



*Tendencias en el tratamiento
Integral de Aguas Residuales*

Congreso Internacional Ambiental Manizales

*“Tendencias en el tratamiento integral de
aguas residuales”*

Manizales, septiembre 18 - 21 de 2017



Instituto de Estudios Ambientales IDEA
Sede Manizales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Universidad[®]
Católica
de Manizales





REMOCIÓN DE NUTRIENTES
EN AGUAS RESIDUALES Y
MANEJO DE LODOS

RETOS PARA EL SECTOR DE
AGUAS EN COLOMBIA



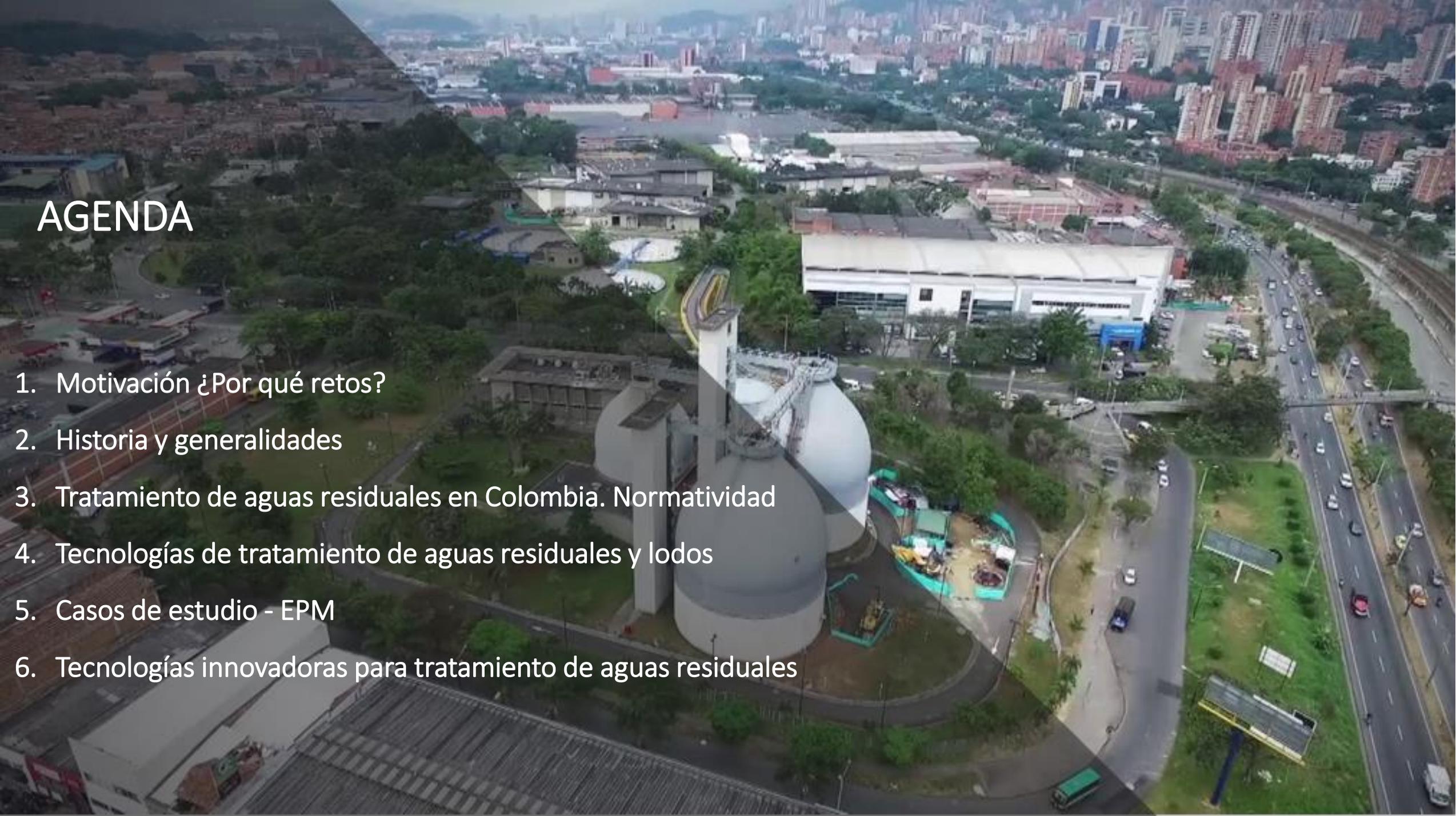
ANDRÉS ALFONSO MARTÍNEZ

Ingeniero Químico UN Colombia, MSc. en Ing. Química UN Colombia
MSc. en Aguas Urbanas y Saneamiento IHE Delft (Holanda)

Profesional Gestión Proyectos e Ingeniería en EPM

Experiencia investigativa, operativa y en proyectos relacionados con aguas residuales,
potables y reúso de agua

AGENDA

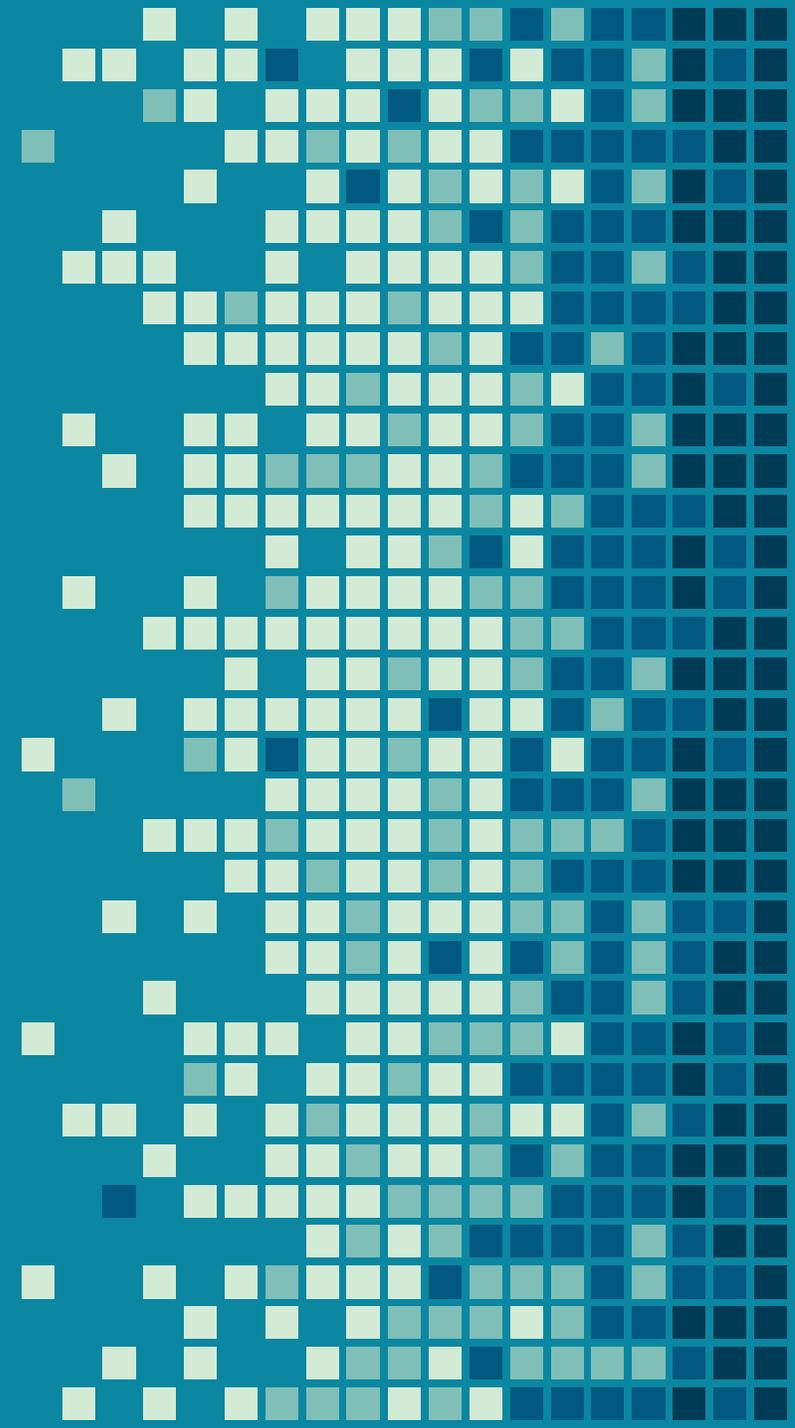
An aerial photograph of a wastewater treatment plant. The central focus is a large circular structure containing several massive, white, cylindrical tanks. To the right, a long, white industrial building with a flat roof is visible. The facility is surrounded by greenery, including trees and grassy areas. In the background, a dense urban cityscape with numerous high-rise buildings and a multi-lane highway with traffic can be seen under a clear sky.

1. Motivación ¿Por qué retos?
2. Historia y generalidades
3. Tratamiento de aguas residuales en Colombia. Normatividad
4. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales y lodos
5. Casos de estudio - EPM
6. Tecnologías innovadoras para tratamiento de aguas residuales

*“ Thousands have lived
without love,
not one without water*

W.H Alder (1907-1973)

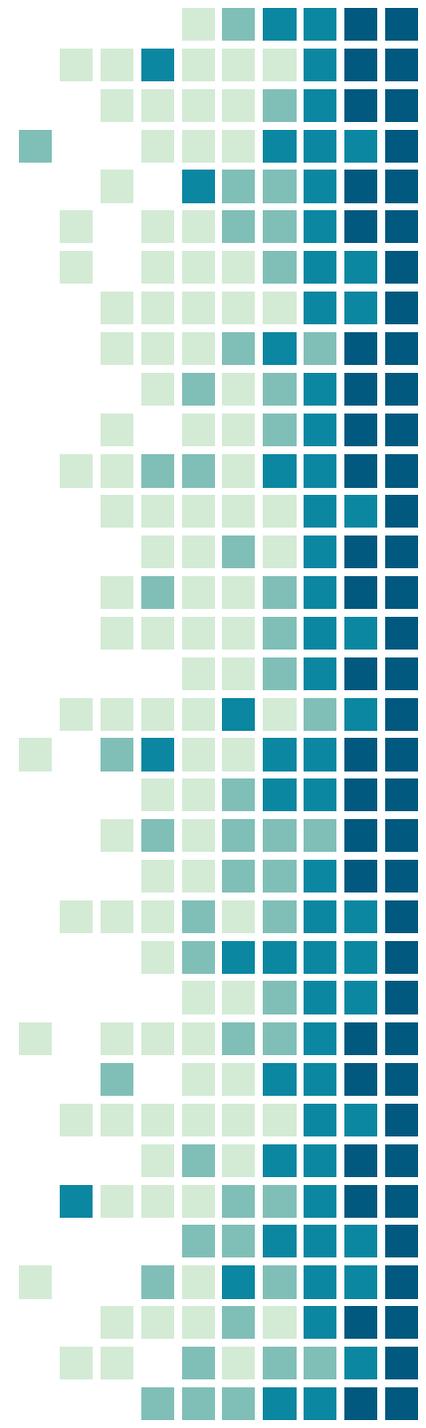
Poeta Británico



Tratamiento de Aguas Residuales ¿Por qué un reto?

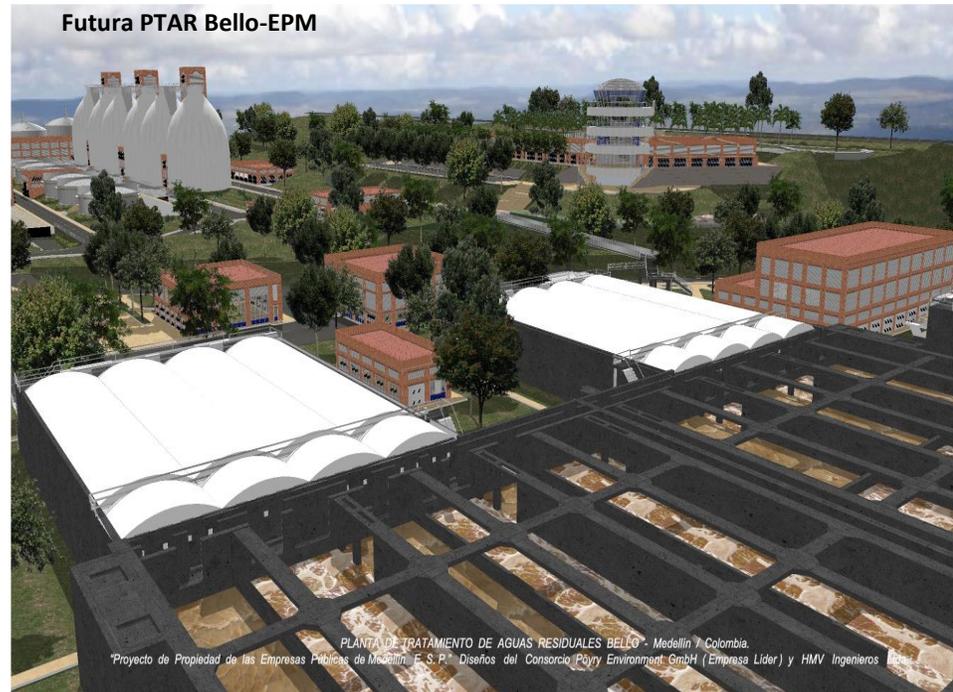


¿Qué queremos para nuestro entorno?

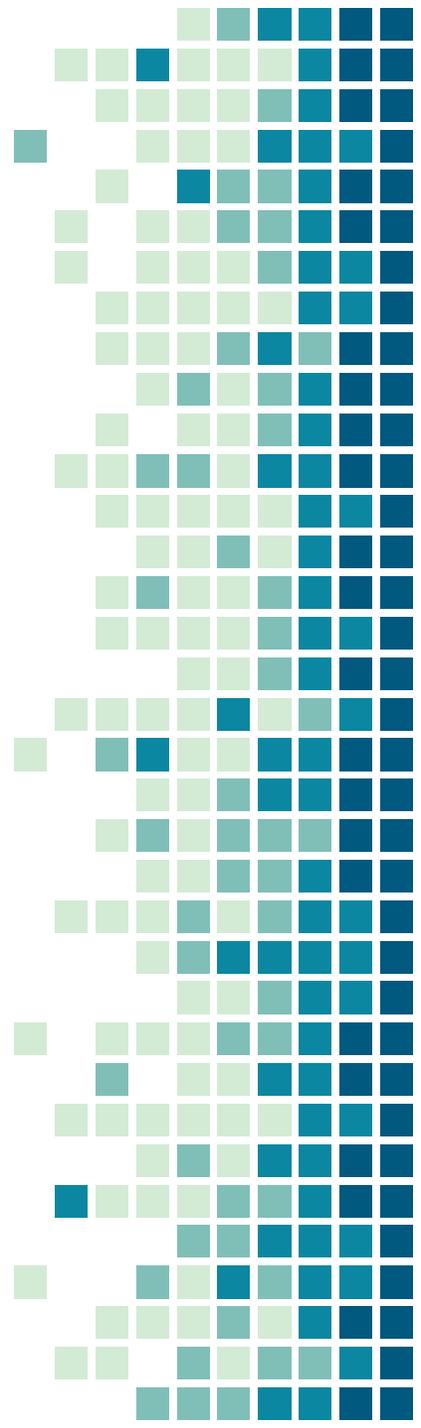


Tratamiento de Aguas Residuales (II)

¿Por qué un reto?



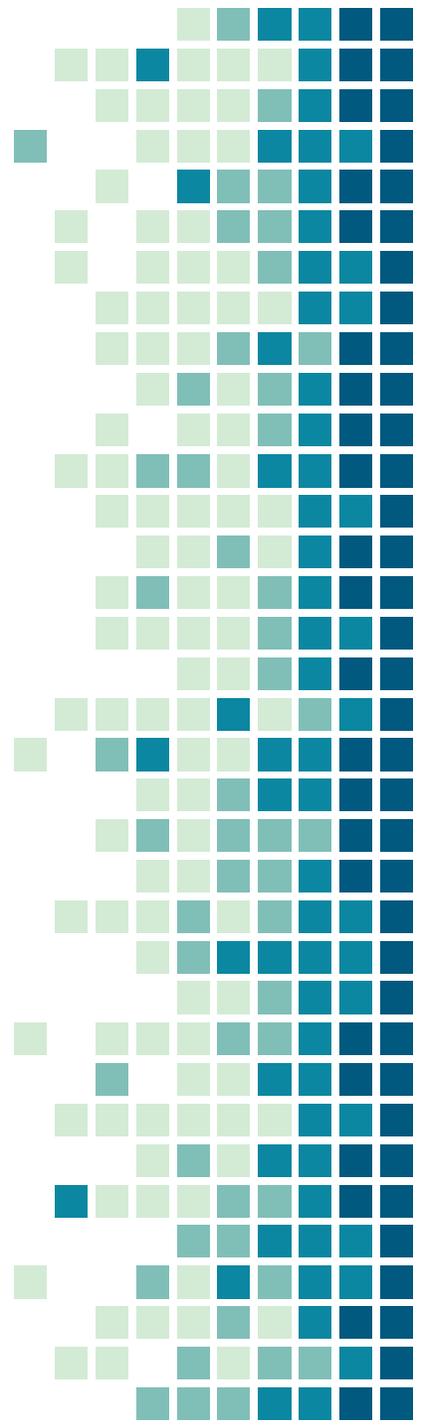
¿Qué queremos para nuestro entorno?



Tratamiento de lodos ¿Por qué un reto?



¿Qué queremos para nuestro entorno?



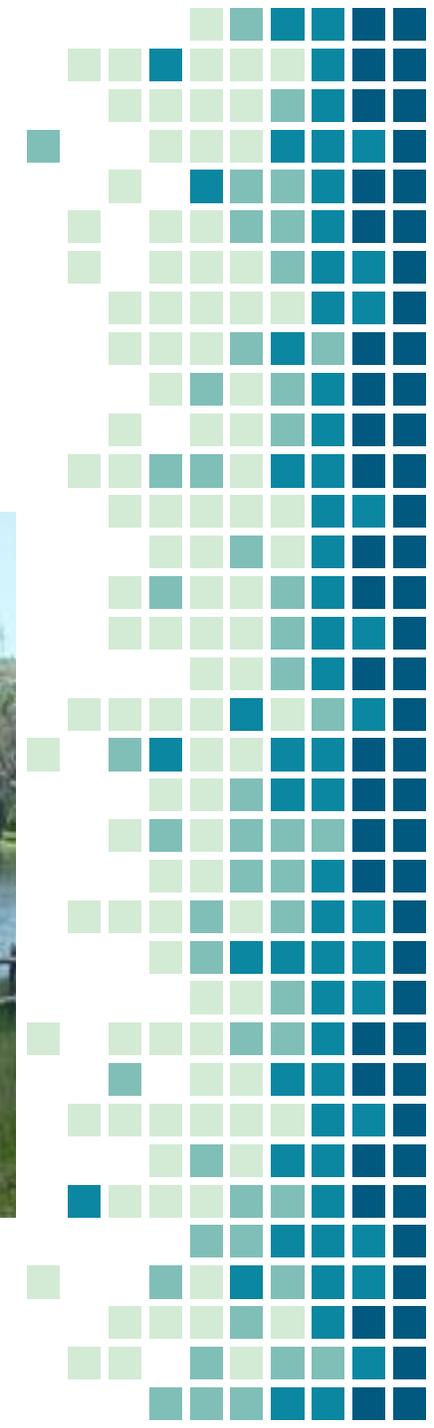
Remoción de Nutrientes en Aguas Residuales ¿Por qué un reto?



¿Qué tenemos?



¿Qué queremos?



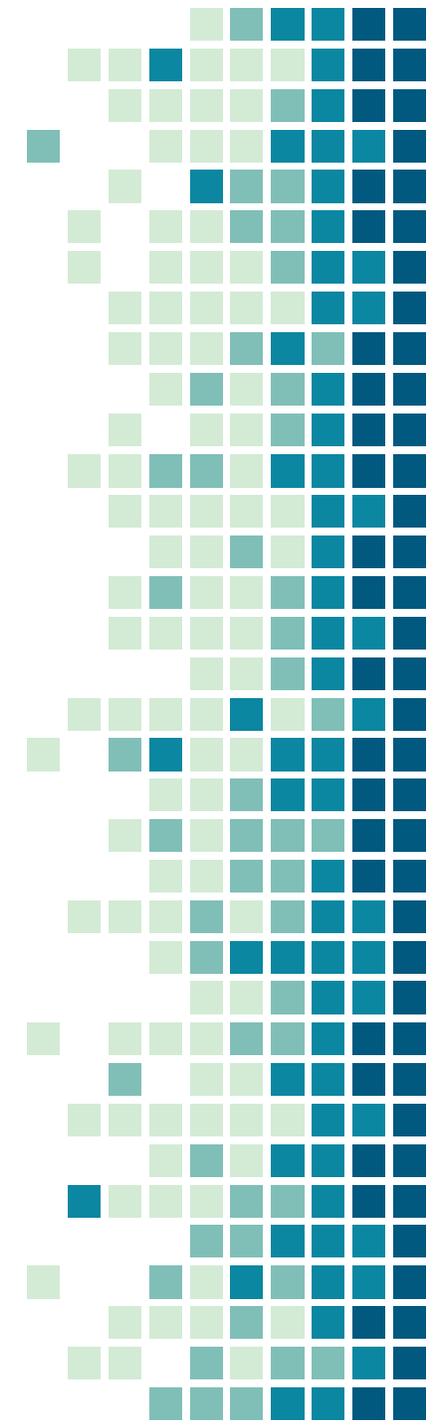
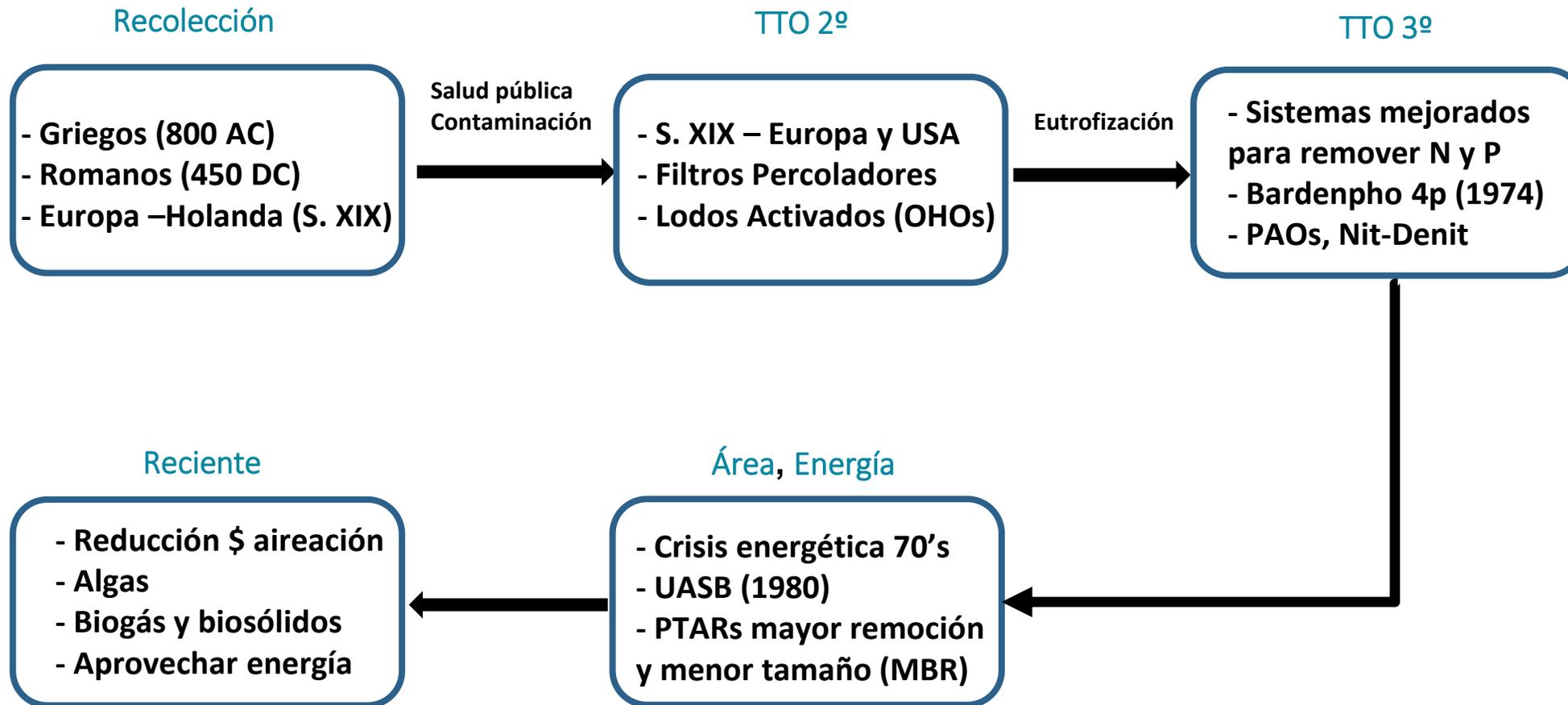


GENERALIDADES AGUAS RESIDUALES



**Sistema Liernur,
Ámsterdam, año 1900**

Historia – Aguas Residuales





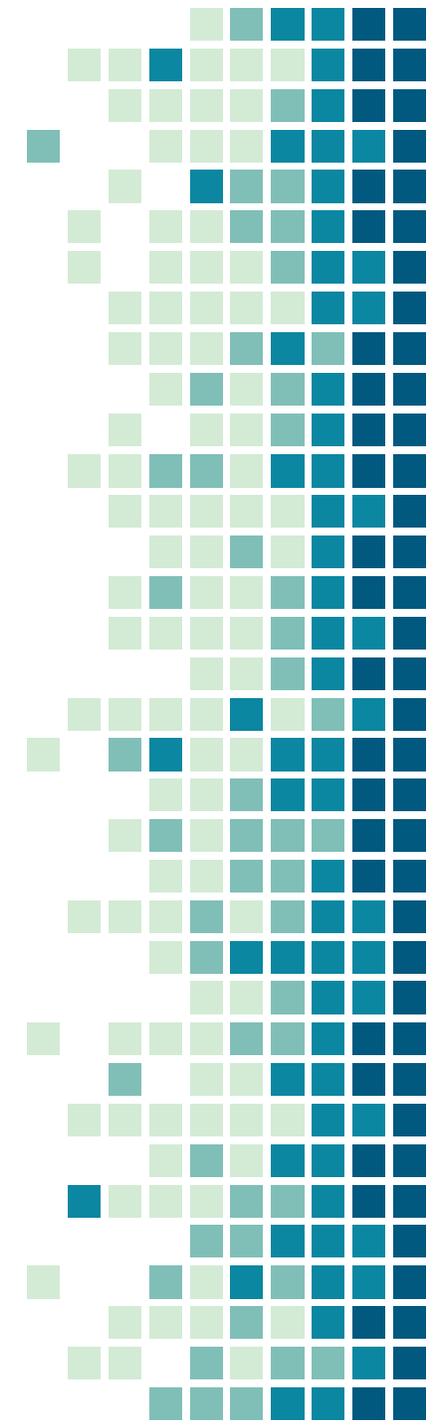
TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Domésticas (ARD)

Industriales (ARI)

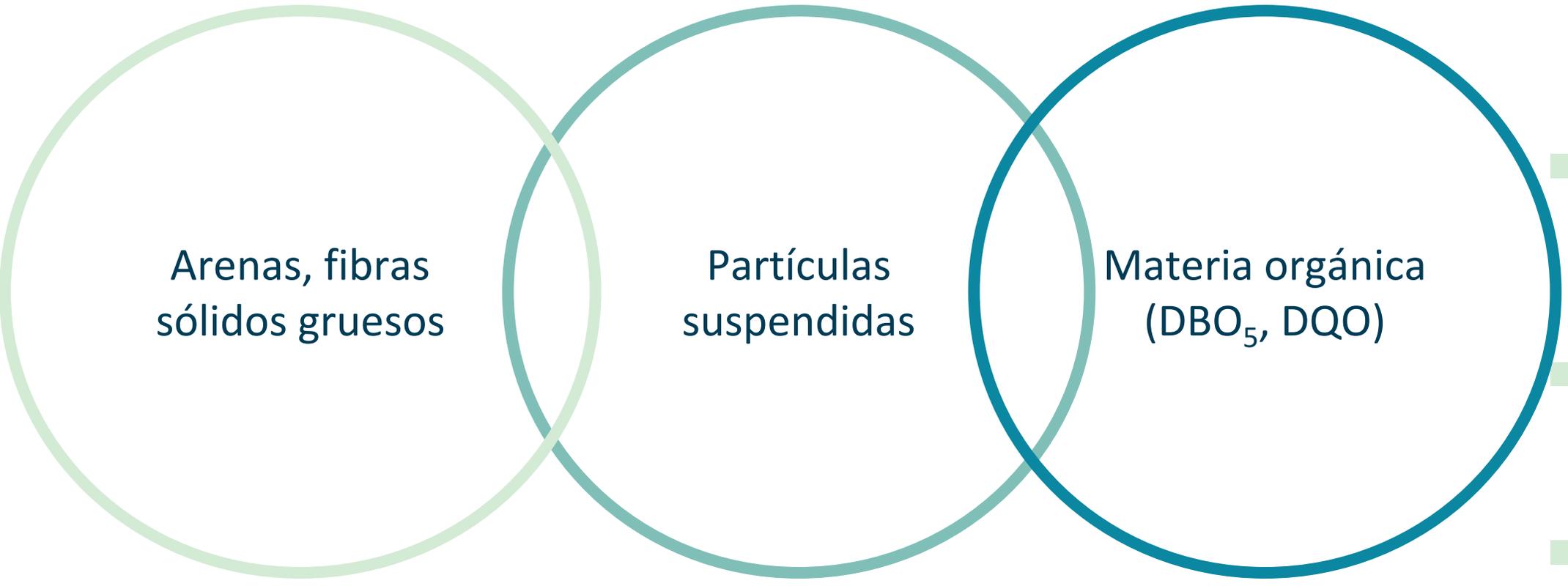
Lluvias-urbanas

Combinadas



CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES (I)

¿Qué se remueve en un tratamiento convencional?



Arenas, fibras
sólidos gruesos

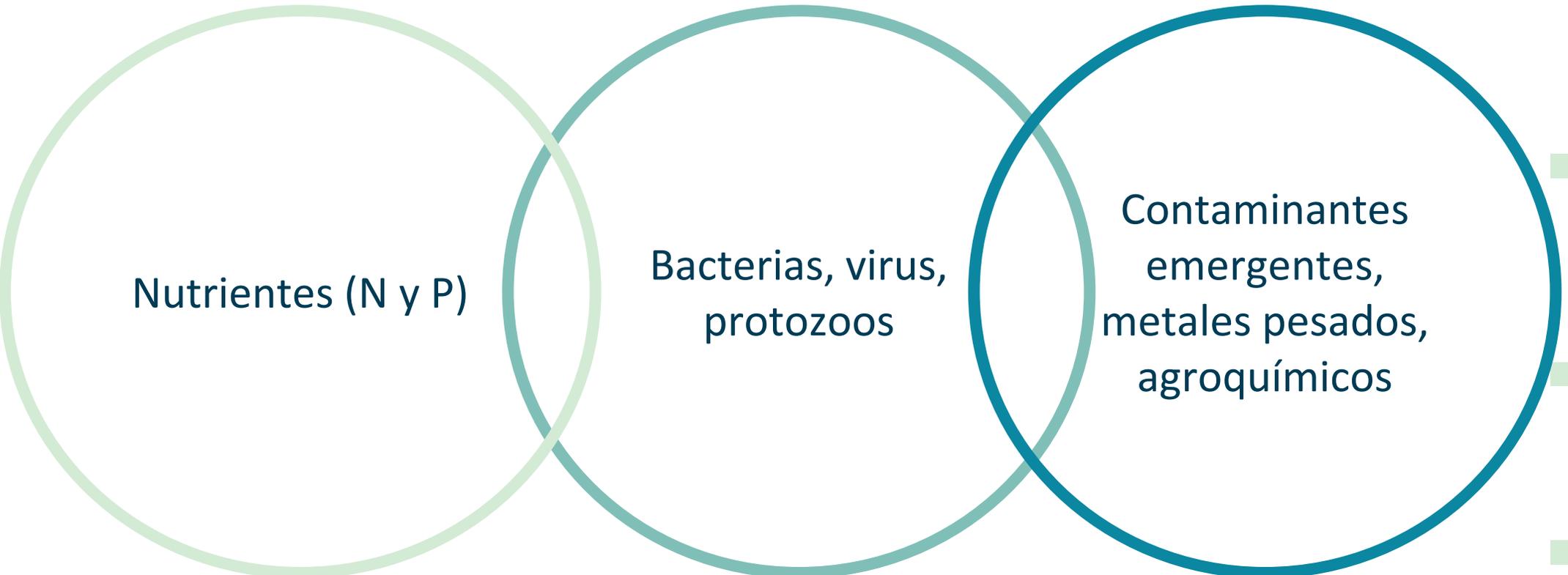
Partículas
suspendidas

Materia orgánica
(DBO_5 , DQO)



CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES (II)

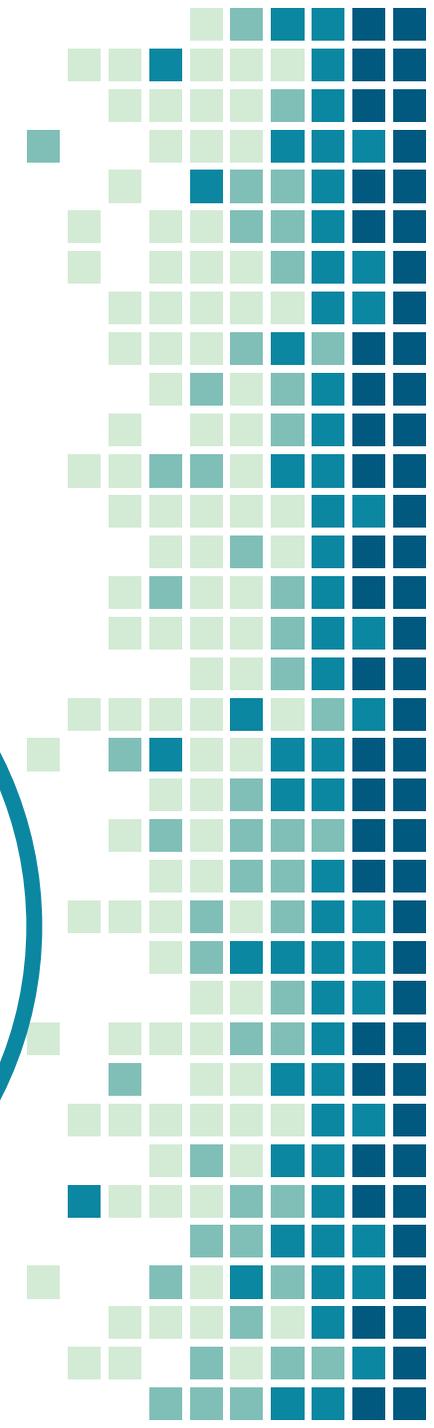
¿Qué es necesario remover en algunos casos?



Nutrientes (N y P)

Bacterias, virus,
protozoos

Contaminantes
emergentes,
metales pesados,
agroquímicos



CONTAMINANTES DE LOS LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Materia orgánica
que puede
degradarse (SSV)

Metales pesados
(Hg, Cd, As, Pb, Cu,
Ni...)

Virus, bacterias,
helmintos



EFFECTO AMBIENTAL DE LOS CONTAMINANTES

¿Qué efectos tienen los contaminantes en los ecosistemas?



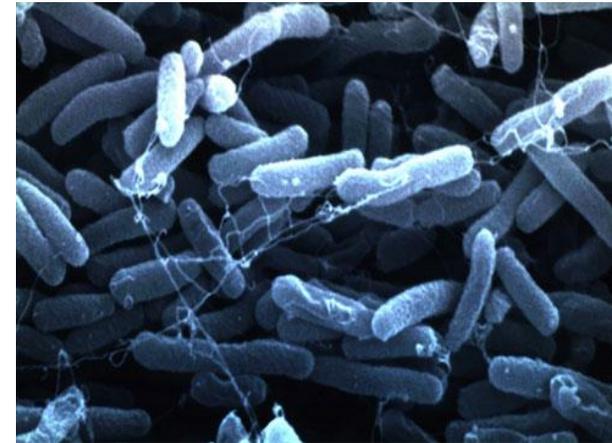
C-Materia orgánica:

- Agota el OD
- Muerte peces y organismos



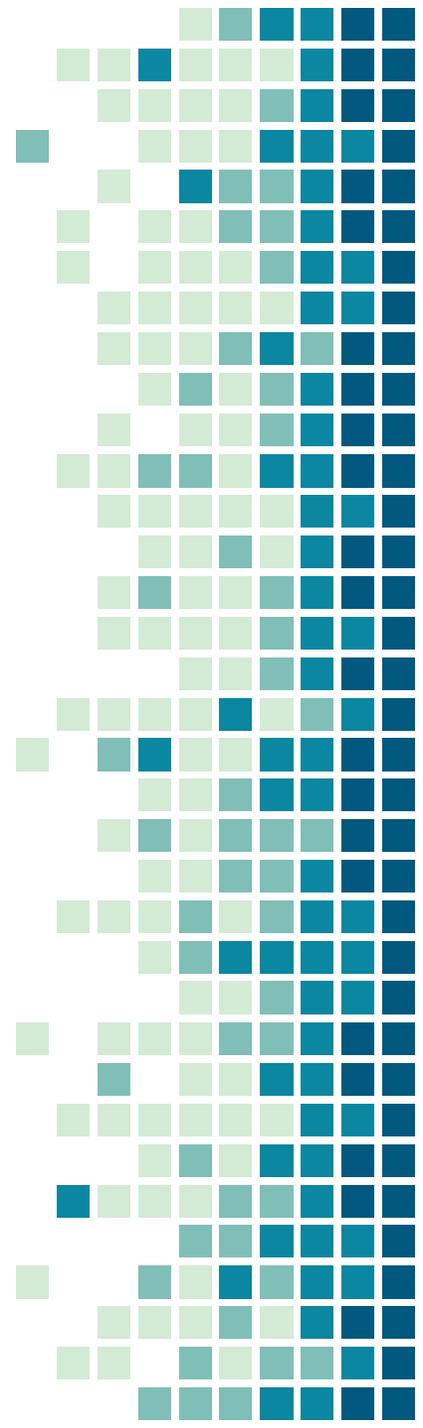
N,P-Nutrientes:

- Agotan el OD
- Eutrofización de cuerpos de agua (altas concentraciones)

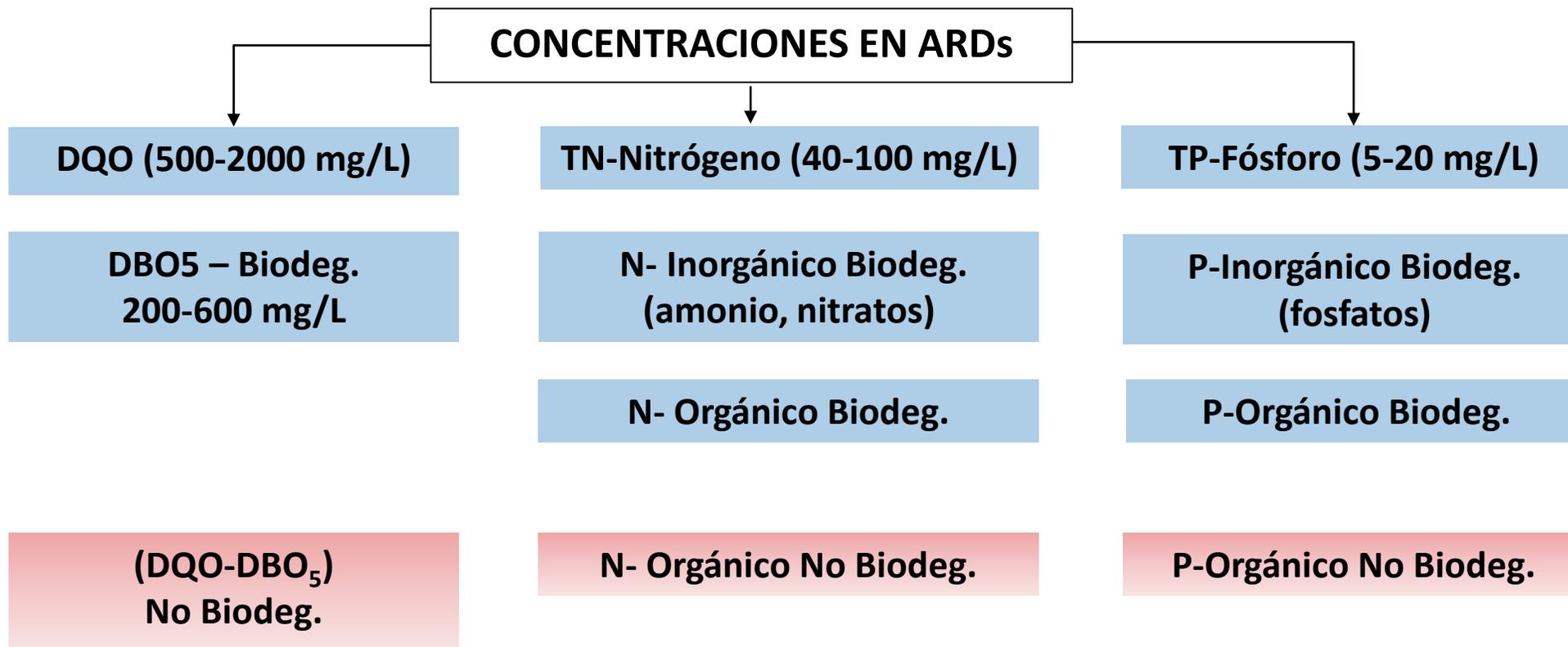


Microorganismos:

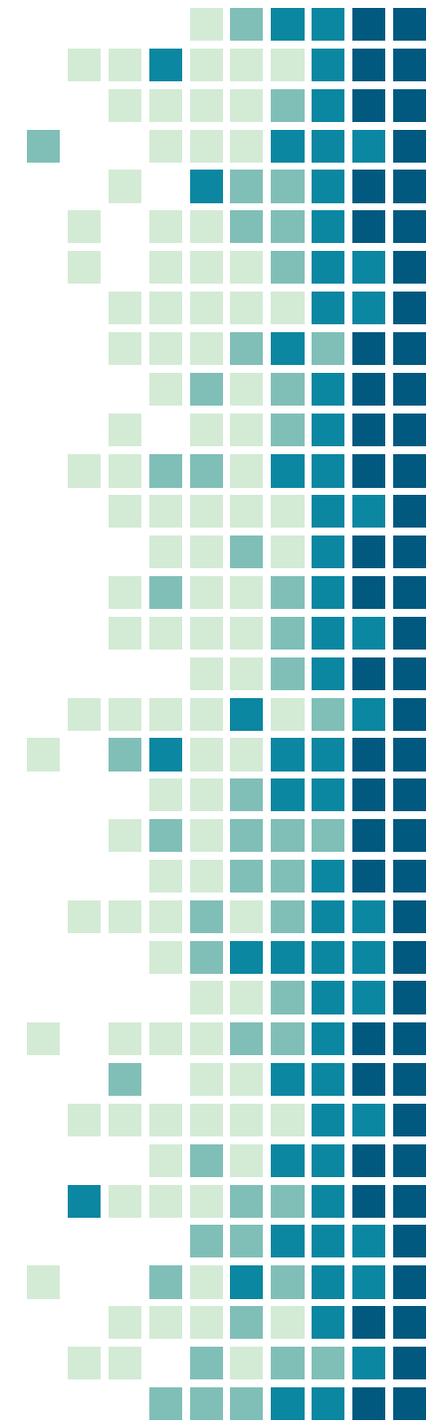
- Problemas de salud pública
- Alteración ecosistemas



CONCENTRACIONES TÍPICAS EN AGUAS RESIDUALES

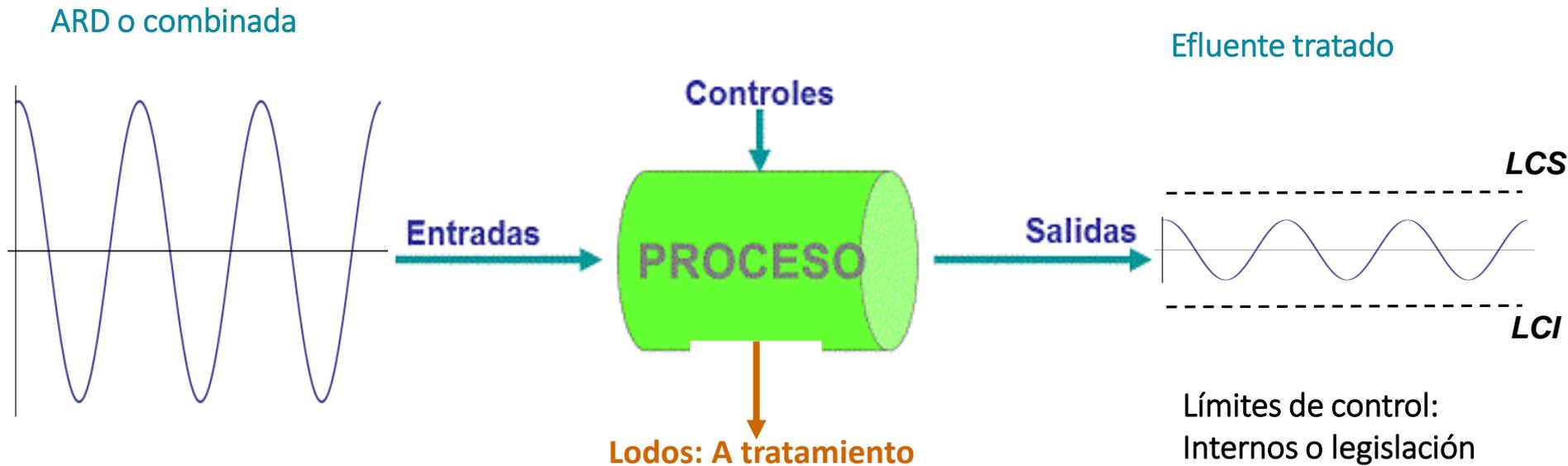


* Existen contaminantes emergentes, metales pesados, agroquímicos, compuestos orgánicos, entre otros, que deben removerse en casos específicos – Presencia de ARI.



PROCESO DE TRATAMIENTO

- **Proceso entradas/salidas variables:** Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
- **Producto:** Agua tratada que se vierte a cuerpos de agua o se reutiliza
- **Límites control:** cada país establece estándares para el efluente (LMPs, % remoción)

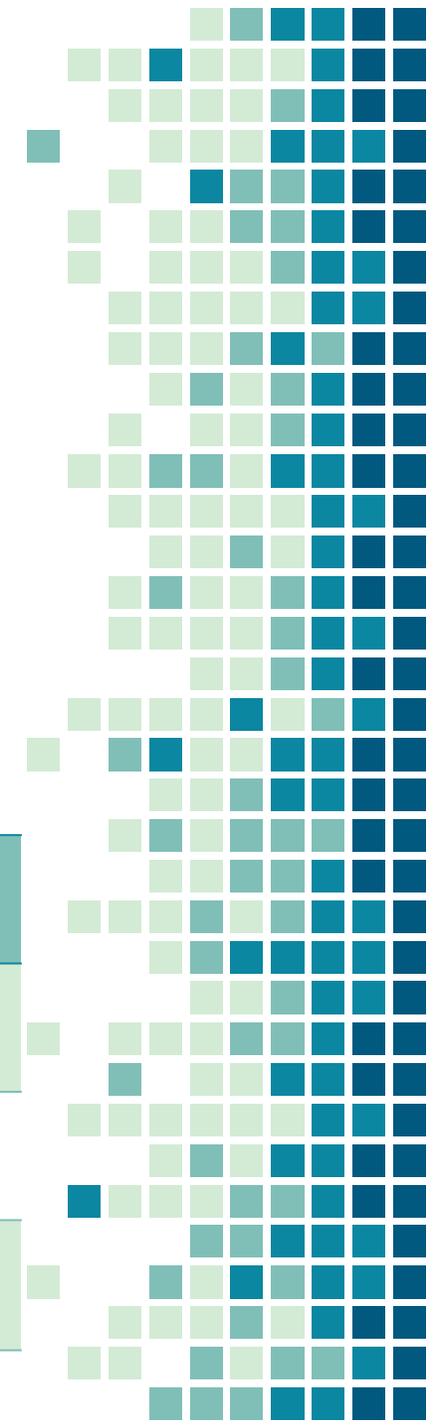




GRADOS DE TRATAMIENTO

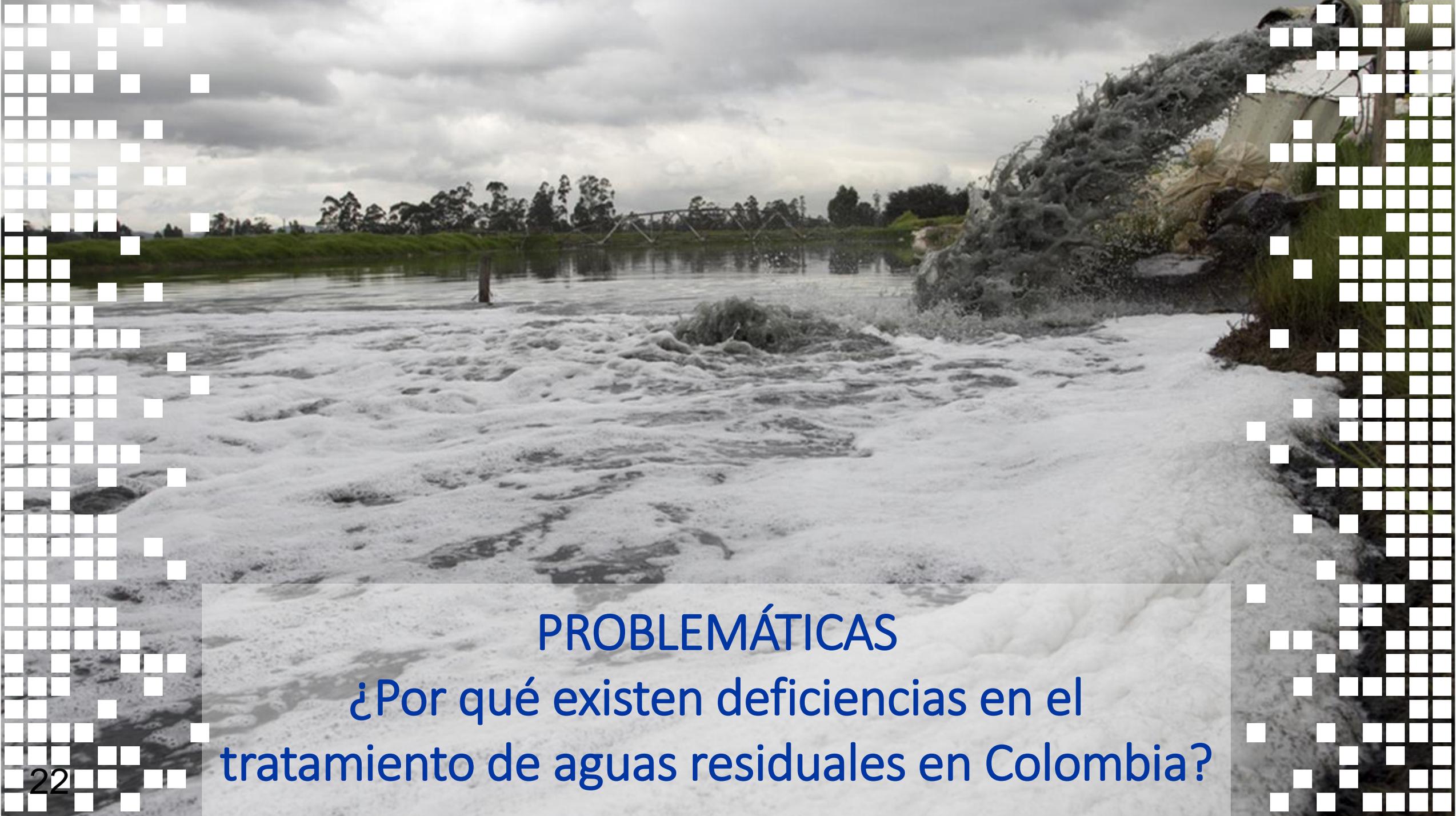
Existen niveles de tratamiento según la remoción de DBO_5 , TN y TP:

	DBO_5	TN	TP
Primario	25-40%	-	-
Secundario	90-95%	15-30%	10-25%
Terciario	98-99%	60-90%, TN<15	30-90%, TP<4





TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA



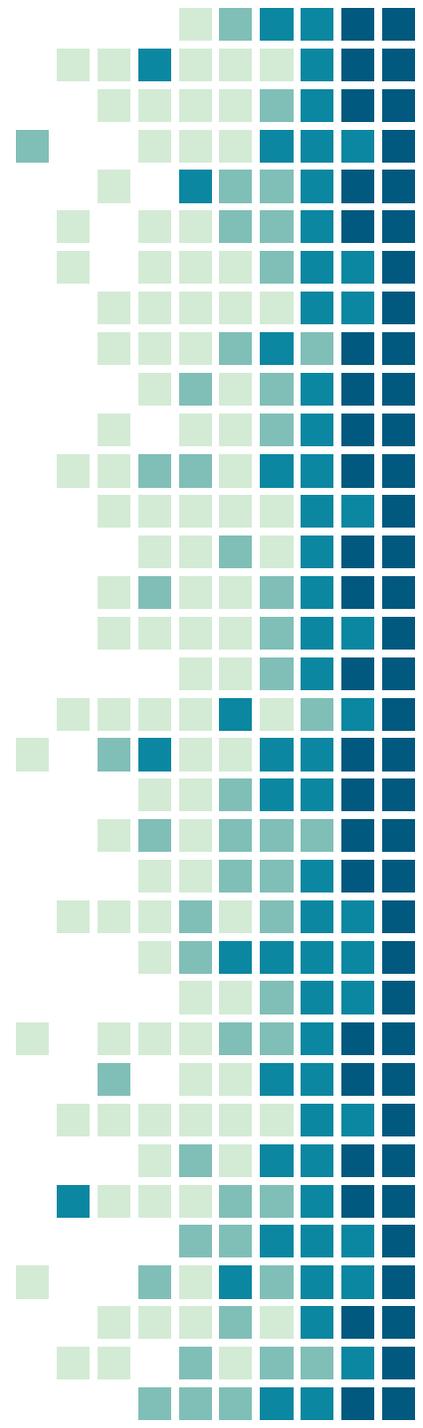
PROBLEMÁTICAS

¿Por qué existen deficiencias en el tratamiento de aguas residuales en Colombia?



PROBLEMÁTICAS TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES - Colombia

1. Baja Cobertura
2. Incumplimiento en la normatividad
3. Operación inadecuada
4. Atraso en infraestructura
5. Descuido zonas rurales
6. Falta recursos económicos/humanos





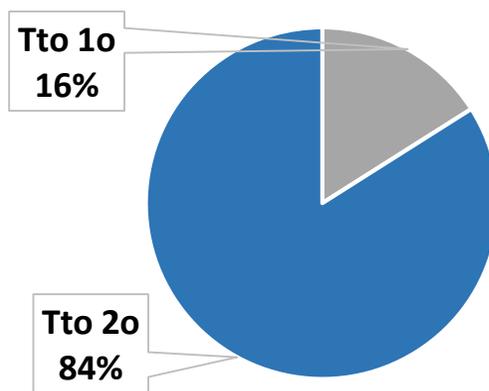
Lodos Activados,
San Fernando EPM



Lagunas de estabilización La
Yuquita, Turbo (Ant), EPM

SANEAMIENTO EN COLOMBIA-Cifras

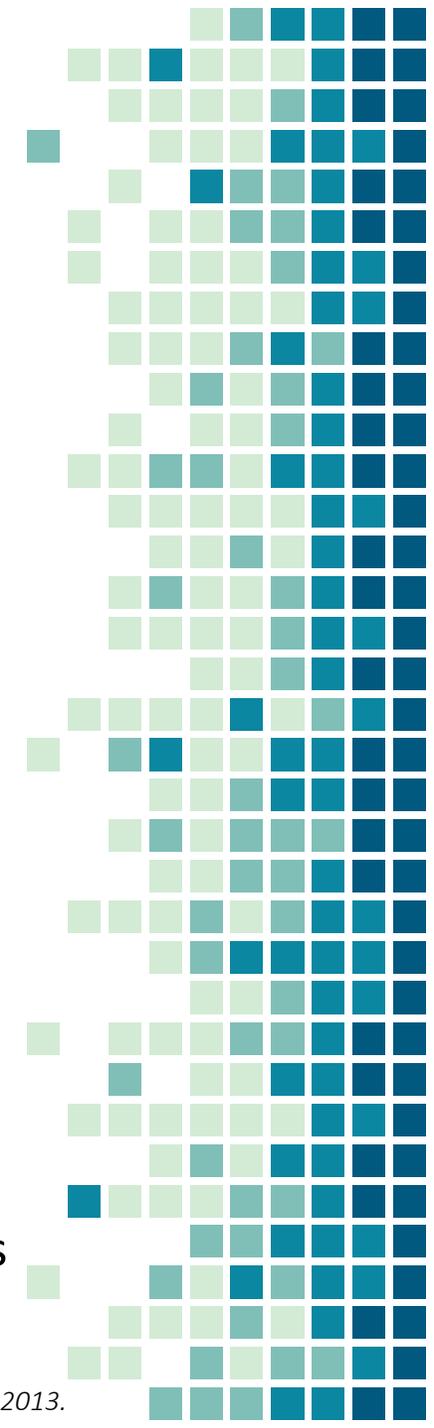
PTARs en funcionamiento Colombia



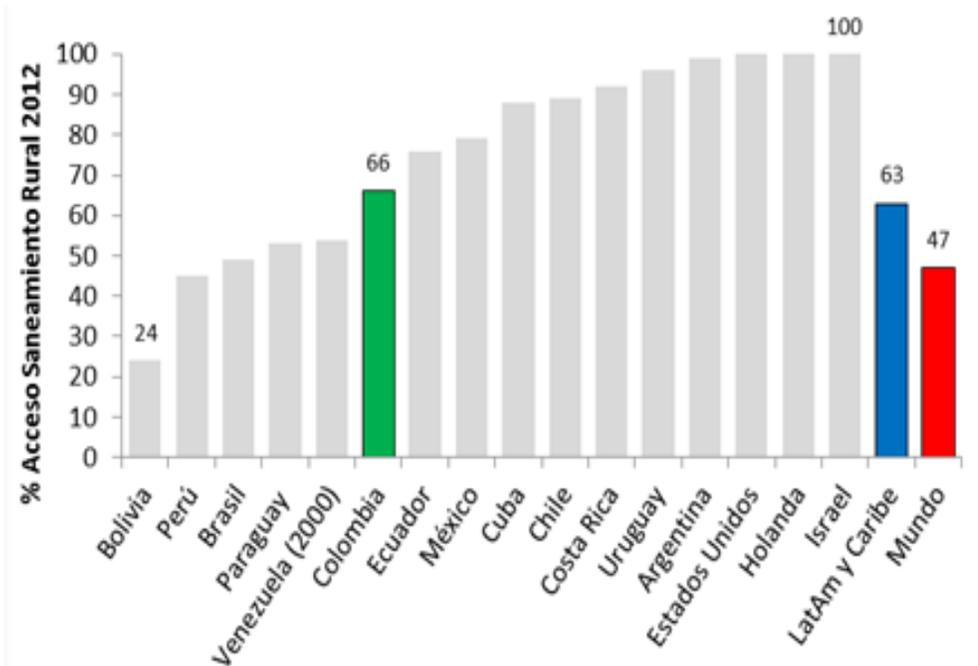
Tto 3º: ¡No existe aún!

¿Si opera de manera adecuada el tratamiento 1º y 2º?

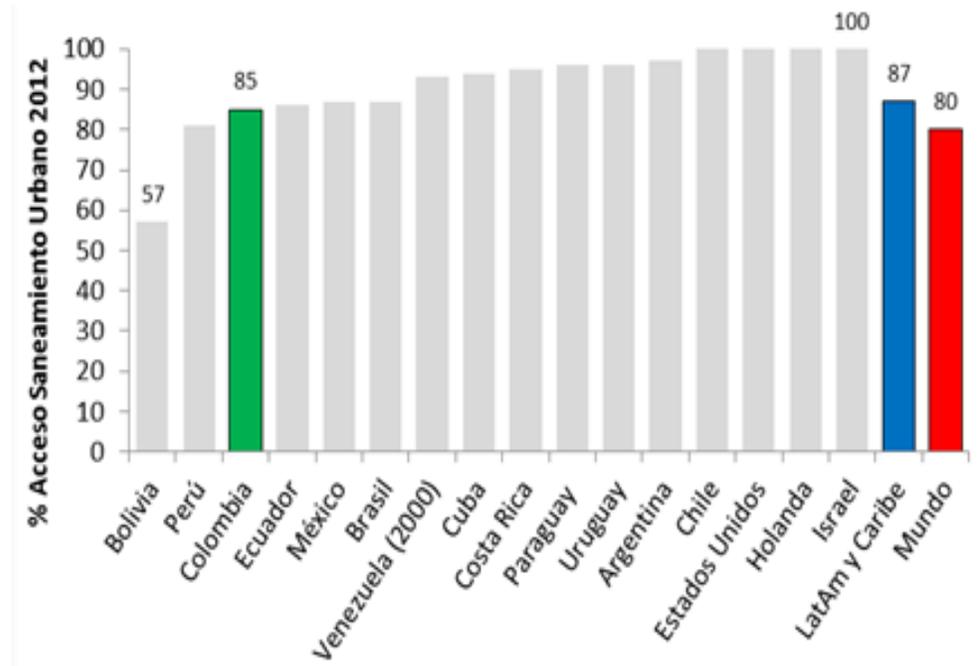
- Más de 40 m³/s de AR vertidas sin tratamiento
- Más de 1300 cuerpos de agua contaminados
- Más del 75% de los Municipios sin PTARs, algunos operan mal o no operan



LATINOAMÉRICA: Acceso Saneamiento Básico Mejorado

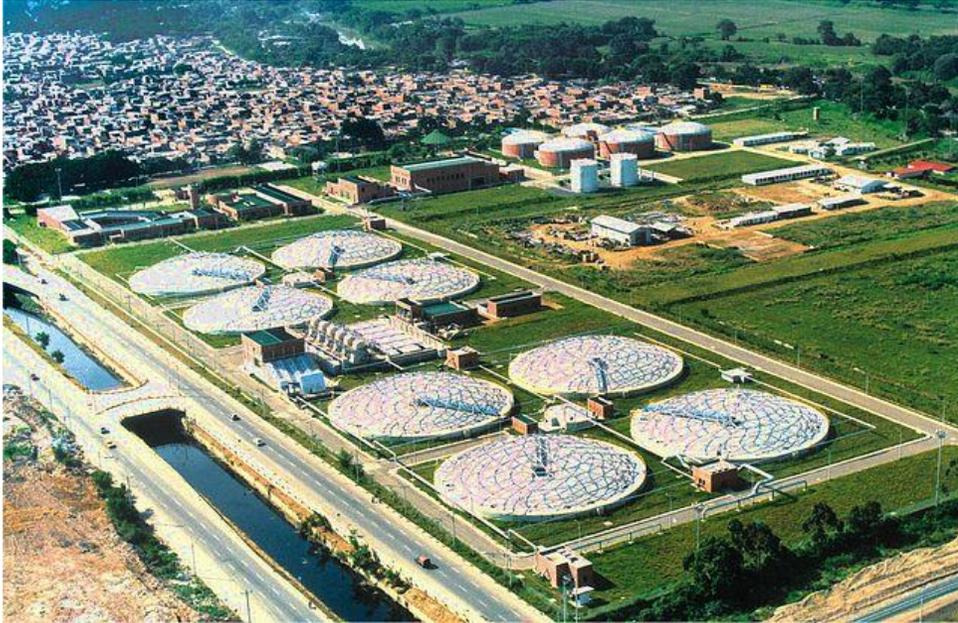


Rural



Urbano

Mayores PTARs Colombia



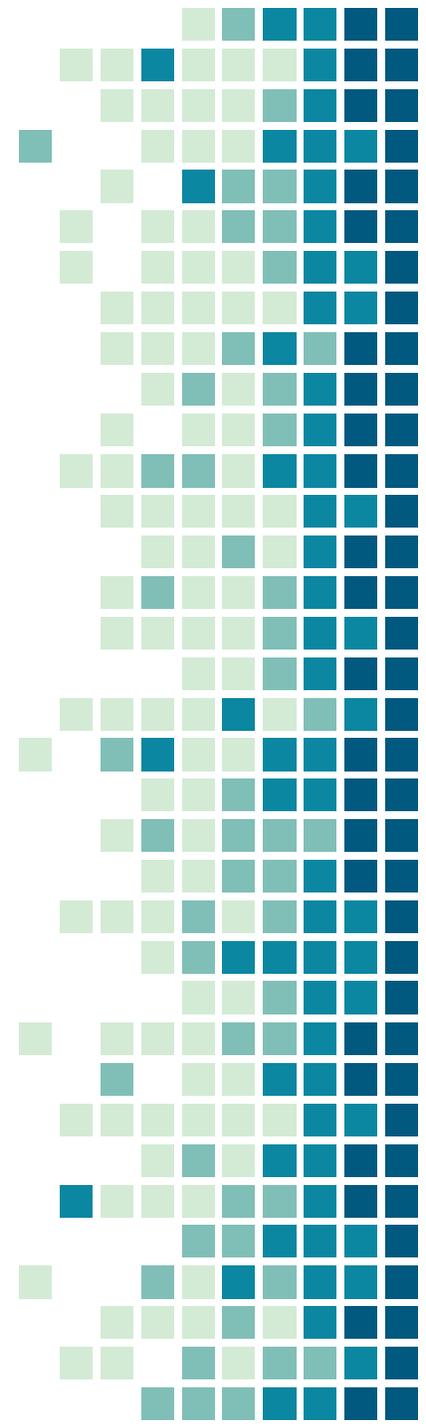
PTAR Cañaveralejo Cali

- Caudal promedio: 7,6 m³/s
- Tto 1º avanzado
- Remoción de SST/DBO₅: 68%/47%
- Digestión anaerobia lodos primarios
- Cobertura cerca del 85% de la ciudad



PTAR Salitre Bogotá

- Caudal medio/máximo: 4,0/9,9 m³/s
- Tto 1º avanzado, separación aguas lluvias
- Remoción de SST/DBO₅: 60%/40%
- Digestión anaerobia lodos primarios
- Población atendida: ≈2,2 M habitantes



Mayores PTARs Colombia (II)



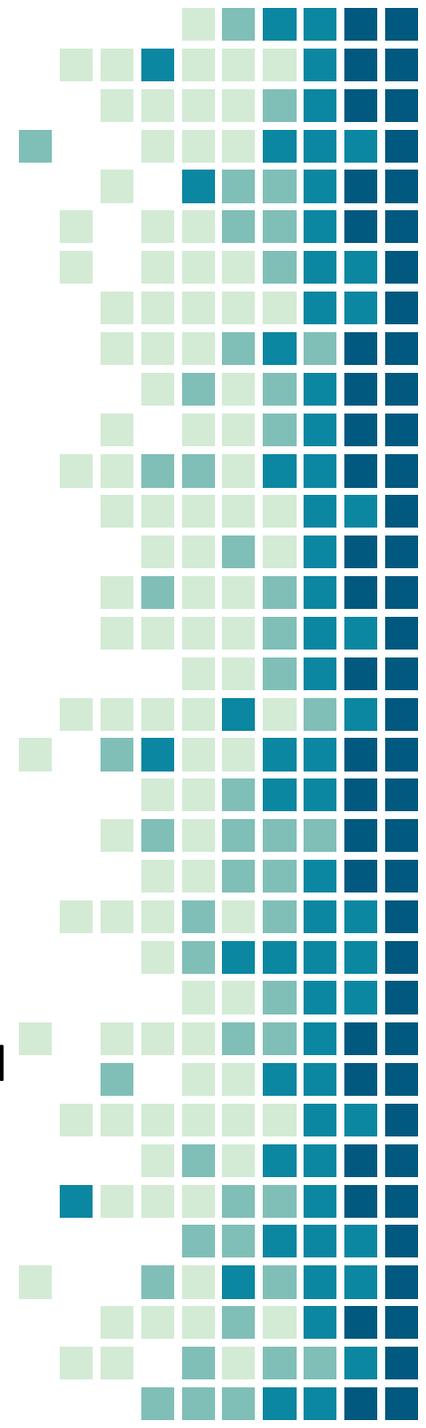
PTAR San Fernando – Medellín (EPM)

- Caudal promedio: 1,2 m³/s. 30% de la ciudad
- Tto 2º. Remoción de SST/DBO₅ > 80%
- Digestión anaerobia lodos 1º y 2º
- Proyectos modernización/ampliación (en ejecución) 1,8 m³/s, posible remoción nutrientes



PTAR Aguas Claras – Medellín (EPM)

- Caudal medio: 5,0 m³/s. 65% de la ciudad
- Tto 2º. Remoción de SST/DBO₅ > 80% posibilidad de remover Nitrógeno.
- Digestión anaerobia lodos 1º y 2º
- Secado térmico de lodos
- Cobertura: 65% de la ciudad



Mayores PTARs Colombia (III)



Otros – Tto 2º

- **PTAR El Pueblo** – Barranquilla: 1,1 m³/s, lagunas de estabilización
- **PTAR Rio Frío** – Bucaramanga: 475 L/s, UASB y lagunas facultativas (en modernización)



Mega proyectos

- **Canoas (Fase I)**: Tto 1º avanzado 14,0 m³/s
- **Ampliación El Salitre**: Tto 2º. 8,0 m³/s
- **Ampliación Cañaveralejo**: Tto 2º. 3,8 m³/s

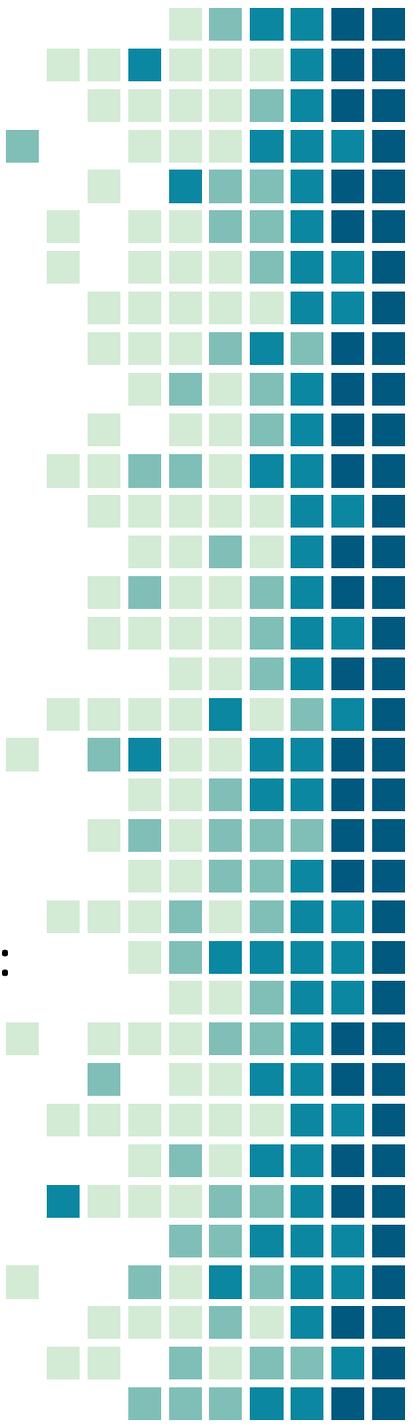


Tratamiento Terciario - Colombia

No existe tratamiento 3º de ARD en Colombia

Tratamiento 3º:

- Remoción superior de N y P. Evita EUTROFIZACIÓN de cuerpos de agua
- Alta remoción de nutrientes y patógenos
- En la UE es obligatorio para “ Áreas Sensitivas”:
DBO₅/TN/TP efluente < 50/10/2 mg/L
- En Israel, EEUU para REÚSO
- Iniciativas: Proyecto PTARs Valle San Nicolás EPM



Normatividad Colombiana Aguas Residuales

RESOLUCIÓN 631 de 2015

Valores máximos permisibles (VMP):

Vertimiento a cuerpos de agua o al alcantarillado (Factor 1,5)

Análisis y Reporte: podrán ser solicitados por la AA a futuro

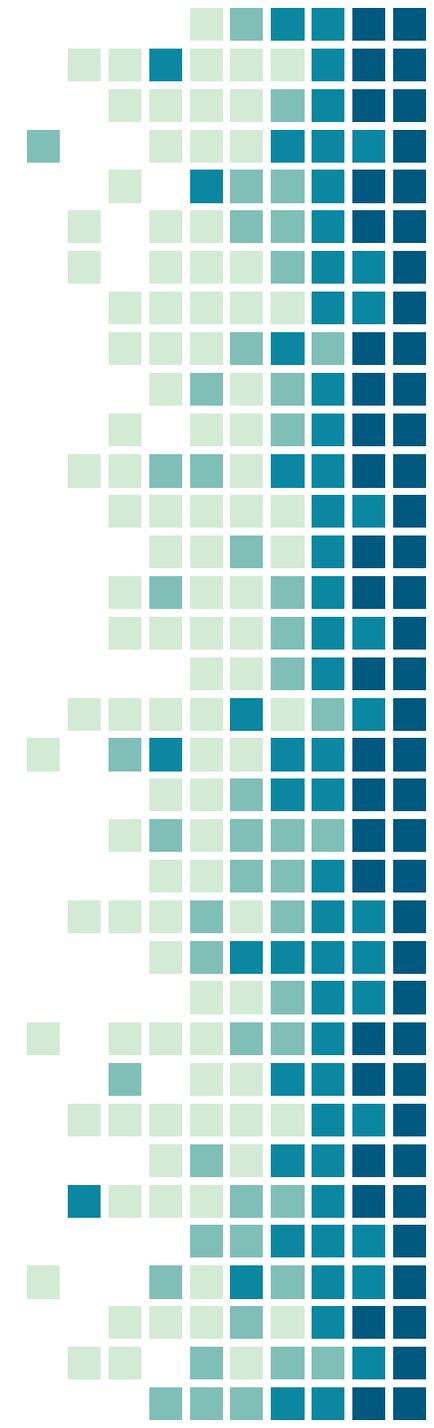
Clasificación: por actividad industrial (ARIs Y ARDs)

RAS

Criterios diseño sistemas de tratamiento de AR centralizados y no centralizados (2017)

CONPES 3810/2014

Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural



Resolución 631/2015 - Aguas Residuales Domésticas (ARDs)

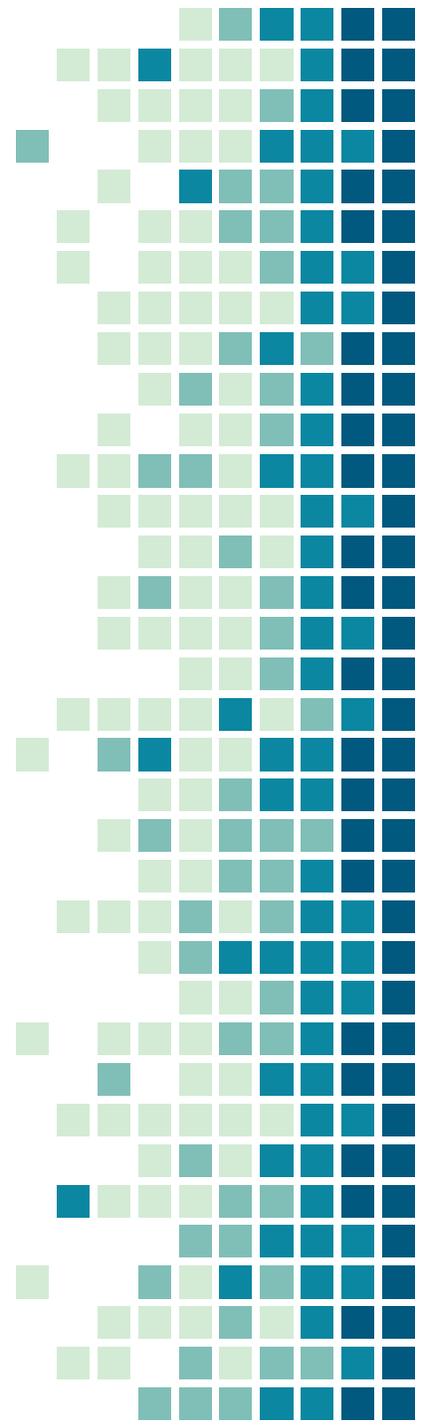
Clasifica los requerimientos según carga de DBO_5 vertida. Para cargas mayores a 3000 kg/d DBO_5 en ARDs se exigen los siguientes **VMPs**:

- **DQO y DBO_5** : 150 y 70 mg/L
- **SST y Ssed**: 70 mg/L y 5 mL/L
- **GyA**: 10 mg/L
- **Cianuro total**: 0,5 mg/L
- **Metales** (Zn, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Cd): valores específicos
- **pH**: 6,0-9,0

Los siguientes parámetros son para **Análisis y Reporte**:

- Hidrocarburos totales, fenoles
- SAAM (detergentes y jabones)
- Compuestos de Nitrógeno y Fósforo
- Iones (Cl^- , SO_4^{2-} , S^{2-})
- Metales: Al, Fe, Ag
- Alcalinidad, dureza

*No existen VMPs para nutrientes (N y P)
No se exige tratamiento terciario*



Normatividad Colombiana- Lodos generados

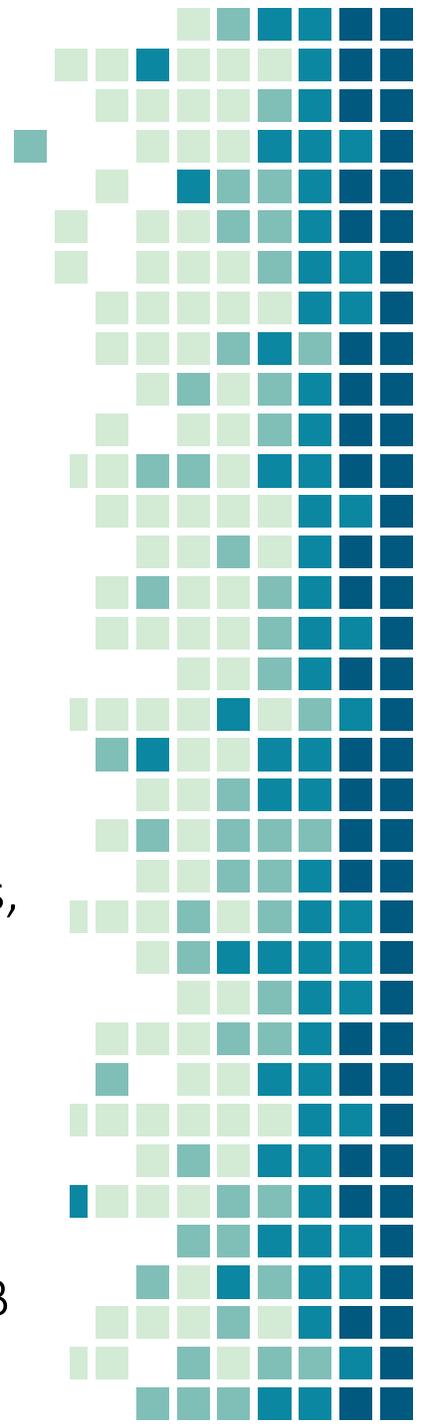
Corriente líquida: Se recircula al proceso

Decreto 1587 de 2014:

- **Clasificación de biosólidos:** Tipo A y B. VMPs más exigentes para Tipo A
- **VMPs Metales:** As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn. En mg/Kg SS
- **VMPs Microbiológicos:** Coliformes totales, huevos de helminto viables, *Salmonella sp.*, virus entéricos. En Uds./g SS

Usos potenciales de los Biosólidos:

- **Tipo B:** Agricultura aplicado al suelo, plantaciones forestales, recuperación de suelos, insumo para fabricación de fertilizantes o materiales de construcción, estabilización de taludes, rellenos sanitarios y escombreras, valorización energética
- **Tipo A:** En cementerios, separadores viales, jardines, arborización, agricultura. Los mismos usos de Tipo B



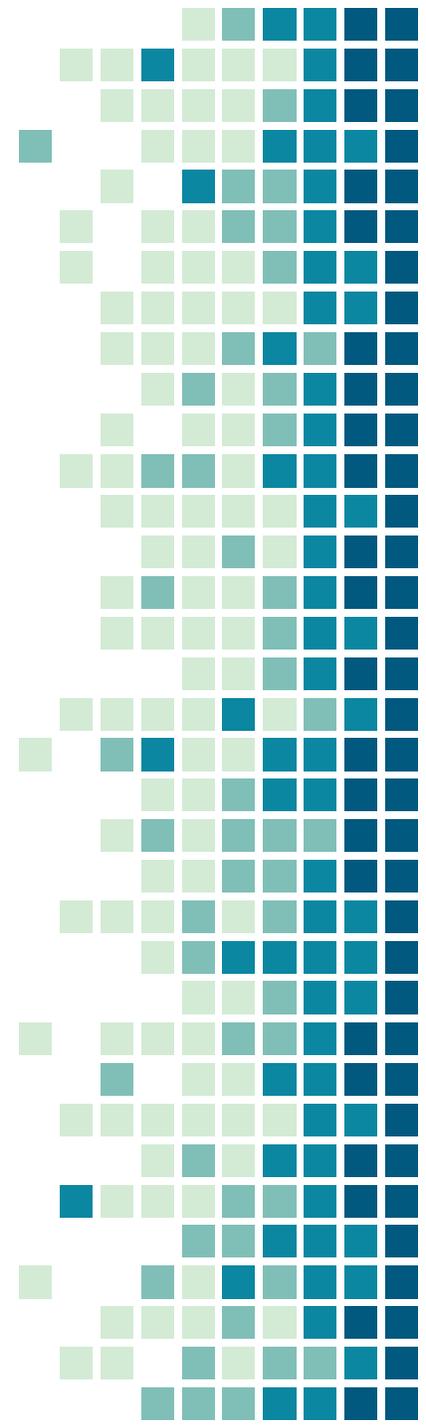
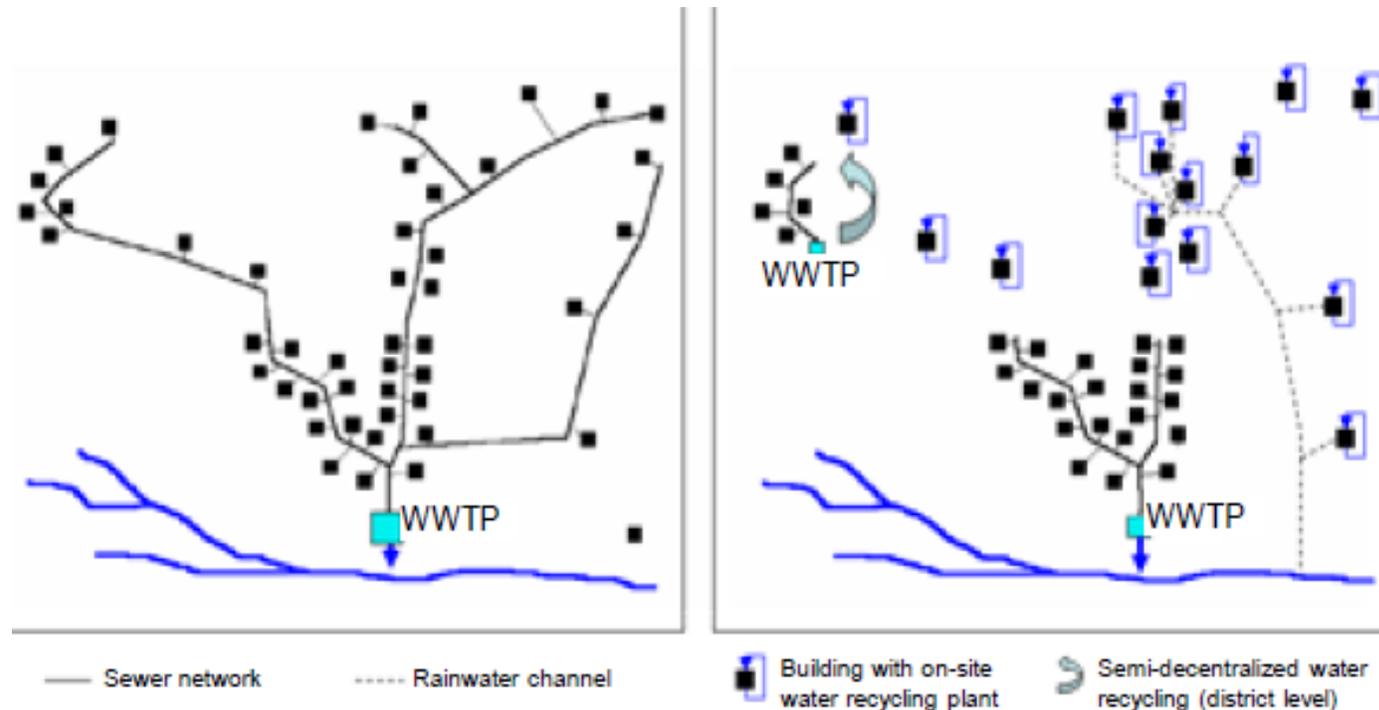


TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

¿Tratamiento Centralizado o Descentralizado?

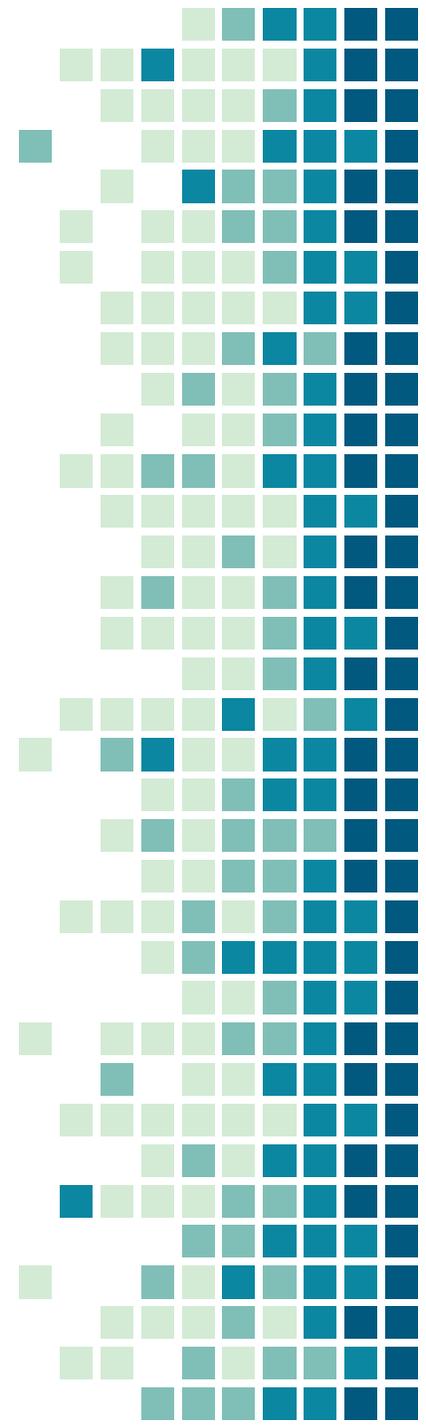
Descentralizado puede ser:

- Por recolección
- Solución individual
- Desde el punto de vista del manejo, financiero o institucional

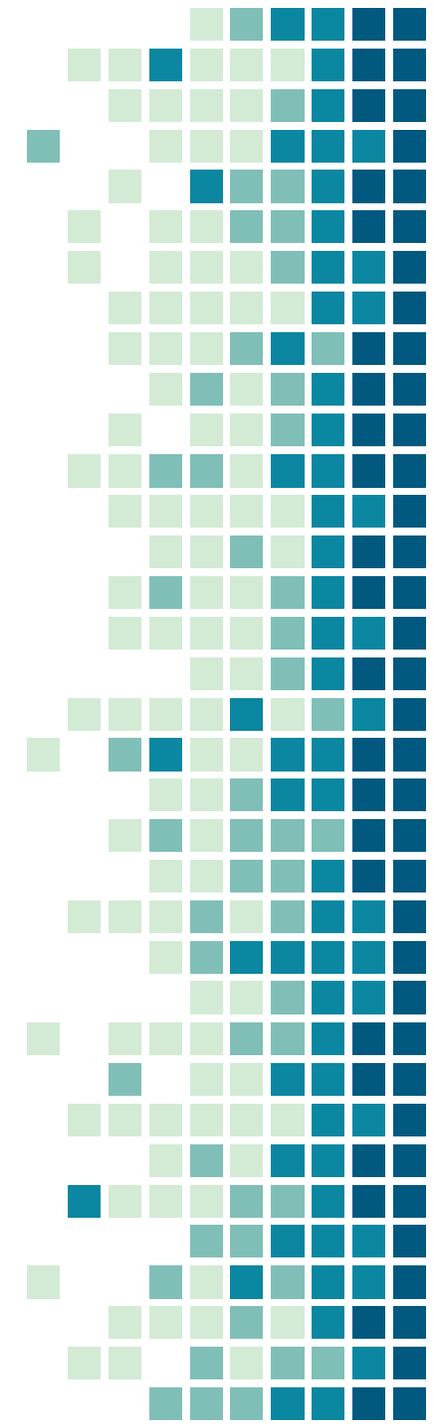
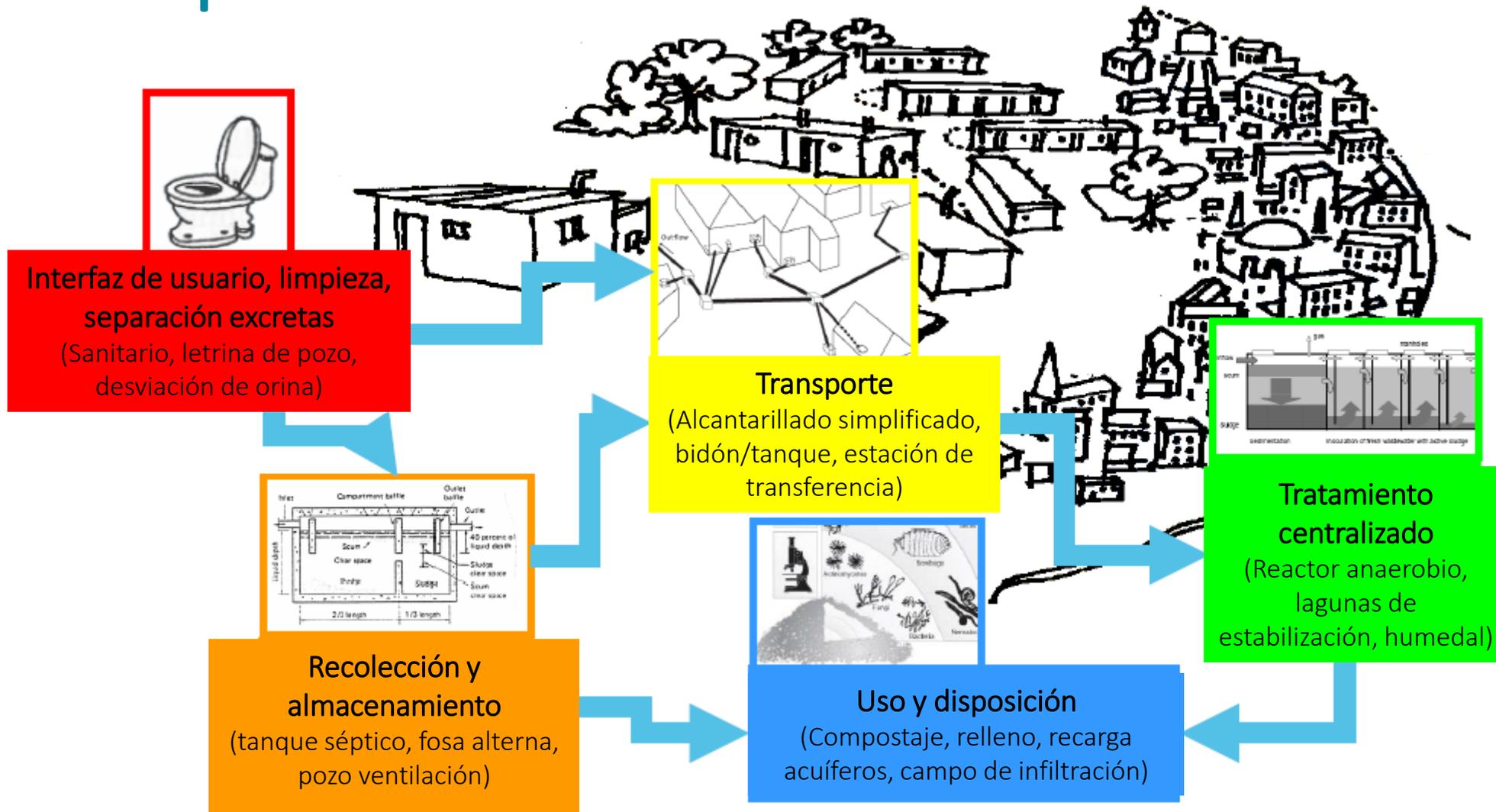


¿Tratamiento Centralizado o Descentralizado? (II)

TIPO DE TRATAMIENTO	NIVEL DE TRATAMIENTO	CRITERIOS DECISORES		
Centralizado	Primario	\$	Q	Área Disponible
Descentralizado	Secundario	Operación Sistema	Ubicación	Infraestructura complementaria (interfaz, recolección, transporte, disposición, final)
	Terciario			



Tratamiento e infraestructura complementaria

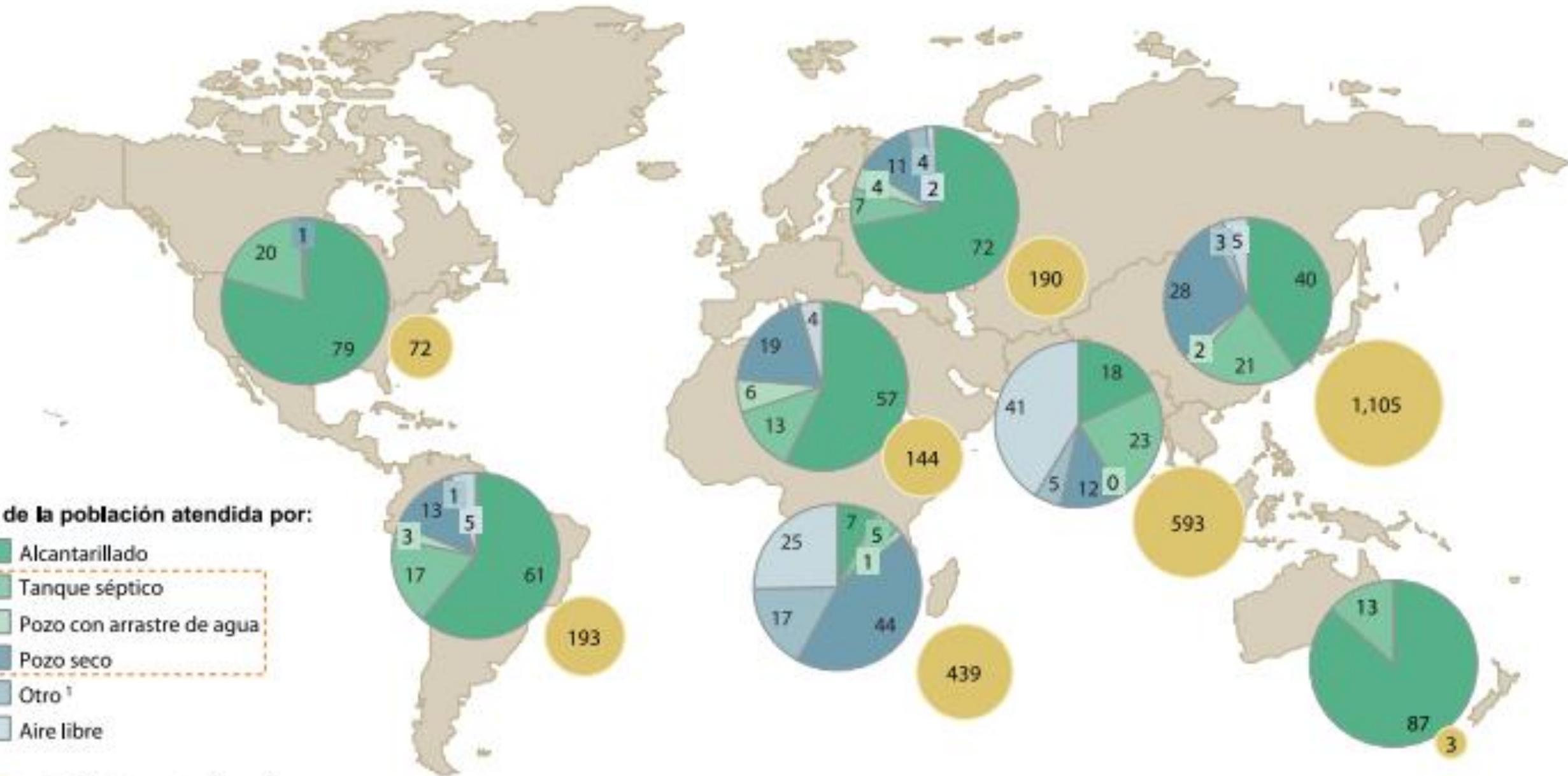




¡El tratamiento descentralizado a veces puede ser la única opción!

Caso: *Flying toilets* – Kenia.





NO todas las soluciones de saneamiento son convencionales o centralizadas. Por ejemplo, 2.700 millones de personas en el mundo son atendidas por saneamiento que requiere manejo de lodos fecales (MLF).



Tratamiento Primario

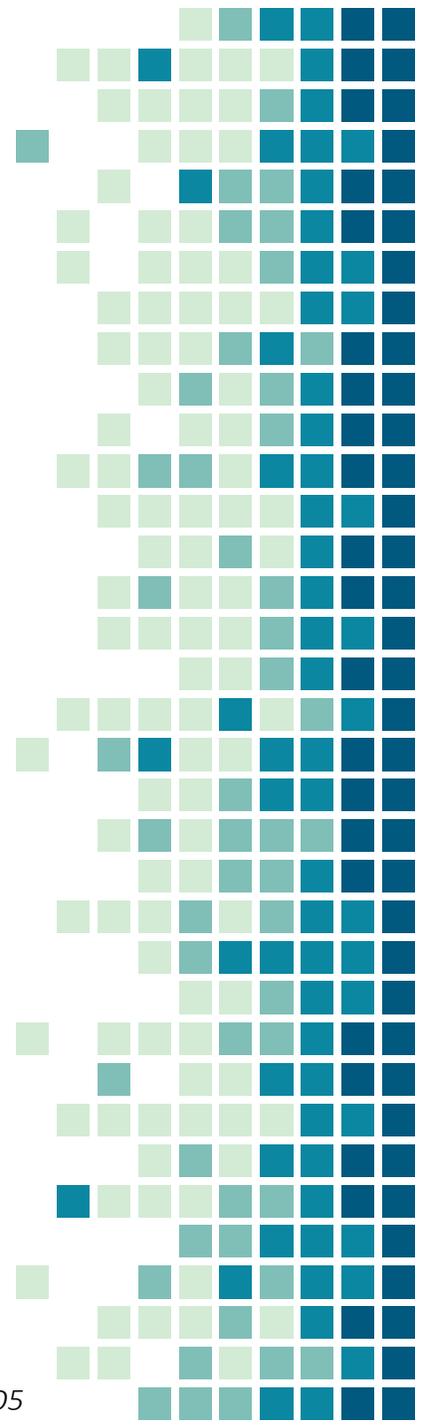
Caso: COLOMBIA

Descentralizados

- Letrinas (aboneras , pozo elevado, solar)
- Campo de infiltración, humedal artificial
- Tanque séptico (% Rem. DBO_5 : 30-40%)

Centralizados

- PTARs con cribado, desarenado y sedimentación 1a.
- PTARs con tratamiento 1o avanzado (remoción de DBO_5 y SST, hasta 60%)



Tratamiento Secundario

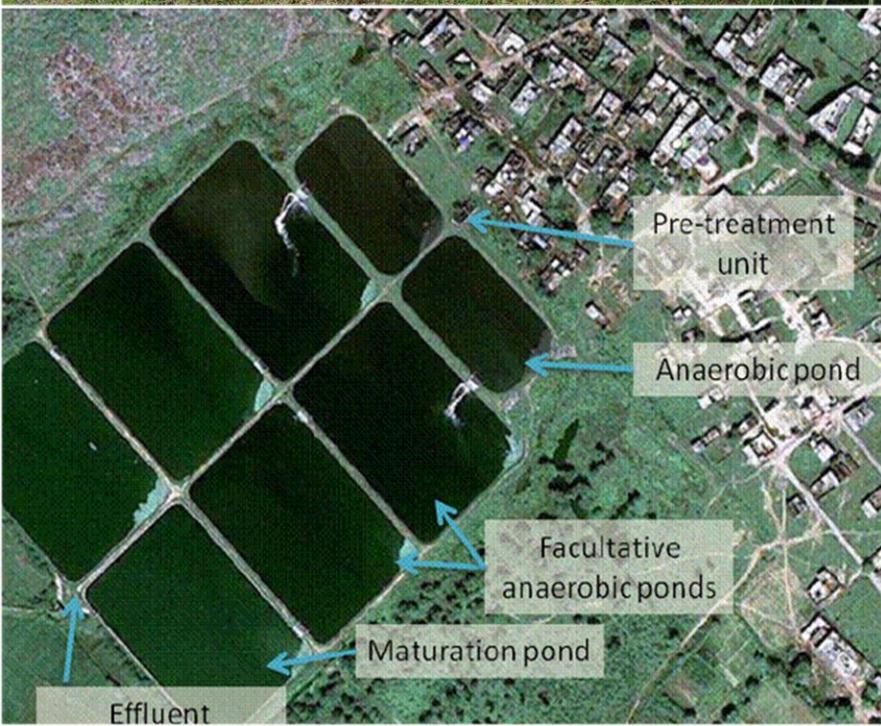
Caso: COLOMBIA

Descentralizados

- Tanque séptico integrado (% Rem. DBO_5 : 50-90%).
Caso Palmitas EPM
- Reactor anaerobio con deflectores
- FAFA (bien operado)

Centralizados

- Filtro percolador
- Lagunas de estabilización (An+Fac+Mad)
- Sistemas integrados con lagunas y UASB
- Lodos activados (LA) y sus modificaciones



Remoción de Nutrientes (tecnologías maduras)



LA con nitrificación - desnitrificación

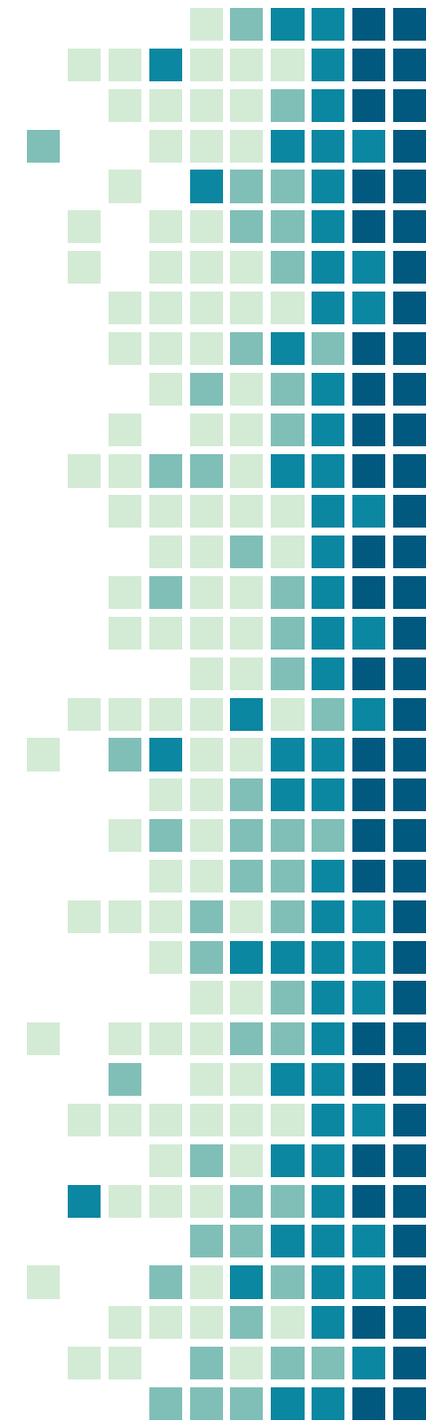
PTARs con aireación y zonas no aireadas que pueden ser intercaladas para remoción de nitrógeno. Alcance de tratamiento secundario



LA Modificados

Configuraciones de tratamiento con zonas anaerobias y anóxicas (A₂O, Bardenpho 5 etapas, UCT, VIP). Alcance de tratamiento terciario

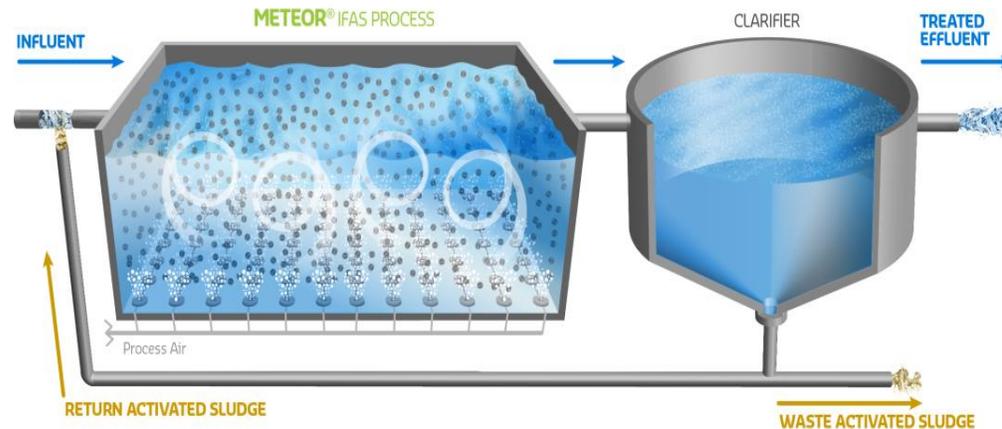
Remociones Tto 3º: 98-99% DBO5, 60-90% TN, 30-90% TP



Remoción de Nutrientes (II)



PTAR Harnaspolder (Holanda). A2O. 2200 L/s.
DBO5/TN/TP < 20/10/1 mg/L
Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Process



SBR: Reactores secuenciales

Operación por ciclos. Costos de inversión bajos comparados con otras alternativas, alto costo energético por aireación, carga orgánica limitada

Lodos activados+MBBR (IFAS, AGAR):

MBBR: *Moving bed biofilm reactor*
Biomasa inmovilizada (Israel, USA). Diseño simple, mano de obra especializada, remoción limitada biológica de P

Remoción de Nutrientes (III)



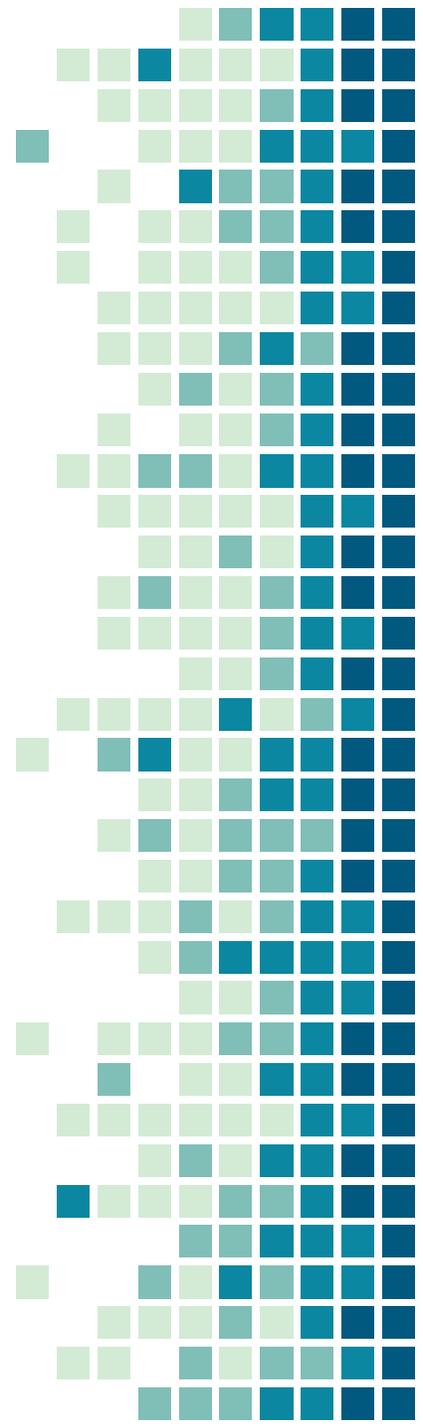
LGA: Lodo granular aerobio

Sistema Nereda - Holanda. Opera como SBR, poca área, 20% red. Energía, alta remoción de N y P. Tecnología reciente



Reactores de membrana - MBR

Reactores con membranas internas para separar el agua tratada, poca área, mayor concentración microorganismos (2-5 veces la de lodos activados convencionales)





¿Es posible remover nutrientes de las ARDs
biológicamente? ¿químicamente?

Proceso Biológico

Grupos de bacterias:

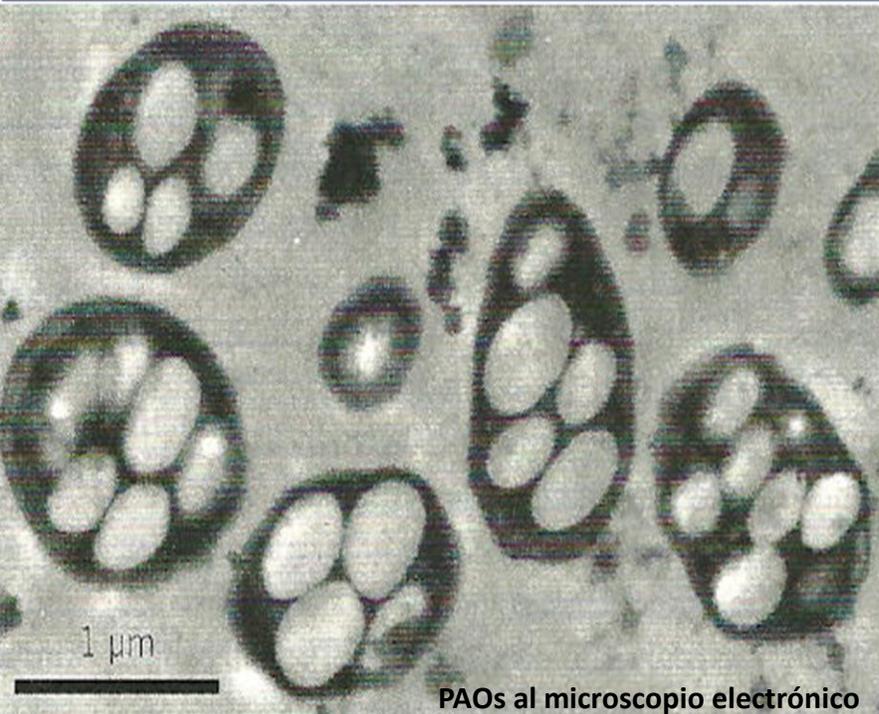
- **OHOs:** ordinarios heterótrofos - Aerobios. Presentes en sistemas convencionales aerobios de Lodos Activados
- **PAOs:** Acumuladoras de fósforo (Poly-P) - Anaerobios/Aerobios
- **NIT:** Nitrificantes - Aerobios
- **DESNIT:** Desnitrificantes - Anóxicos

Condiciones ambientales:

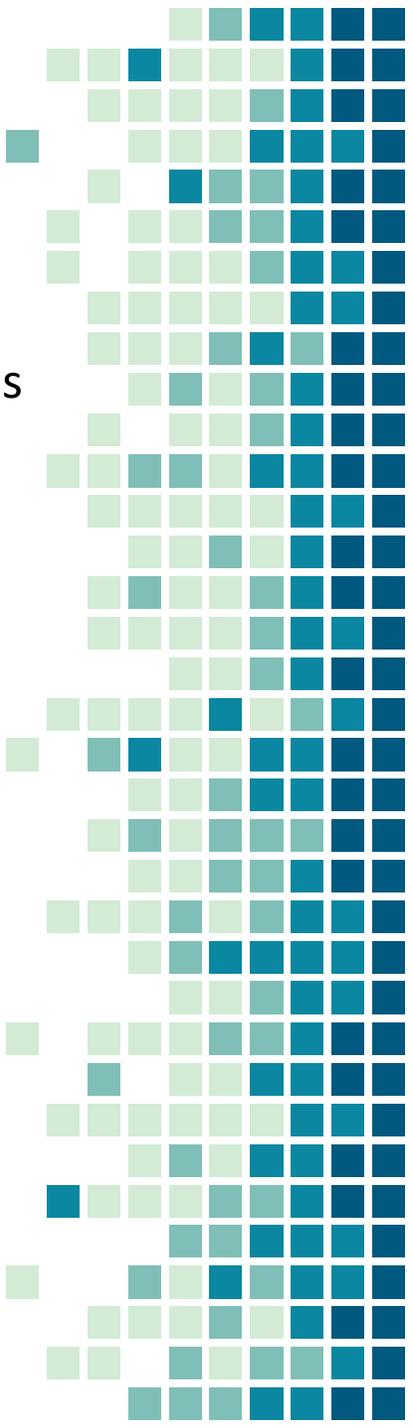
- **ANAEROBIA:** Sin O_2 , Sin Nitratos
- **ANÓXICA:** Sin O_2 , Con Nitratos
- **AEROBIA:** Con O_2



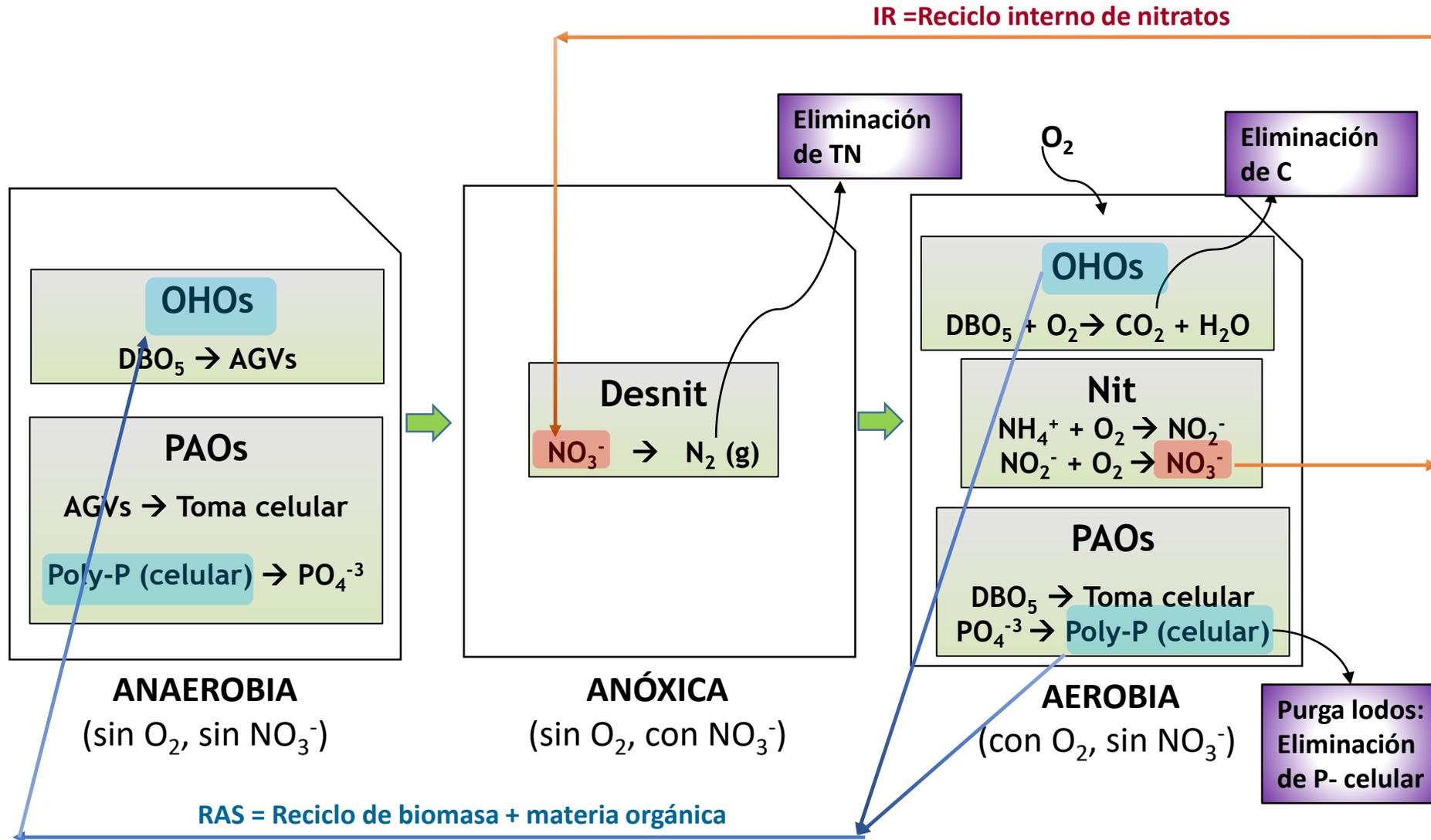
OHOs al microscopio electrónico



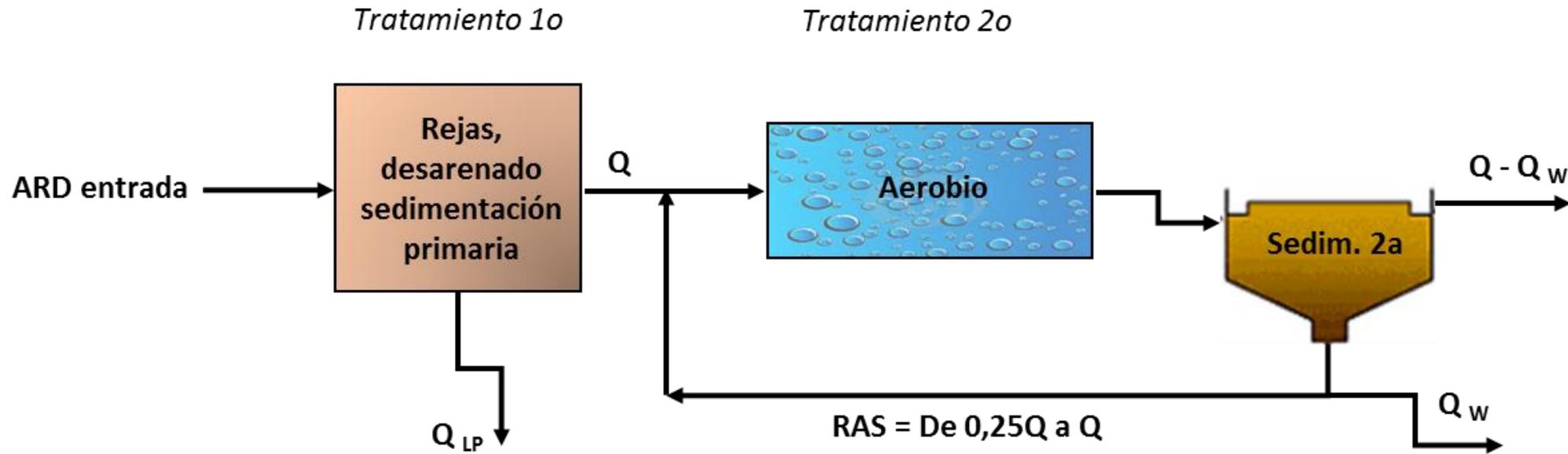
PAOs al microscopio electrónico



Proceso Biológico (II)

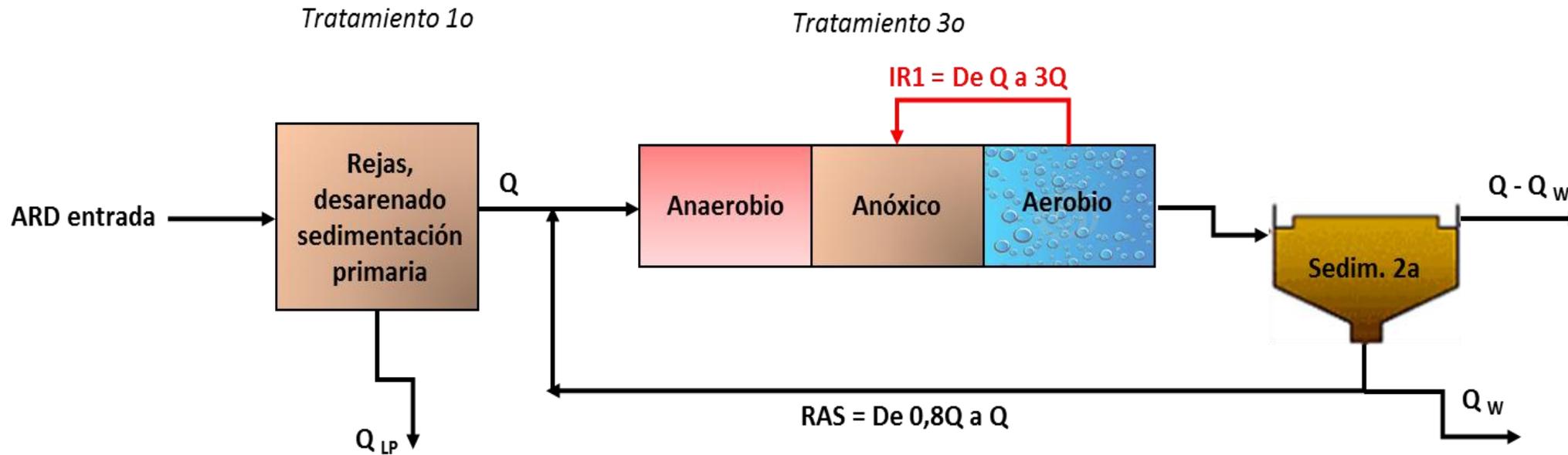


Proceso aerobio convencional: Lodos Activados (LA) en ARD



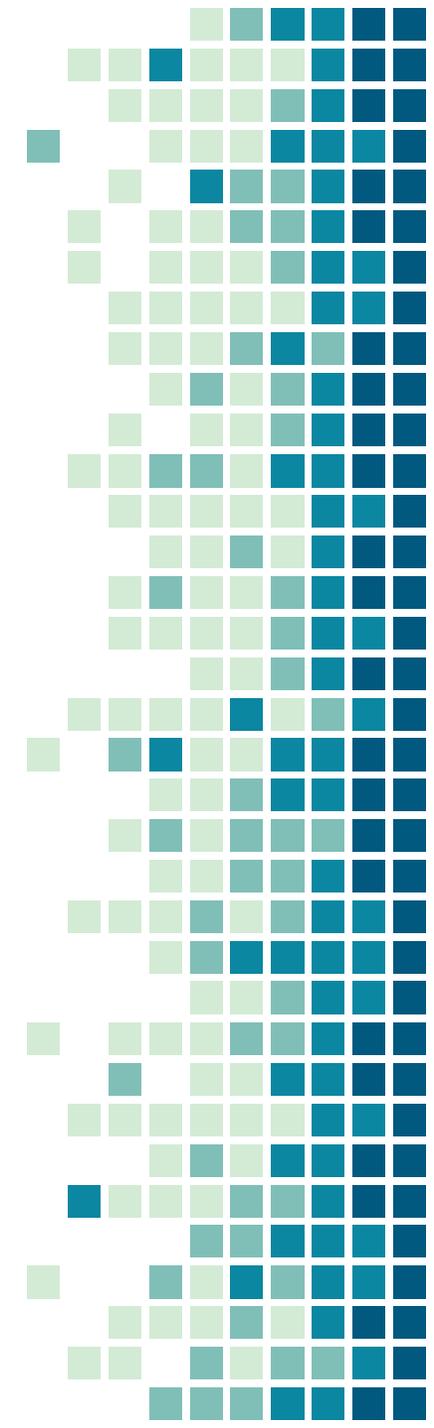
- Nivel de tratamiento: 2º
- Costo de inversión menor comparado con remoción de nutrientes
- Alto costo energético por aireación
- Carga orgánica y remoción de nutrientes limitadas
- Remoción de 90-95% DBO_5 .
- Efluente entre 40- 100 mg/L DBO_5 y 80-200 mg/L DQO
- Remoción 15-30% TN y 10-25% TP (incorporación en biomasa)
- SRT= 10-20 d, MLSS = 3-4 g/L

LA Modificado con remoción biológica de nutrientes en ARD (Ej: A₂O)

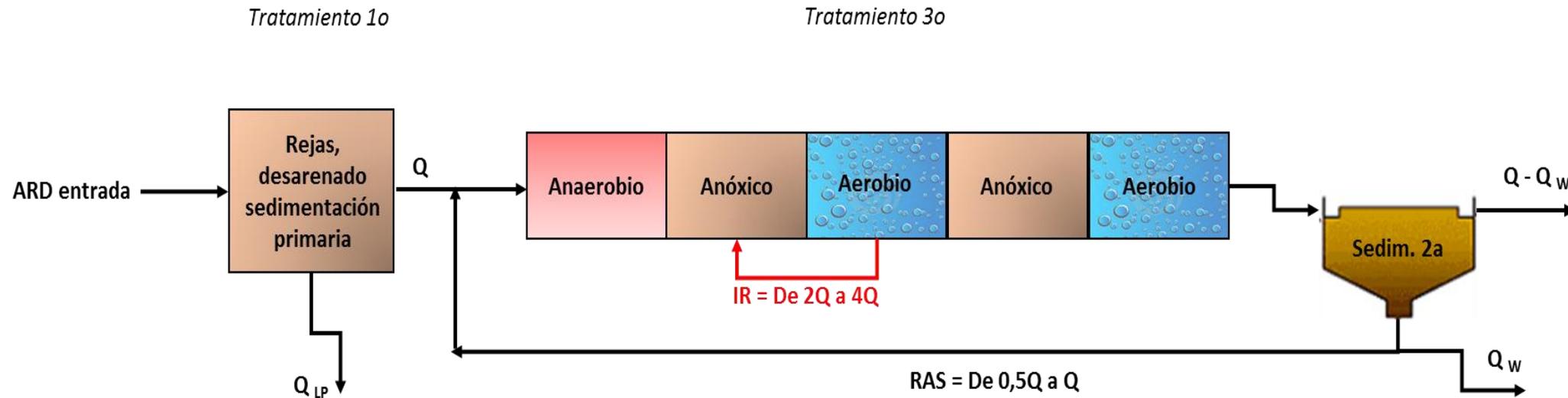


- Nivel de tratamiento: 3º
- Estable frente a variaciones de carga influente, flexible
- Aplicaciones en Europa, EEUU, México
- SRT= 5-25 d, MLSS = 3-4 g/L

- Remoción de DBO₅ > 95%
- Efluente < 20 mg/L DBO₅ y 20-60 mg/L DQO
- Efluente 5-15 mg/L TN
- Efluente 2-4 mg/L TP sin adición de químicos y < 1 mg/L con adición



LA Modificado + remoción biológica de nutrientes en ARD (Ej: Bardenpho 5 etapas)



- Nivel de tratamiento: 3º
- **Muy flexible**
- **Baja recirculación de nitratos**
- **Alta remoción de TN**
- SRT= 10-20 d, MLSS = 3-4 g/L

- Remoción de $DBO_5 > 95\%$
- Efluente $< 20 \text{ mg/L } DBO_5$ y $20-60 \text{ mg/L } DQO$
- Efluente $< 3 \text{ mg/L } TN$
- Efluente $2-4 \text{ mg/L } TP$ sin adición de químicos y $< 1 \text{ mg/L}$ con adición



Proceso Biológico Lodos

Objetivos:

- Reducir contenido de materia orgánica degradable (SSV) y estabilización del lodo
- Reducción carga de patógenos
- Producción de metano (anaerobio)

Grupos de bacterias:

- **Ordinarios heterótrofos:** Aerobios, presentes en LA
- **Fermentativas, Acidogénicas, Metanogénicas:** Anaerobias. Hidrolizar materia orgánica en ácidos grasos y acetato, metanogénesis

Condiciones ambientales:

- **ANAEROBIA:** Sin O_2 , Sin Nitratos
- **AEROBIA:** Con O_2





Tratamiento de Lodos

Requiere tres subprocesos antes de su disposición final:

1. **Espesamiento:** Pasa de 0,5-1,5% hasta 4-5% de sólidos. Puede hacerse por gravedad o flotación
2. **Estabilización biológica:** Reducción de SSV, puede ser anaerobia (mesófila o termófila) o aerobia
3. **Deshidratación:** Pasa de 5 a 30-60% de sólidos). Métodos: filtración, centrifugación, lechos de secado, lagunas

Algunos procesos son más intensivos en consumo de energía e incluyen:

- **Secado Térmico**
- **Incineración**



CASOS DE ESTUDIO - EPM



Casos de Estudio EPM



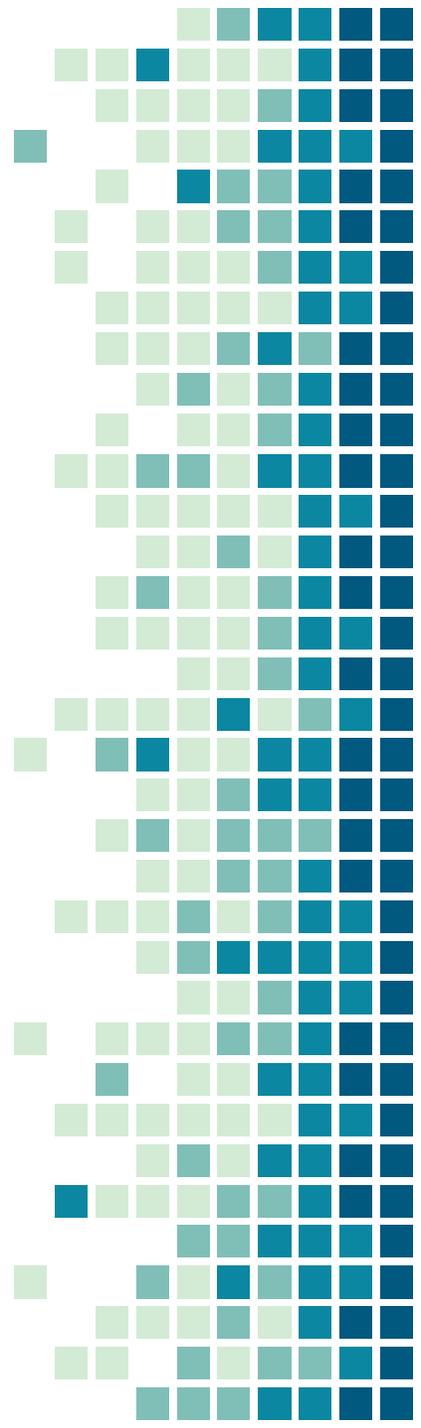
1. Modernización y Ampliación PTAR San Fernando



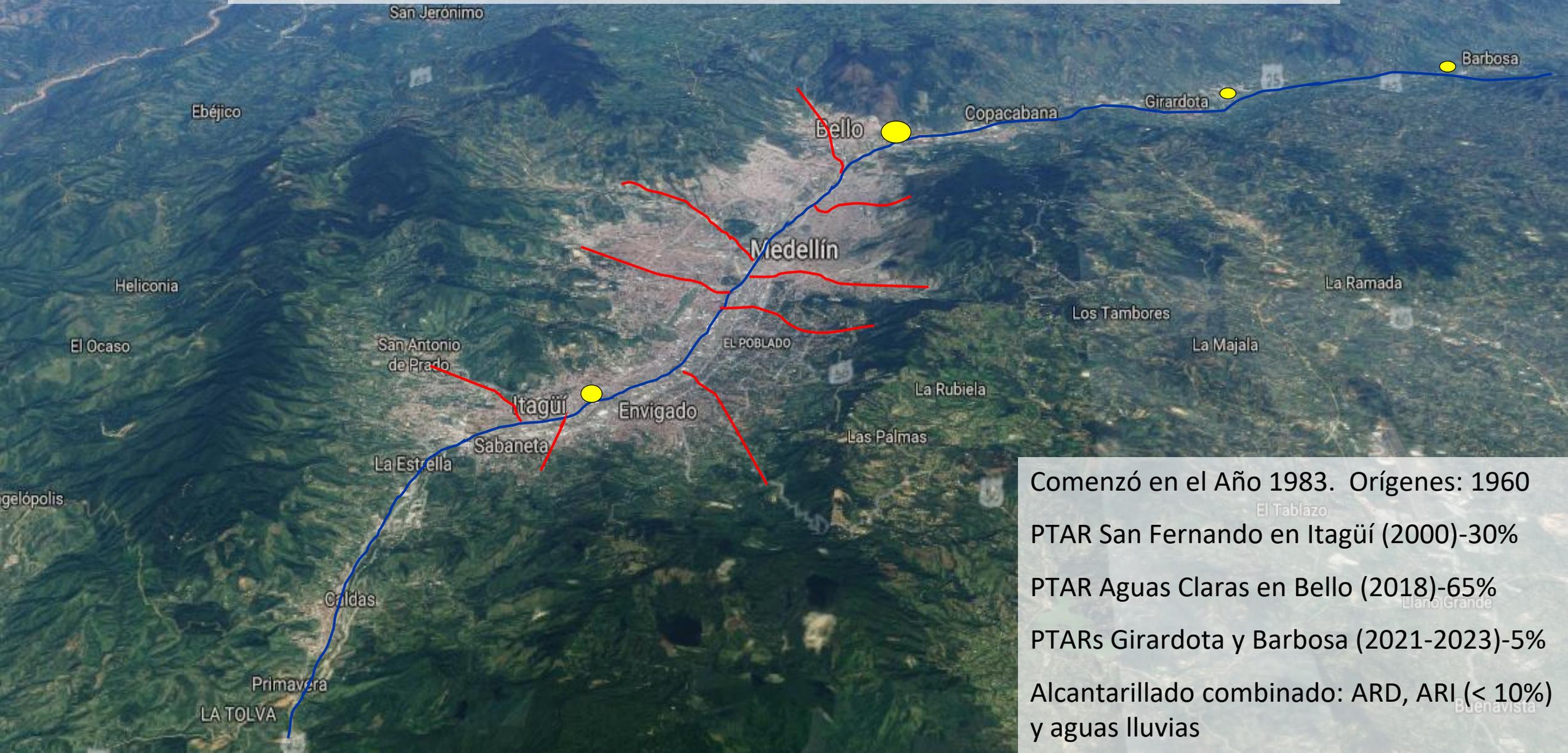
2. Construcción PTAR Aguas Claras



3. PTARs del Valle de San Nicolás



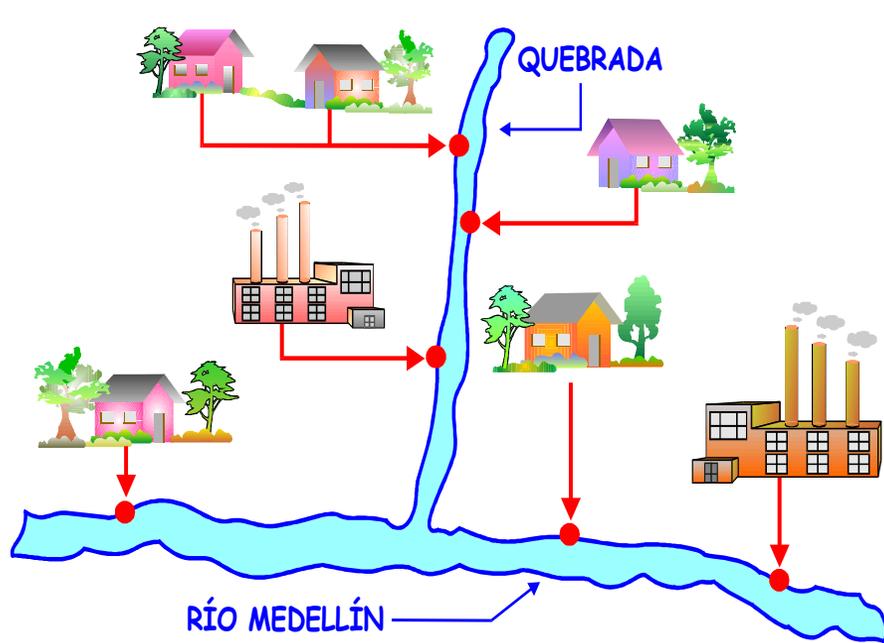
Programa de Saneamiento Río Aburrá



Comenzó en el Año 1983. Orígenes: 1960
PTAR San Fernando en Itagüí (2000)-30%
PTAR Aguas Claras en Bello (2018)-65%
PTARs Girardota y Barbosa (2021-2023)-5%
Alcantarillado combinado: ARD, ARI (< 10%)
y aguas lluvias

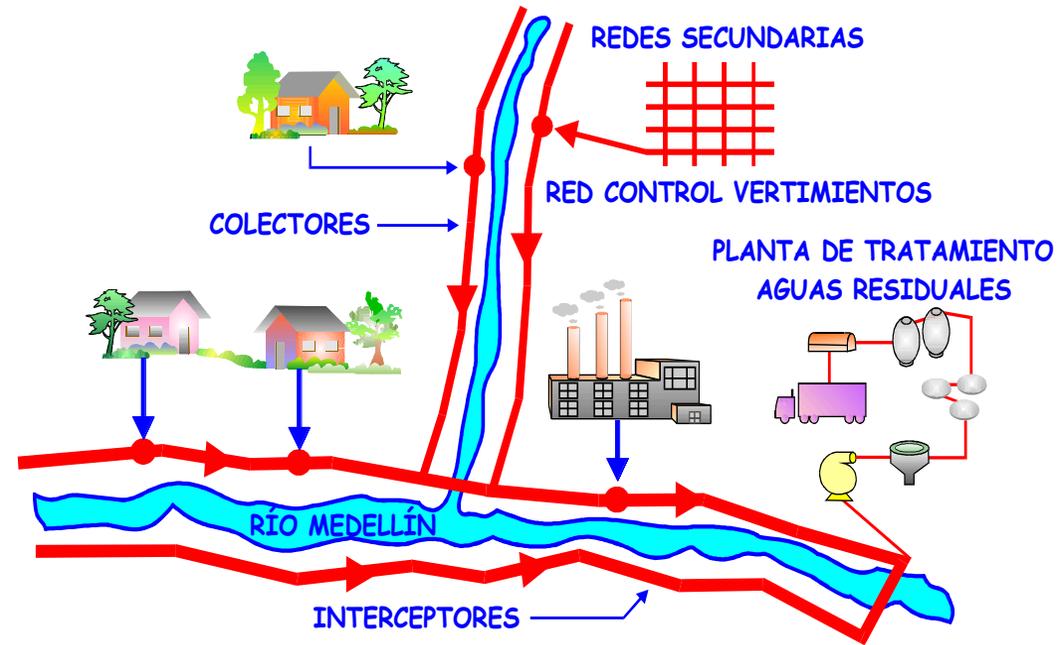
Programa de Saneamiento Río Aburrá (II)

Sistema de recolección de ARD con colectores e interceptores



ANTES

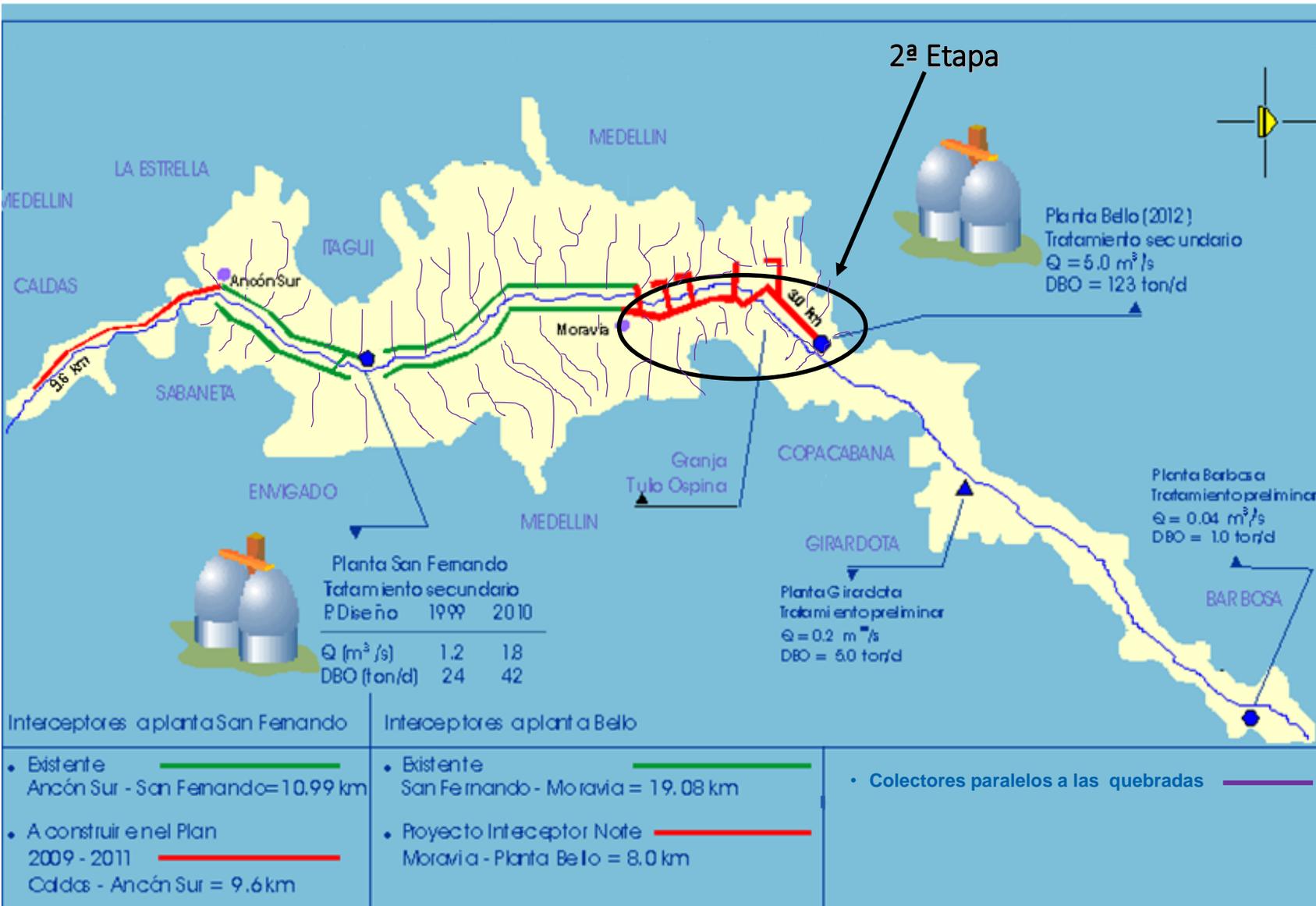
Descarga directa de aguas residuales



DESPUÉS

Redes secundarias, colectores e interceptores

Programa de Saneamiento Río Aburrá (III)

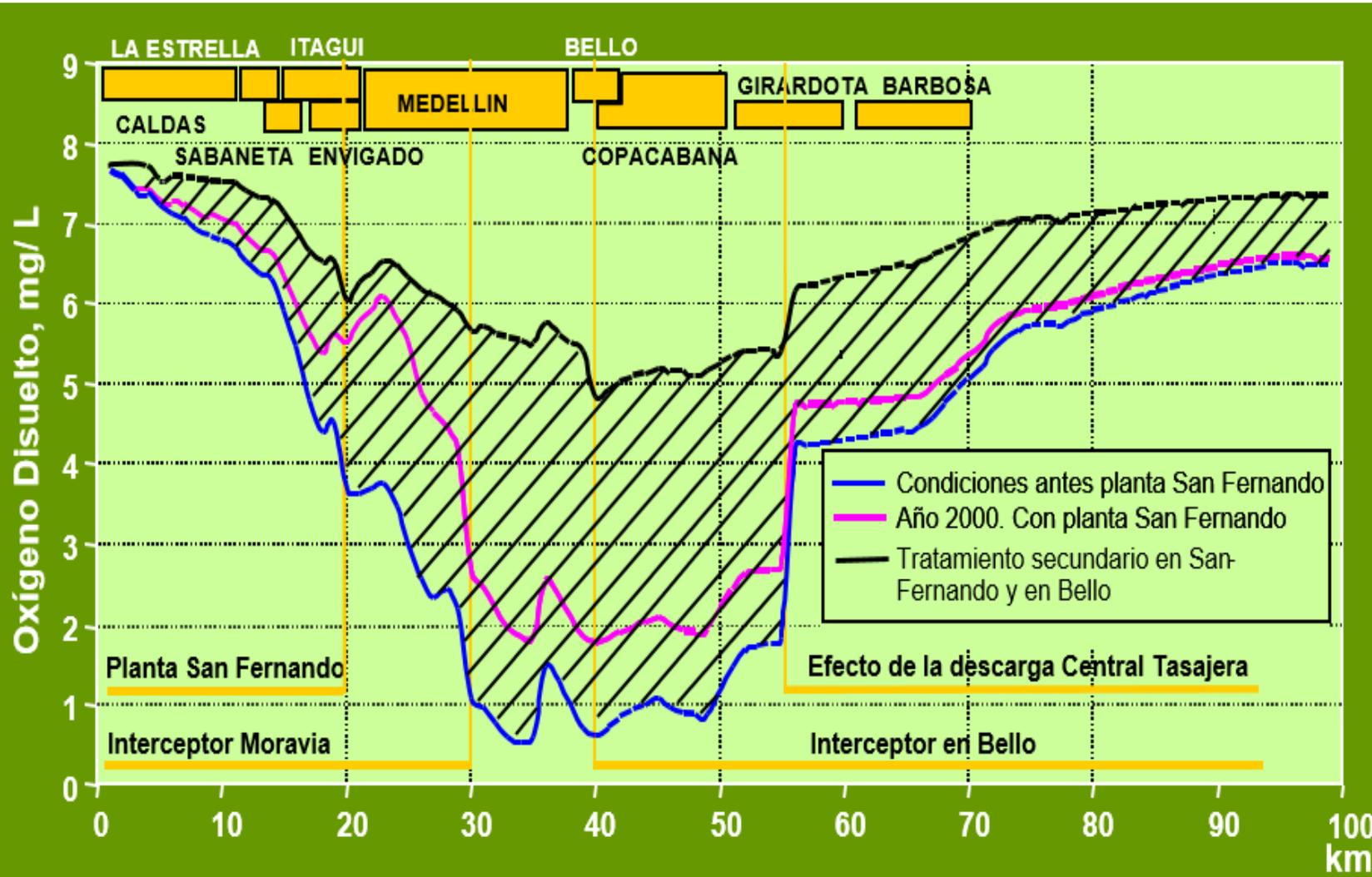


1ª Etapa:
Interceptores Ancón Sur-San Fernando, PTAR San Fernando

2ª Etapa: Interceptor norte, PTAR Aguas Claras (Bello)

3ª Etapa: Colector Caldas, PTARs Girardota y Barbosa

Programa de Saneamiento Río Aburrá (IV)



Recuperación del OD del río hasta 5 mg/L

Ventajas:

Creación de espacios de recreación en riberas

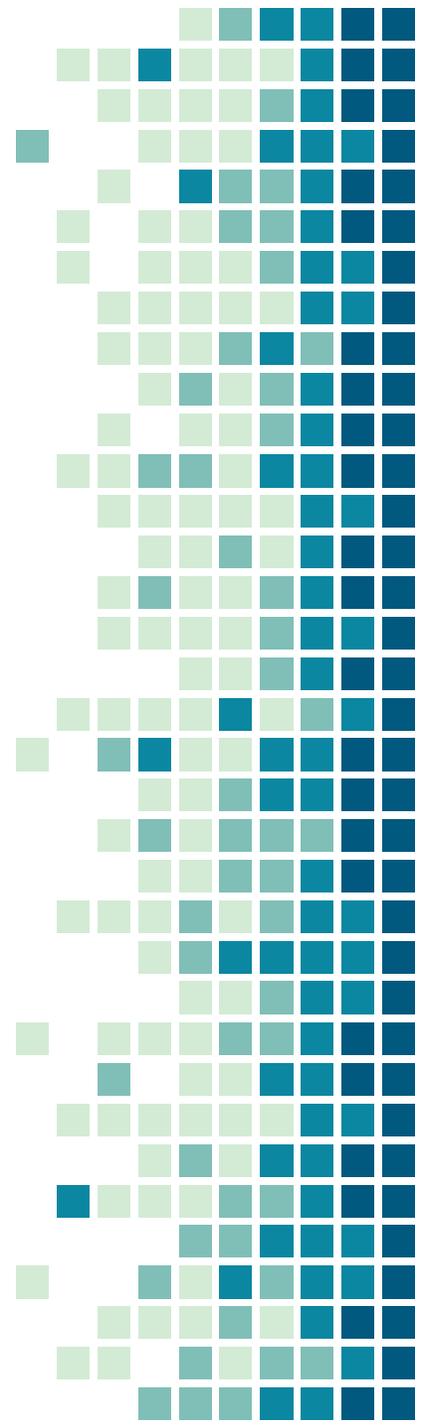
Valorización de tierras

Uso potencial controlado para la industria



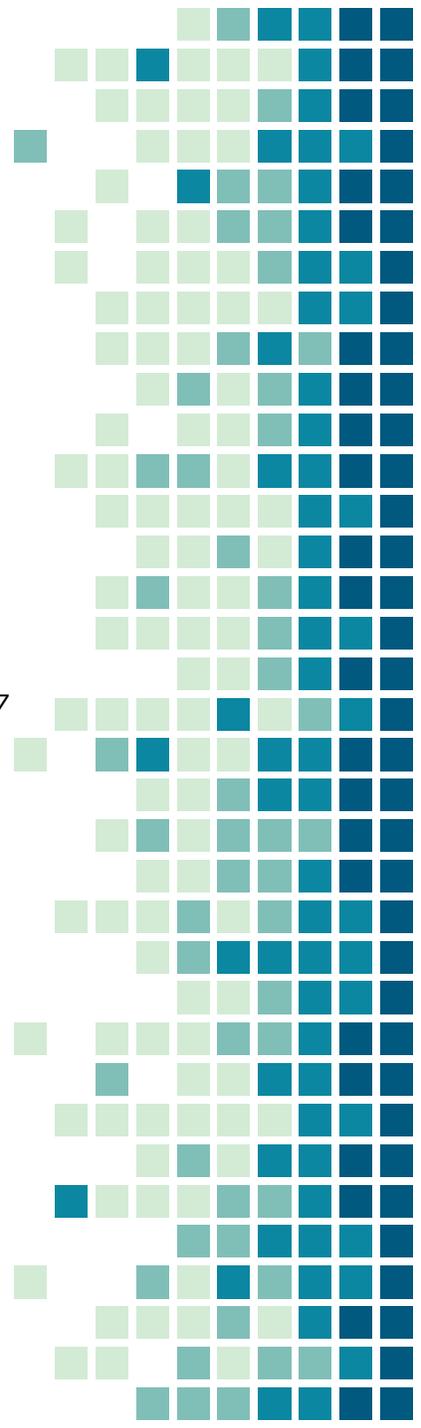
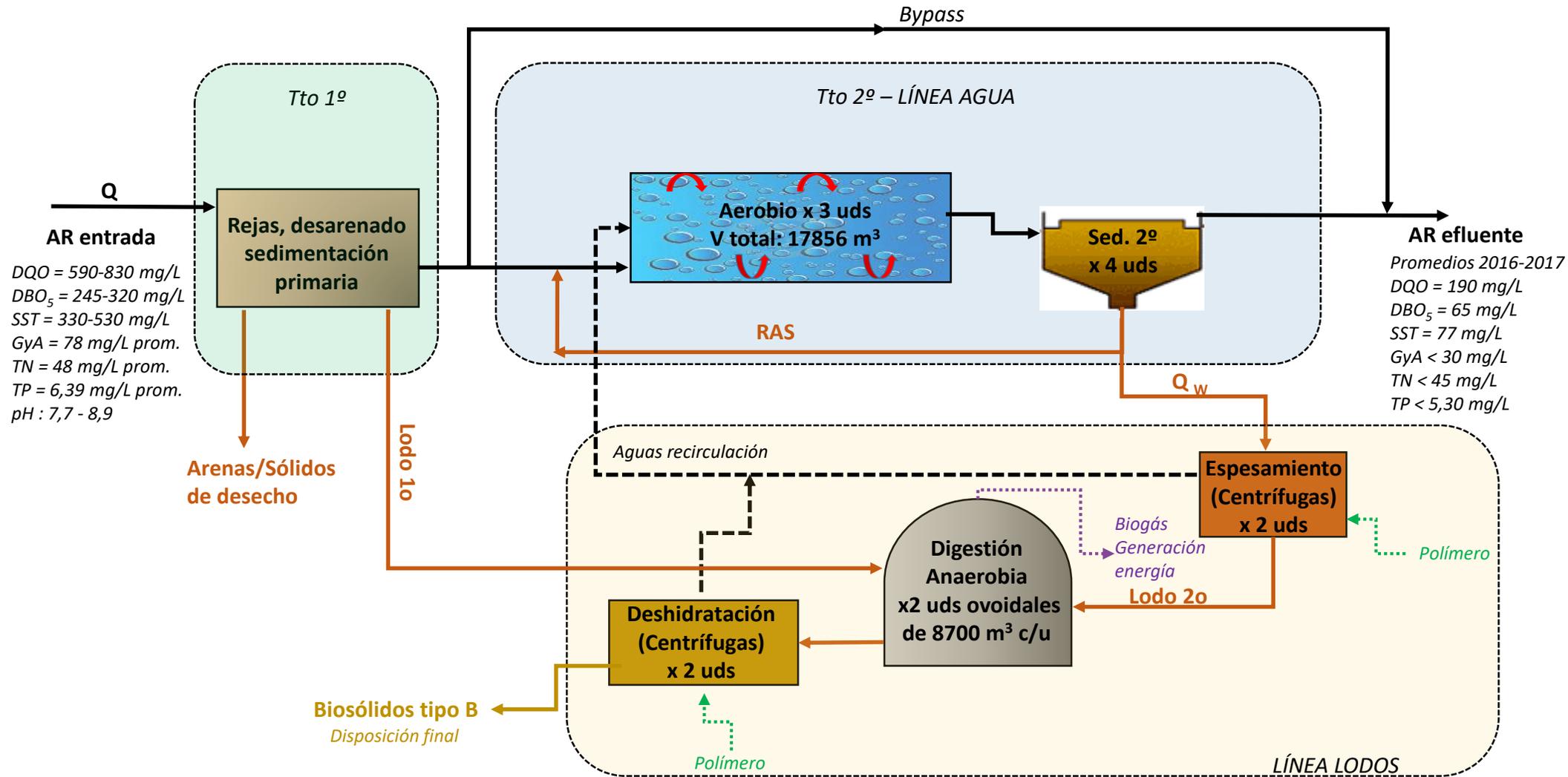
PTAR San Fernando

- Construida en el año 2000
- Caudal medio: $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Recibe aguas sector sur, 30% del Área Metropolitana
- ARD con $< 10\%$ de aporte de ARI (dificultades en su control)
- Incapacidad para tratar caudales superiores ($1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ a futuro) para las Ton/d DBO_5 actuales.
- Valores puntuales que exceden LMP de norma en DQO y DBO_5
- Proyectos en curso: mejoras en pretratamiento (Modernización SFdo \$16,5 MM USD) y proceso biológico y lodos (Ampliación SFdo \$57 MM USD)



Proceso Actual PTAR San Fernando

LA con alimentación gradual y flujo pistón (MLSS de 2400 mg/L, SRT= 2 d) $V = 29760 \text{ m}^3$



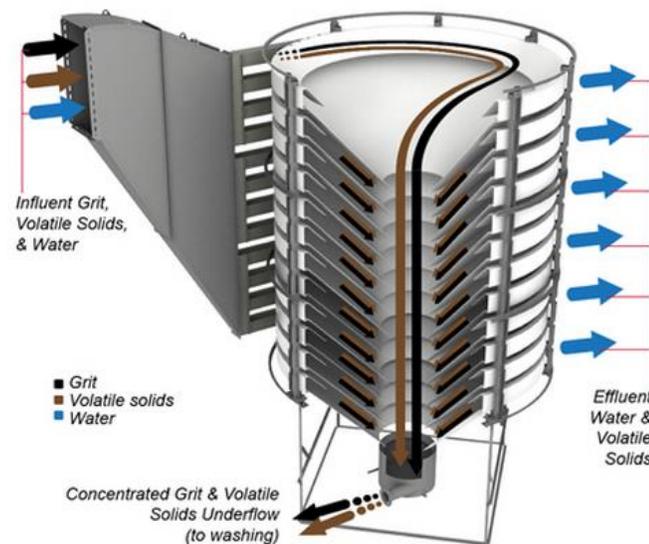
Proceso Futuro PTAR San Fernando

Ampliación de capacidad de tratamiento hasta $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ para las cargas de materia orgánica de entrada actuales

Cumplimiento de la demanda futura hasta el año 2040

Mejoramiento del tratamiento primario: Optimización remoción de basuras, gravas, remoción de sólidos y clarificación primaria. Control de olores

- Nueva trampa gravas
- Nuevas rejas de gruesos (20 mm) y finos (6 mm)
- 2 nuevos desarenadores por incremento de tasa de sobre flujo reemplazarán 2 de los 3 desarenadores tipo vórtex existentes
- Mejoras hidráulicas (sección de canales)



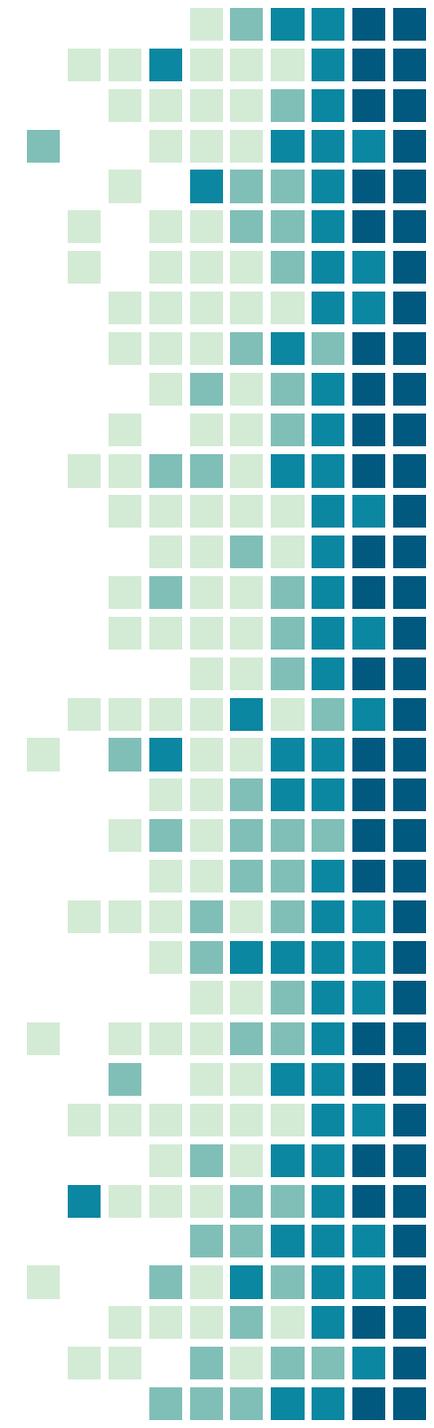
Proceso Futuro PTAR San Fernando (II)

Tratamiento biológico mejorado: Línea nueva y línea existente

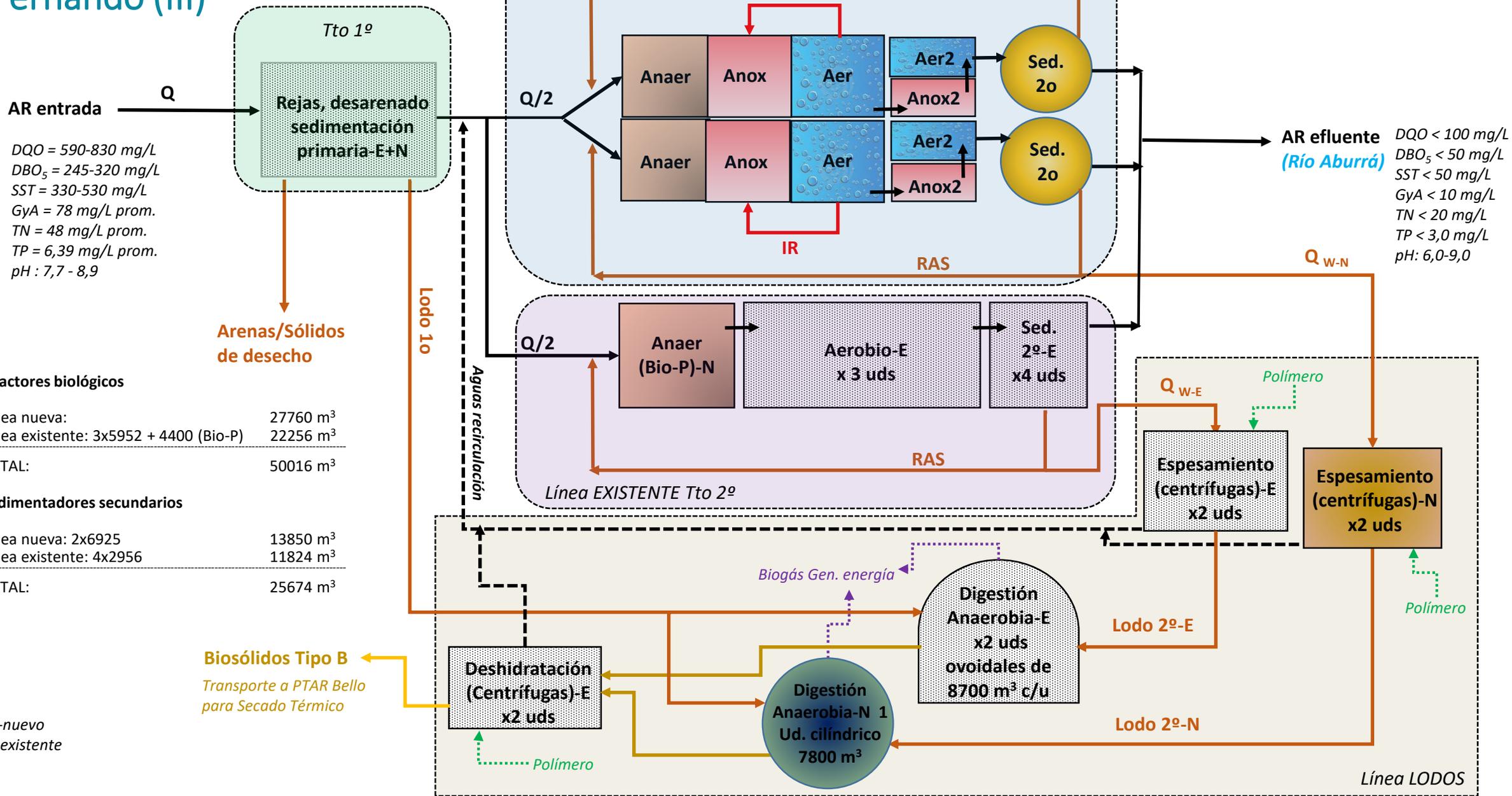
- Línea existente con adición de reactor anaerobio (Bio-P)
- Línea nueva con posibilidad para remoción de nutrientes: Bardenpho 5 etapas, $F_{ANAER}/F_{ANOX}/F_{AER}$: 0,12/0,34/0,54
- Concentraciones en el efluente por debajo de lo exigido por la Res 631/2015

Tratamiento de lodos: Ampliación de la capacidad

- 1 nuevo digestor anaerobio circular, intercambiador de calor y caldera
- 2 nuevas centrífugas de espesamiento de lodos secundarios
- Producción de lodos tipo B, control de olores



Proceso Futuro PTAR San Fernando (III)

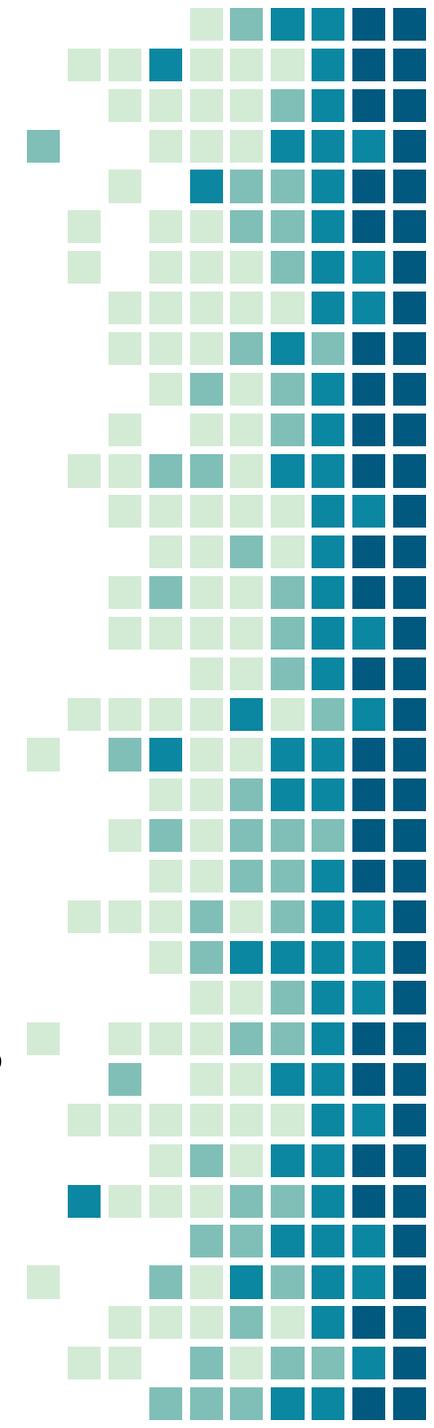


** N-nuevo
 ** E-existente



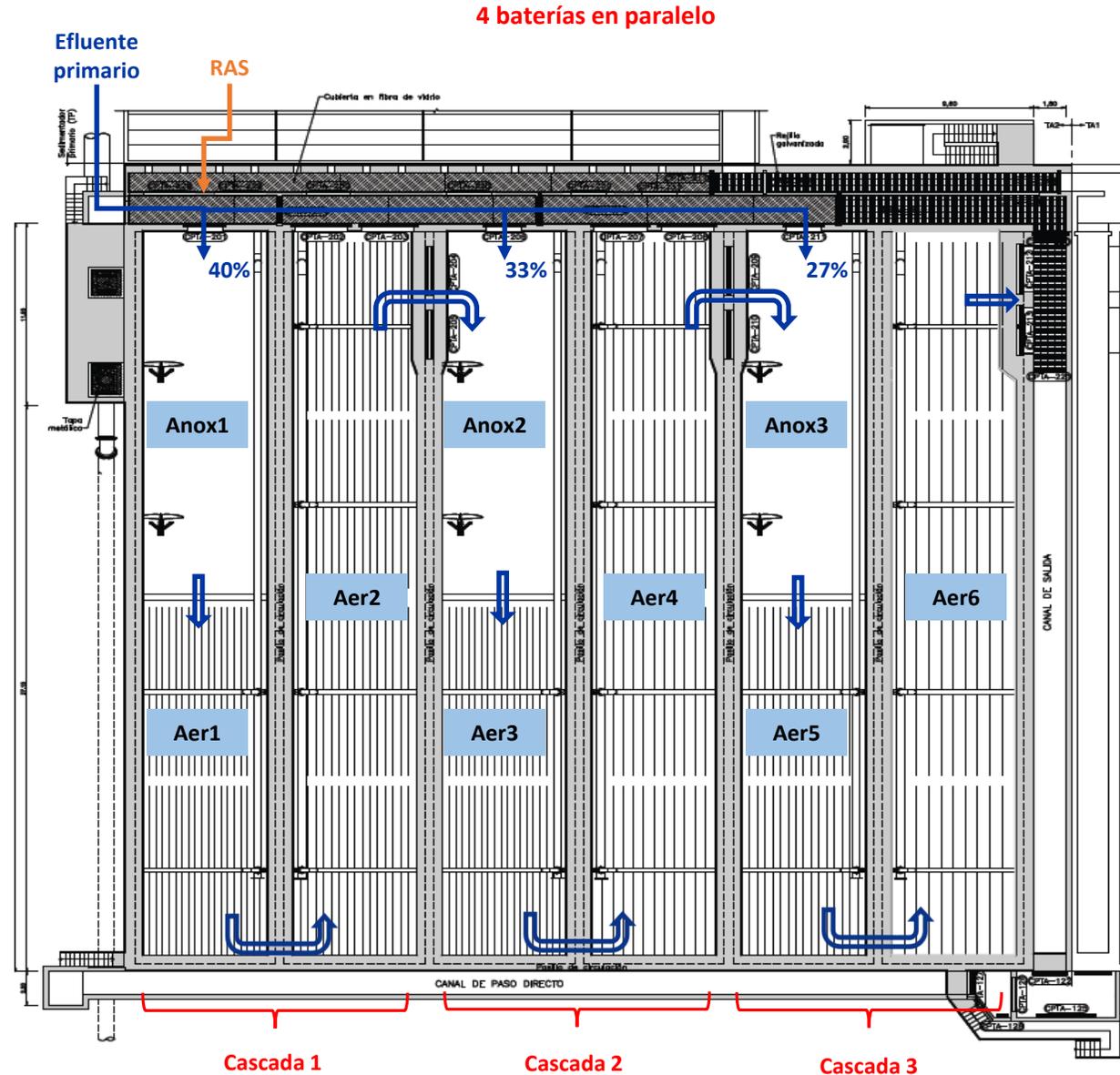
PTAR Aguas Claras (Bello)

- Avance sept 2017 > 80%
- Caudal medio: 5,0 m³/s, máx. 6,5 m³/s. Posibilidad de ampliación a 6,25 m³/s
- Recibe aguas sector norte, 65% del Área Metropolitana
- Construcción incluye: PTAR (\$287 MM USD), planta de secado térmico (\$ 52 MM USD), interceptores, ramales colectores, plaza del agua. Total: \$500 MM USD
- Efluente que excederá el cumplimiento de los LMP de la Res. 631/2015
- Lodos tipo A tras digestión anaerobia y secado térmico. Recuperación de energía 30%

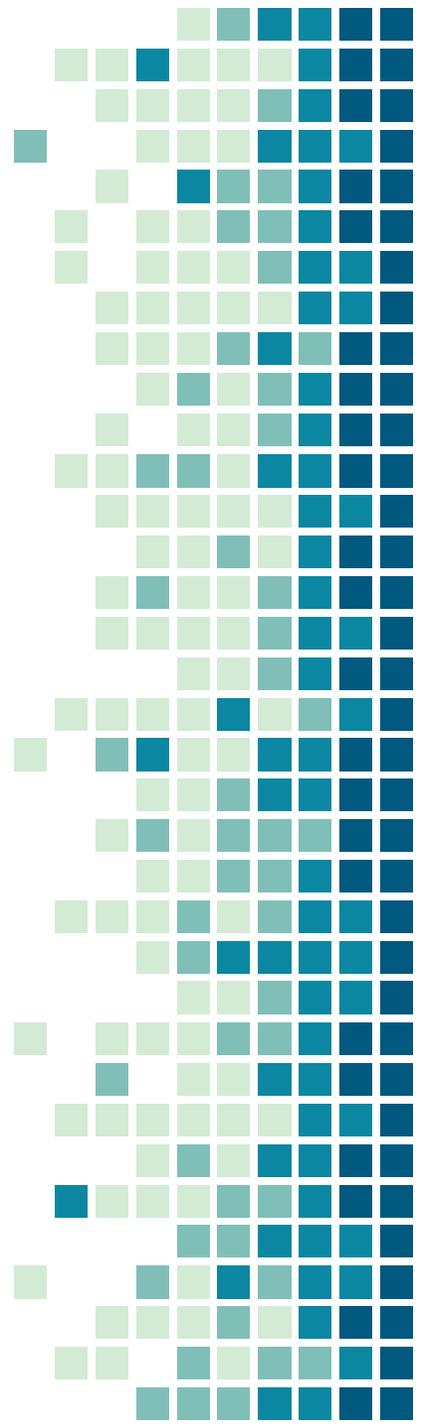
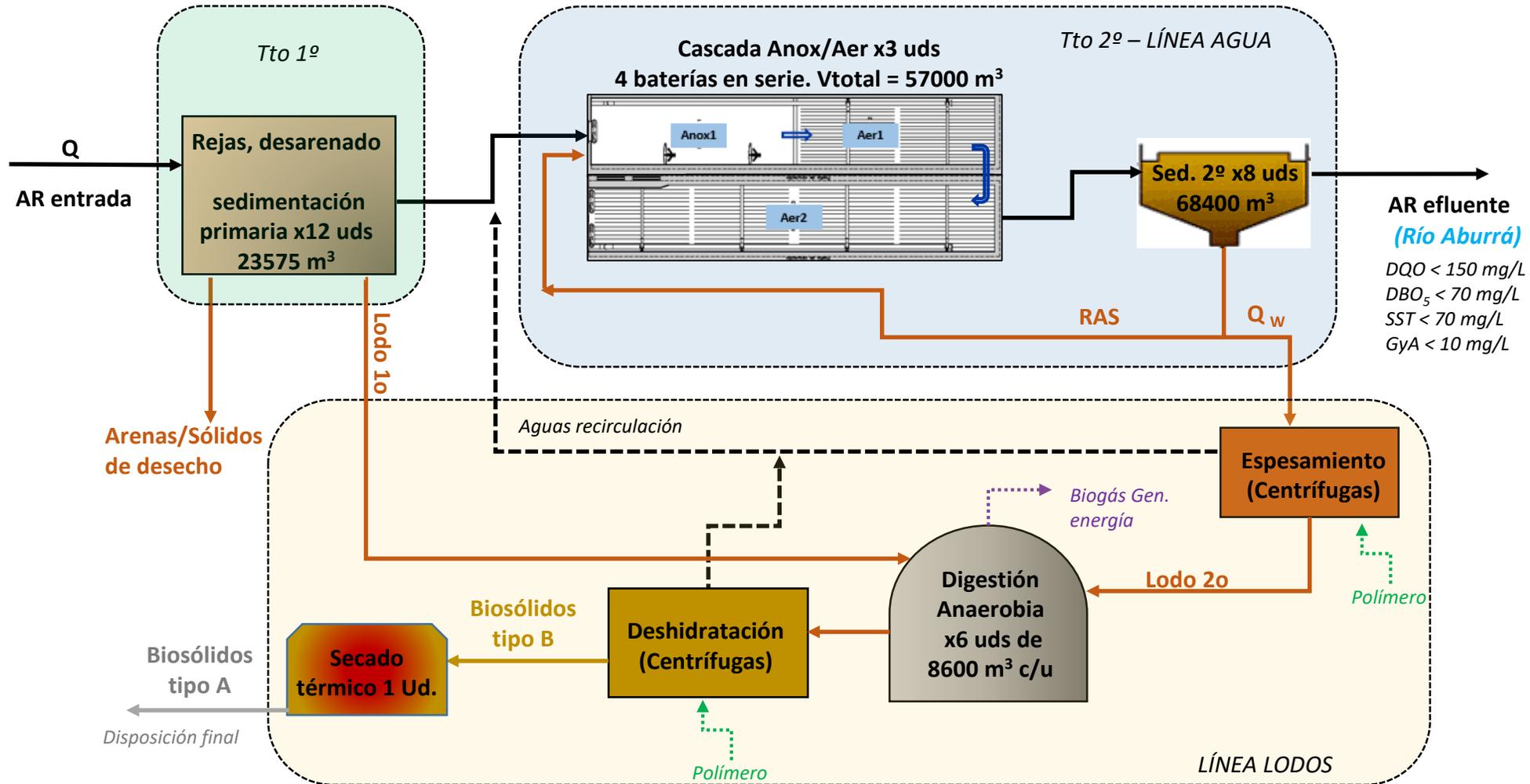


Proceso biológico

- Tratamiento 2º: 4 baterías en paralelo de reactores flujo pistón. Alimentación por pasos y nitrificación - desnitrificación por cascadas
- $V_{TOTAL} = 57000 \text{ m}^3$
- $F_{ANOX}/F_{AER}: 0,25/0,75$
- No de pasos de alimentación: 3
- No de cascadas: 3
- No de compartimientos: 9
- Flexibilidad operativa: pueden sacarse de operación cascadas o baterías de reactores



Proceso Futuro PTAR Aguas Claras



[Video PTAR Bello](#) – History Drone (1:10 min)



Video PTAR Bello – Gota de agua (8:44 min)





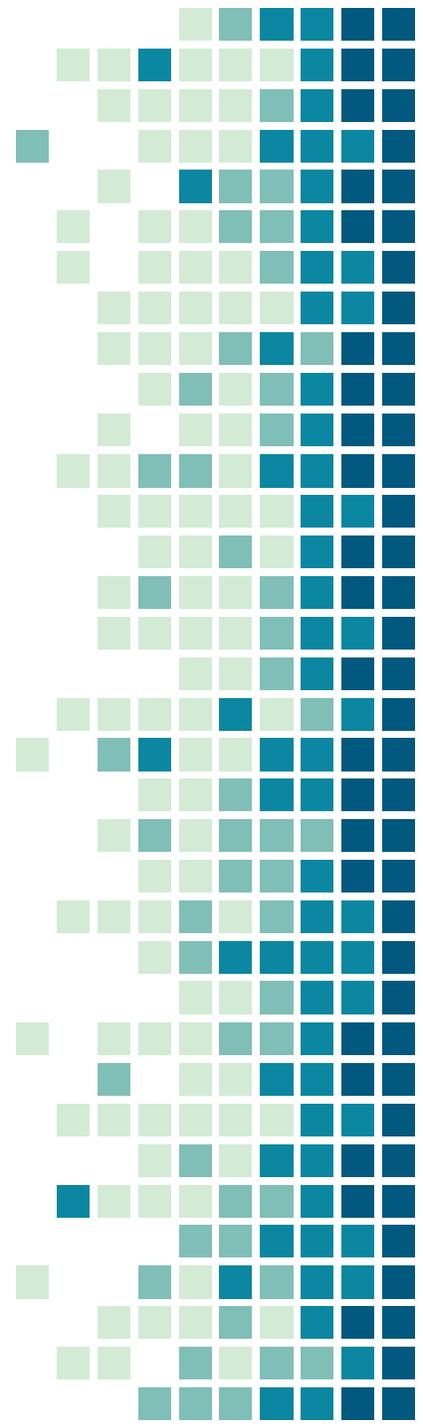
PTARs Valle San Nicolás

- Parte de la Estrategia de sostenibilidad para Valles de Aburrá y San Nicolás
- 3 PTARs, proyecto en fase de diseño
- Población atendida: 60.000 habitantes



PTAR Escobero

- Mayor planta, se construirá en 2 etapas, caudal medio 75 L/s
- Recibe aguas de zonas rurales de los Municipios de El Retiro y Envigado
- Construcción PTAR Escobero: \$6,35 MM USD



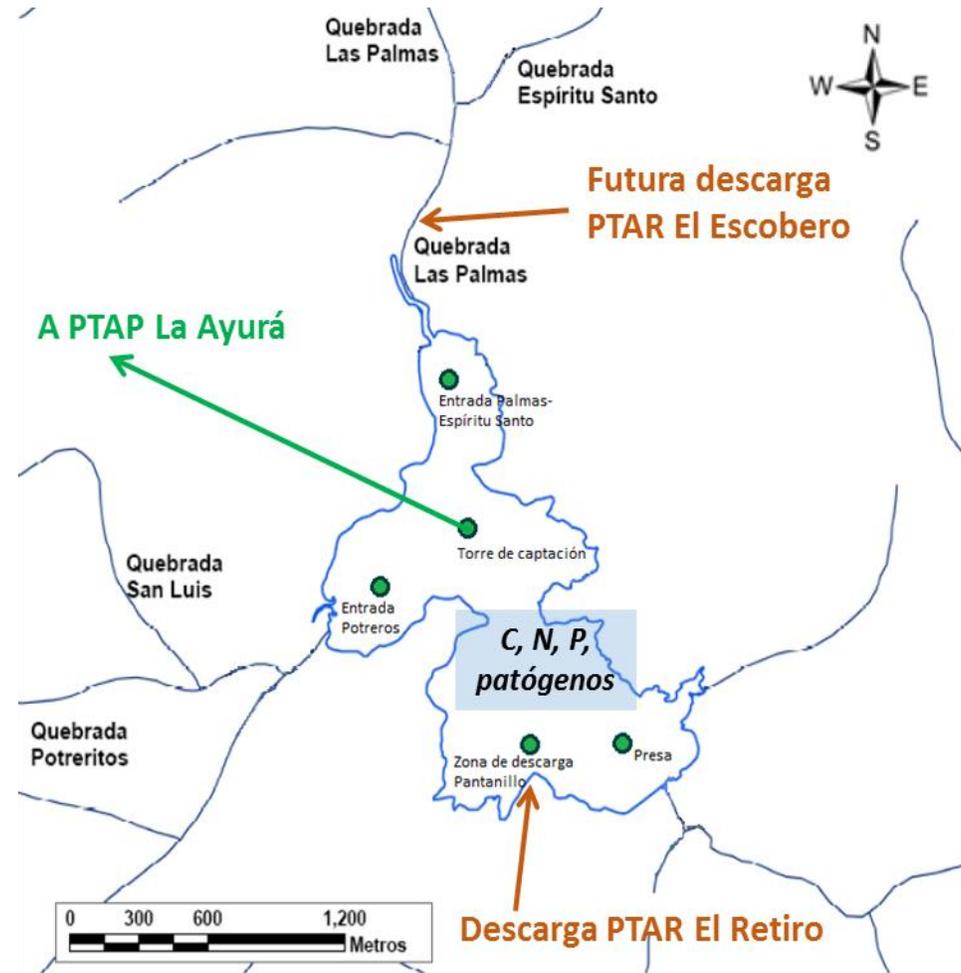
¿Por qué tratamiento terciario?

Afectación sobre Embalse La Fe (Área sensitiva)

Requiere eliminar nutrientes y patógenos: dinámicas de eutrofización, “*blooms*” algales y alta carga microbológica en el Embalse

Efluente cumple requerimientos de norma Europea para áreas sensitivas:

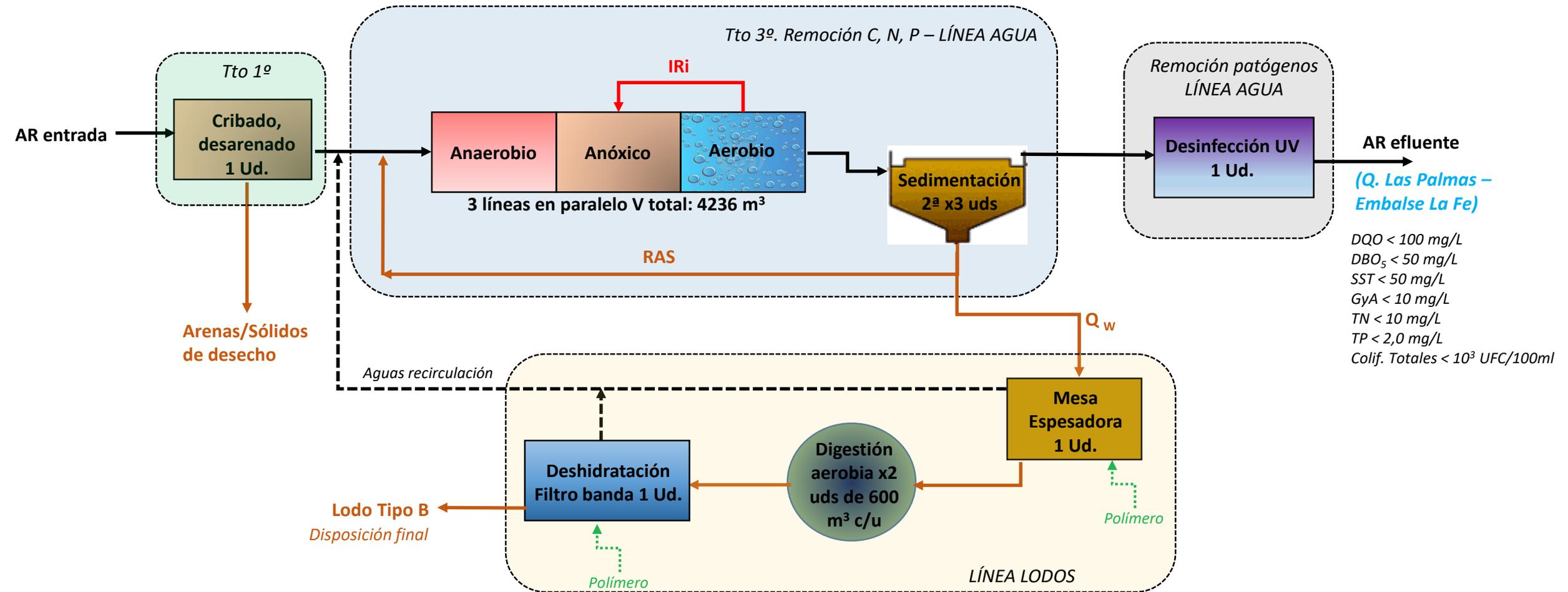
- ✓ $DBO_5/TN/TP < 50/10/2 \text{ mg/L}$
- ✓ Coliformes totales $< 10^3 \text{ UFC/100mL}$



Embalse La Fe

Proceso Futuro PTAR Escobero

- Tratamiento biológico 3º : LA modificado, sistema A₂O
- Volumen total: 4236 m³, 3 líneas en paralelo. $F_{ANAER}/F_{ANOX}/F_{AER}$: 0,19/0,26/0,55
- Incorpora desinfección del efluente, control olores y ruido





TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tendencias mundiales

USA

- CWA(1972), Tto 2º todas las PTARs

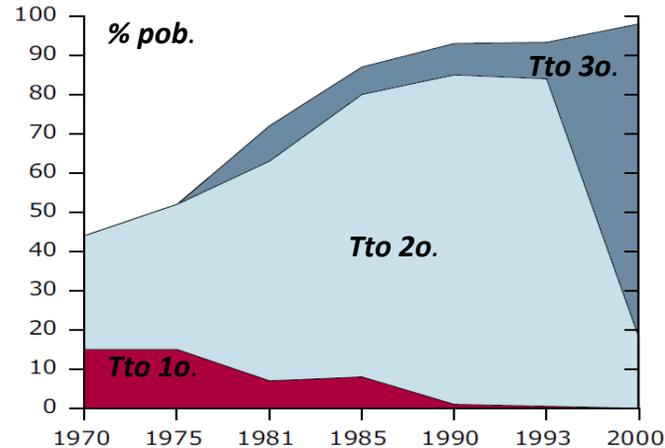


Newtown creek WWTP, NYC. 11 m³/s.

- Inclusión de Tto 3º (algunas PTARs)

EUROPA-Países Bajos

- Pioneros Tto 3º (Áreas Sensitivas)
- Desarrollos-Nereda, Annamox



- Sistemas algales
- Recuperación de nutrientes

ISRAEL

- Reúso 75% efluente de PTARs - SAT
- Uso aguas lluvias - Recarga de acuíferos



- MBR, MBBR, sistemas algales
- Líder *start-ups* mundial

Alternativas Innovadoras, Remoción de Nutrientes

En estado de INNOVACIÓN. Recomendado: Pruebas piloto

- Bioaumentación por adición de bacterias. Mayor tasa nitrificación (DEPHANOX, BABE)
- Deamonificación por nitrificación (SHARON-ANNAMOX)
- Nuevas modificaciones procesos MUCT y A₂O
- Suministro oxígeno – Algas (Aquanos, PAS)



Lodo foto-activado (PAS). Simbiosis algas-nitrificantes. Piloto, SBR 1000 L/d (Holanda). Tesis IHE Delft 2015



Sistema Piloto Aquanos (Israel), 3000 L/d. Algas para suministro de oxígeno a MBBR



Reúso Efluente PTARs

Caso ISRAEL

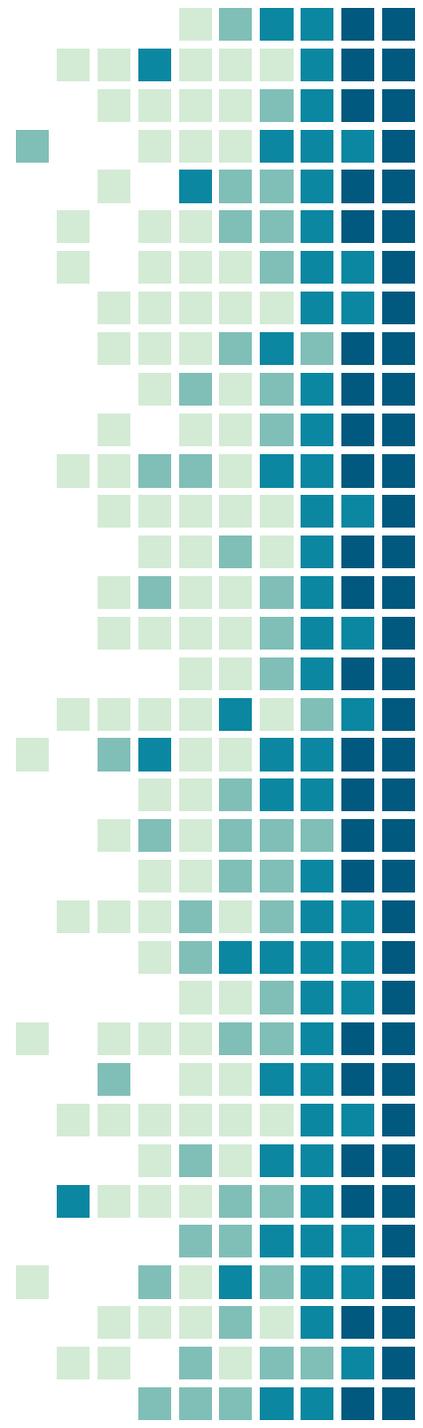
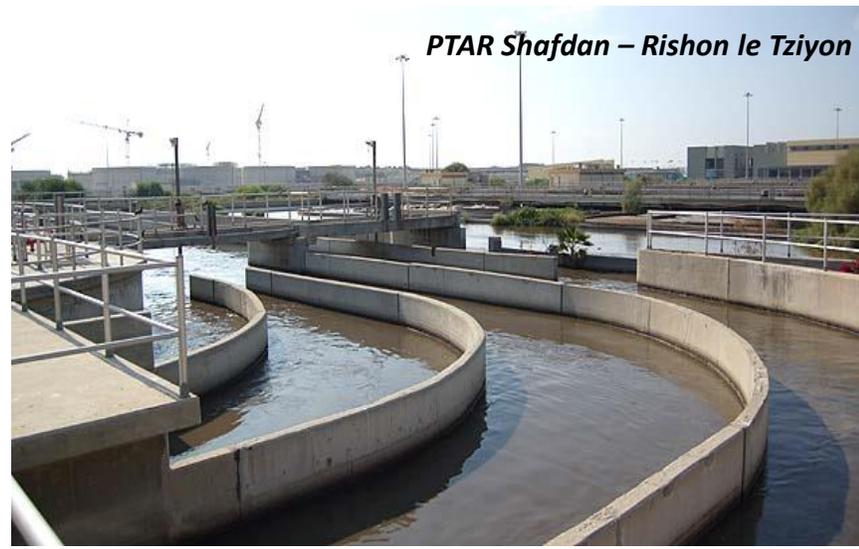
Objetivos: Generar más agua potable debido a la escasez hídrica. Usos doméstico agrícola. Reducción contaminación al medio ambiente

- Visión futuro: Reúso del 100% de los efluentes de PTARs (hoy 75%)
- Tratamiento: SAT (*Soil Aquifer Treatment*), caso PTAR Shafdan (4,2 m³/s) y tercera línea al desierto Néguev para uso, sin restricciones, en agricultura
- Almacenamiento en embalses y recarga de acuíferos. Uso: Riego, insumo para producción de agua potable

SAT – PTAR Shafdan



PTAR Shafdan – Rishon le Tziyon



Reúso Efluente PTARs (II)

SAT – *Soil Aquifer Treatment*

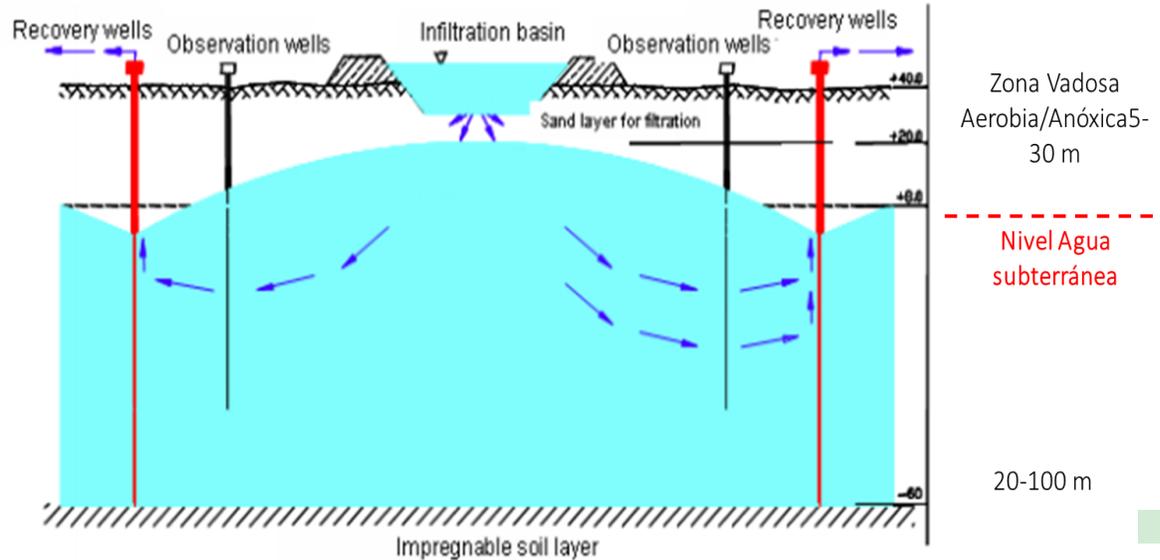
Tratamiento de efluentes por medio del suelo y la recarga artificial de un acuífero.

- Velocidad de infiltración: 0,2-0,6 m/d
- Periodo inundación/secado. 1 por 2 días

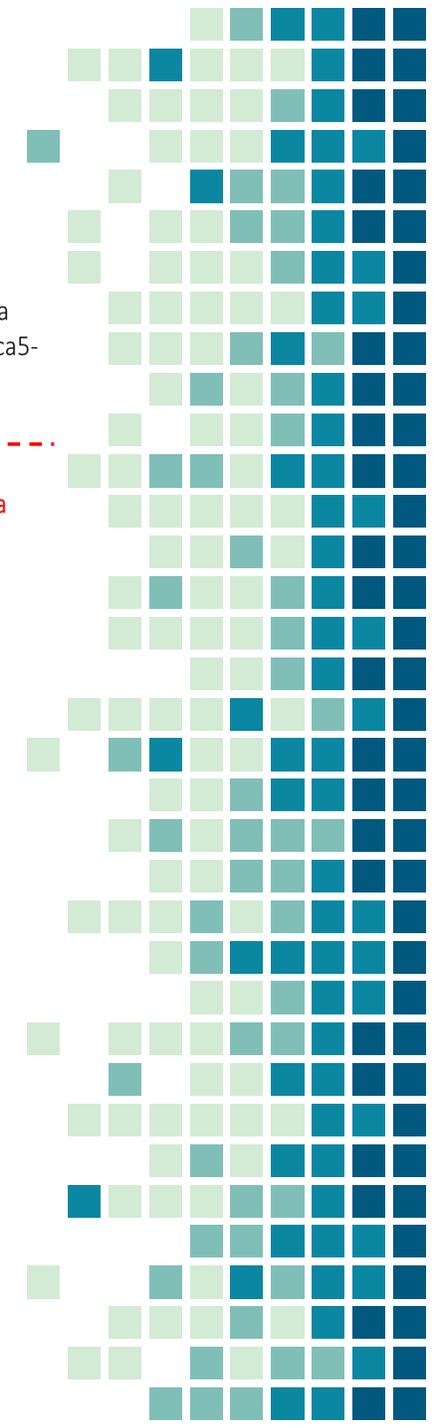
Tiempos de residencia:

- Irrigación sin restricción: > 1-2 semanas (muerte bacterias)
- Agua potable: > 6 meses (eliminación total de patógenos y la mayoría de micro contaminantes)

Desventajas: grandes áreas requeridas, reducción de tasa de infiltración a largo plazo, disolución de Fe y Mn por anoxia



Campo de infiltración al comienzo de la fase de inundación (1 día)



Uso de Aguas Iluvias

Caso: ISRAEL

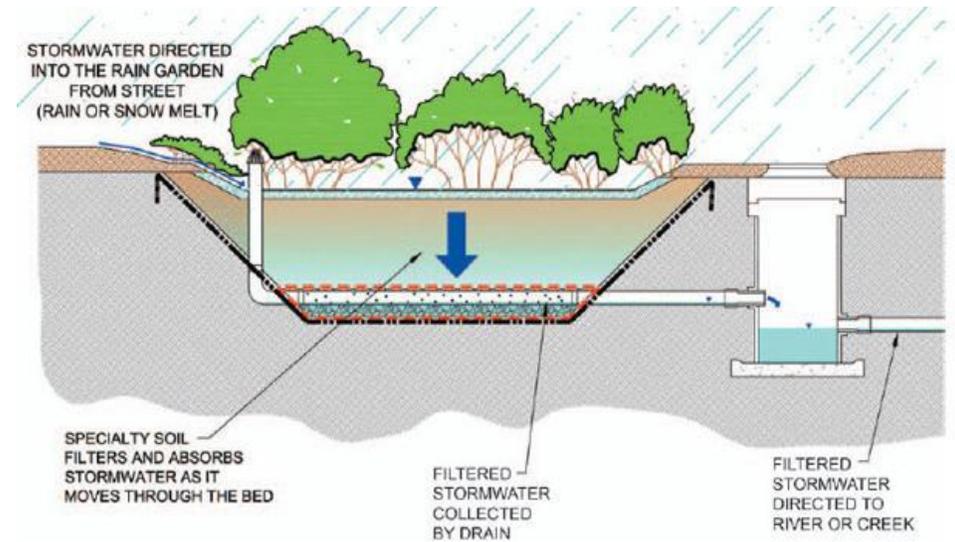
Grandes caudales en cortos periodos. Nov-Abr principalmente

25 Mm³/año recolectados

Uso principal: Agrícola

Otros usos: recarga acuíferos o posterior uso doméstico

Uso doméstico de aguas Iluvias



Recolección de aguas Iluvias



Almacenamiento de aguas Iluvias, uso agrícola



Planta Menashe – Recarga Acuífero Costero

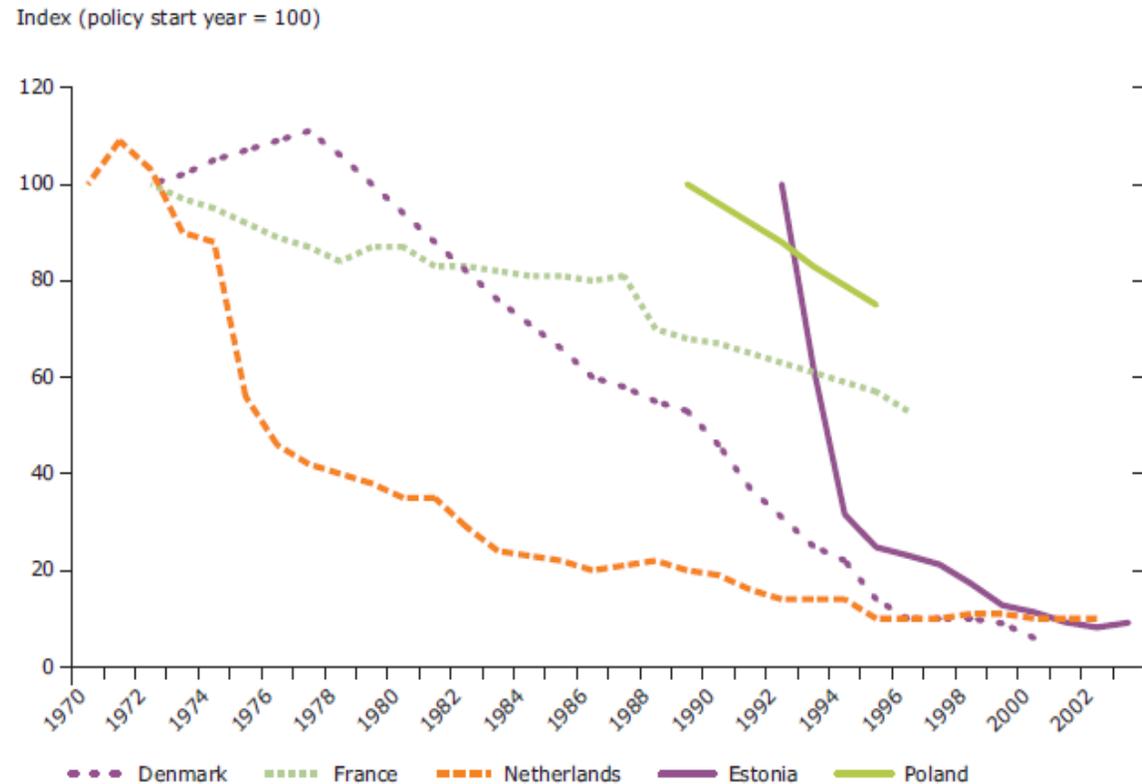


Normatividad Efluente PTARs

Caso: Países Bajos

- 100% de cobertura actual. 17 millones de habitantes
- Normatividad exigente en vertimientos a cuerpos de agua → Áreas Sensitivas (Tratamiento 3º)
- “En la fuente, no al final del tubo”
- A 2007, en Países Bajos el 96% contaba con Tto 3º, Similar a otros países desarrollados de Europa (Alemania, Austria)

Figure 10 Net load on surface waters – organic discharges (BOD) from sewage treatment plants, industry and other direct outlets. 1970–2002



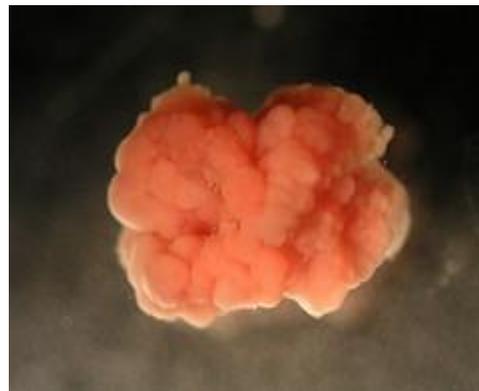
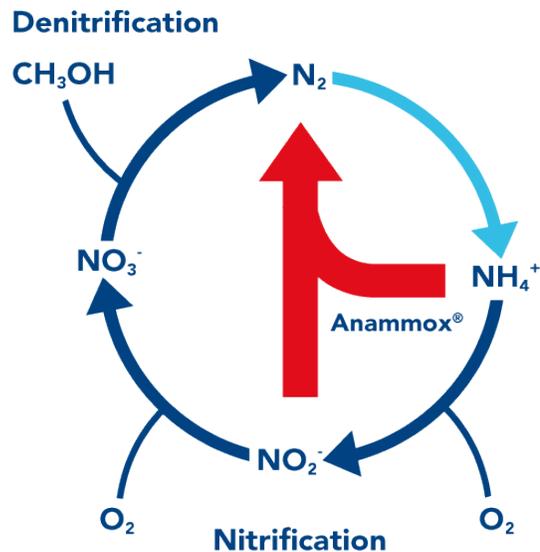
Sources: OECD, UNECE, Danish National Environmental Research Institute and national statistical services.

Sistemas descentralizados - Tratamiento de Aguas Residuales domésticas

Caso: Países Bajos

Pequeños sistemas municipales con remoción biológica de nutrientes. Ejemplos:

- Nereda
- Annamox



Floc bacterias Annamox



Lodo granular aerobio - Nereda

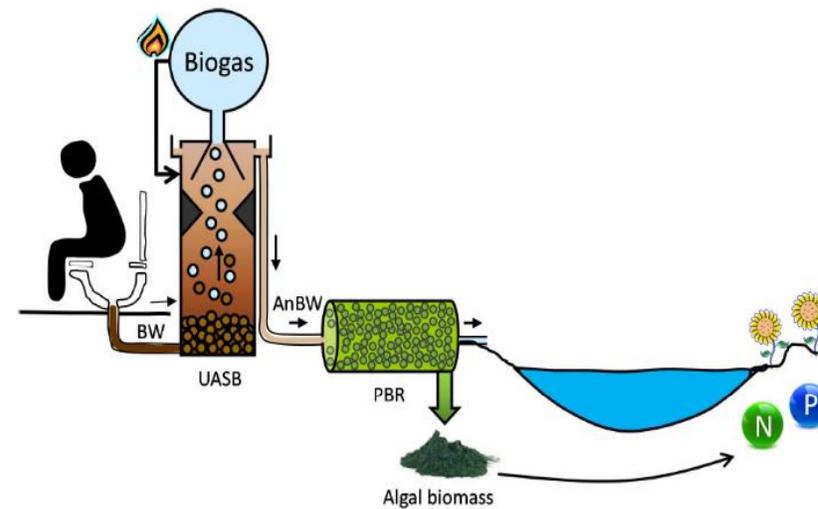
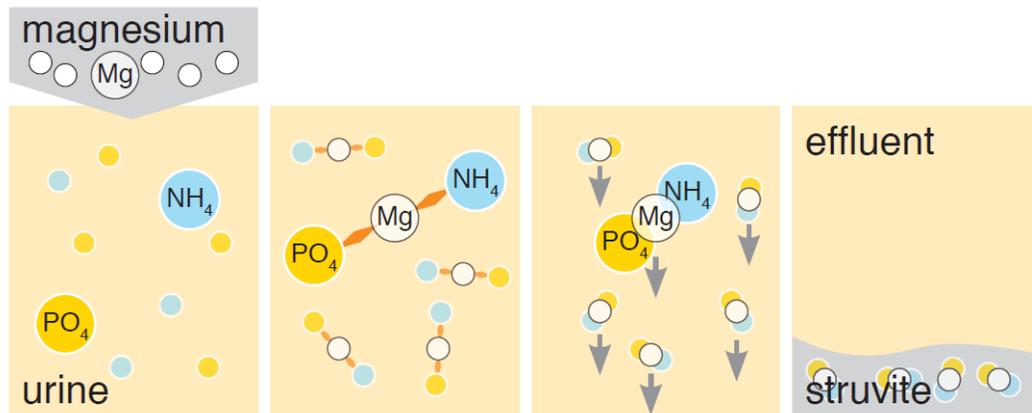


PTAR Epe, 92 L/s, Tecnología Nereda (2011)

Recuperación de Nutrientes

Caso: Países Bajos

- Sistemas algales (en investigación) → centro estudios algales (NIOO-KNAW), Universidades
- Separación aguas negras/aguas grises, o separación orina/heces → Recuperación de nutrientes (Estruvita)
- Devolución de nutrientes al suelo WASTE=FOOD



Tratamiento de aguas negras con fotobiorreactor y recuperación de nutrientes. Tesis PhD, Fernandes. NIOO-KNAW website.



Gracias.

ANDRÉS ALFONSO MARTINEZ

andres.alfonso@epm.com.co



