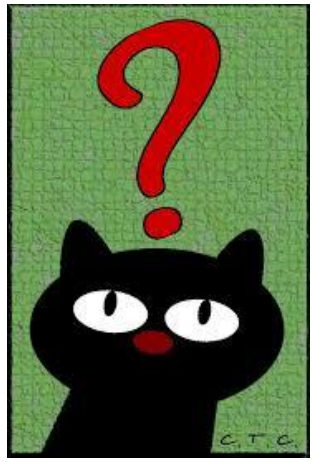
- Costo energético (suministro de aire)
- Difícil deshidratación mecánica
- Operación especializada

Digestión anaerobia

- Estabilización de lodos → degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.
- La materia orgánica se convierte, principalmente, en **metano (CH_4)** y **dióxido de carbono (CO_2).**
- El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado (15 – 60 d)
- Costo de operación menor
- Mayor costo de inversión
- Requiere de operadores especializados del proceso
- Gas producido: 65 - 70% de CH_4 y 25 - 30% de CO_2
  En mucho menor cantidad N, H, H_2S y otros.
- Poder calórico gas de digestión ≈ 22 400 kJ/m^3

El agua: ¿Un privilegio o un derecho?

Comentarios, dudas, observaciones…



Gracias por su atención

Dra. Gabriela Mantilla Morales

mantilla@tlaloc.imta.mx

Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua