

Ventajas y Limitaciones de las Tecnologías para la eliminación de Nutrientes y su potencial en el marco de la nueva Directiva

Luis Larrea

Índice

Repercusiones borrador Nueva Directiva

EDAR > 100.000 h.eq.

EDAR < 100.000 h.eq.

1. Fangos activos (CAS)
2. Lecho móvil híbrido (MBBR IFAS)
3. Lecho móvil puro (MBBR)
4. Biofiltros granulares (BAF)
5. Bioreactor de membrana (MBR)
6. SBR optimizado (AGS, MBSBR/IFAS).
7. Membranas aireadas (MABR).
8. Retornos – Nitritación Parcial Anammox.
9. Retornos – Recuperación de estruvita.

Tecnologías Cimico

EDAR >100.000 h.eq.

Situación actual Directiva 271/91 NT < 10mg/l y PT<1mg/L

NT < 10mg/l Norg:3mg/L → NH₄+NO₃<7mg/L

Difícil de cumplir por baja DBO/N del agua decantada

PT<1mg/L SI P-PO₄:0.2mg/L → Psst<0.8mg/L

Difícil de cumplir porque requiere SST efluente Bajo (10-20mg/L)

Si ΔP Con coagulante, ratio P/SST:3-4 Si ΔP biológica, ratio P/SST:5-7

Borrador nueva Directiva

NT < 6mg/l Norg:3mg/L → NH₄+NO₃: <3mg/L

- En línea de aguas: **incorporar Post-desnitrificación con carbono externo.**
- En PreD, limitaciones

Para minimizar Carbono externo:

- **Nitrificación parcial anammox en retornos:** Contribuye a la neutralidad energética (menor consumo)
En línea de aguas en aplicaciones futuras
- **Recuperación de N en retornos en aplicaciones futuras**
- **Bypass agua bruta**

PT < 0.5mg/l P-PO₄:0.2mg/L → Psst<0.3 Implica SSTef muy bajo <5-10mg/L

- En línea de aguas : **incorporar Post-filtración (discos, telas, membranas??)**
- También reduce N org ef a 1,5 mg/L

NH₄+NO₃: <4.5mg/L

Para minimizar Coagulante

- **Incorporar reactor anaerobio**
- **Precipitación de P en retornos**
- **Fermentación ácida**

Se recomienda dimensionamiento por simulación y Control avanzado

1. Fango activo (CAS) EDAR >100.000 h.eq.

D-N:

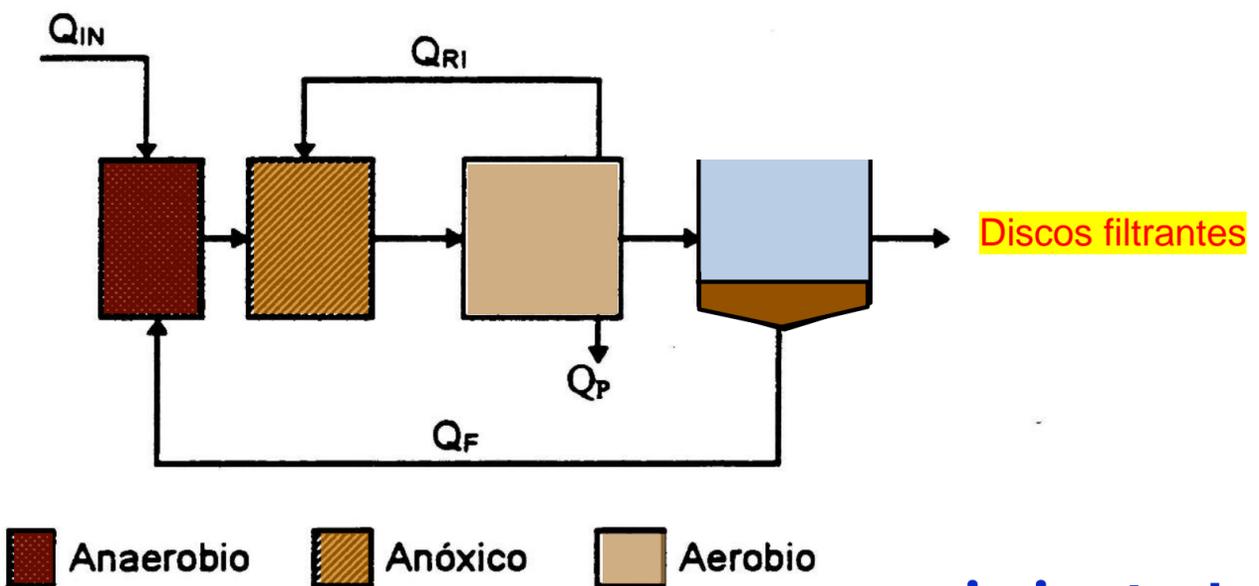
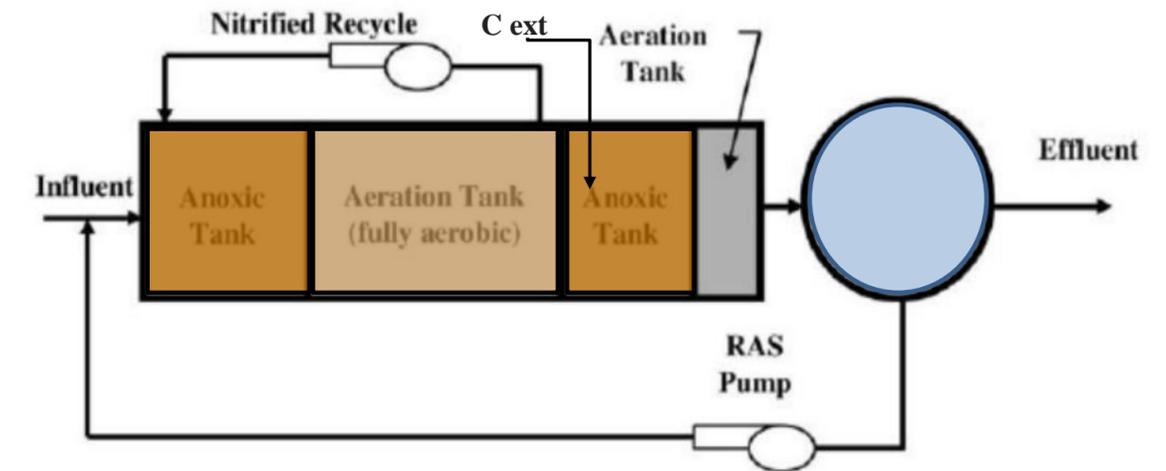
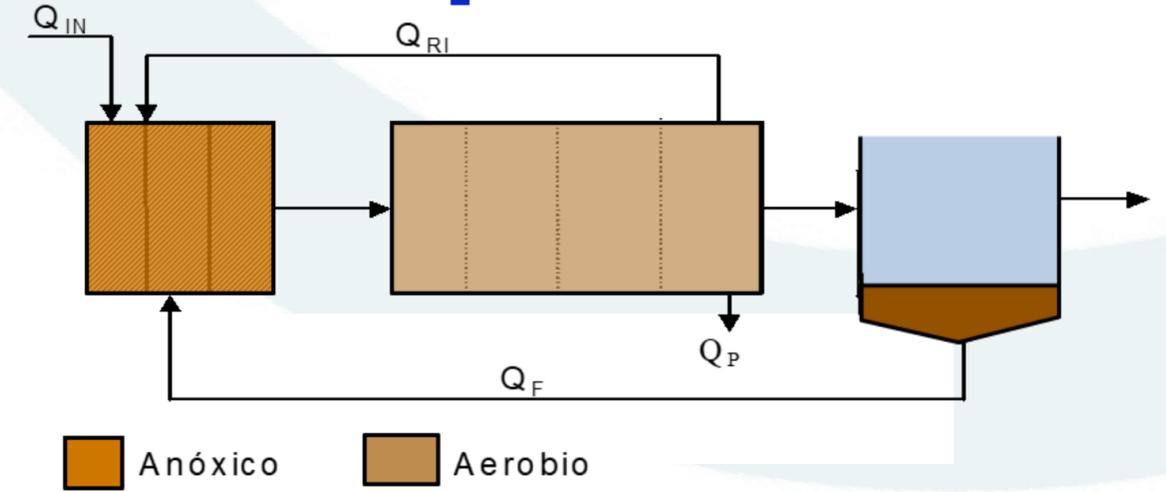
- TRH 10-12h
- Fx:45%
- RI:300%
- desde ΔC TRH 4-6h o Nuevas
- Casos: Bilbao, Pamplona, Vitoria, etc.

ΔP : Con coagulante

- **Fango activo (FA)**: ΔC TRH 4-6h, Sevilla o con ΔN

ΔP biológica:

- **Fango activo ΔNP** : TRH 13-16h Fan:20%, Valladolid, Salamanca



EDAR <100.000 h.eq.

Situación actual Directiva 271/91

NT < 15mg/l Norg:3mg/L  NH4+NO3<12mg/L
PT < 2mg/l Si P-PO4:0.2mg/L  Psst<1.8 mg/l

EDAR 50–100.000 h.eq.: Decantación primaria y digestión anaerobia.

- **Fango activo** : Normalmente **Bioreactores separados**
Cumplimiento Factible

EDAR <50.000 h.eq.: Agua bruta, aireación prolongada y deshidratación.

- **Fango activo**: Mayoría de EDAR
 - **Bioreactores separados**
 - Carrusel: **Cumplimiento holgado** por TRS alto:20–30días

Borrador nueva Directiva

NT < 6mg/l Post-desnitrificación con C ext. **Más exigente: Hay que bajar de 15 a 6mg/l**

- Carrusel: **Fácil de cumplir adicionando C ext**

PT < 0.5mg/l P-PO4:0.2mg/L  Psst<0.3 Implica SSTef muy bajo <5–10mg/L

- En carrusel posibilitando zona anaerobia

Para minimizar Coagulante

- **Incorporar reactor anaerobio**
- **Precipitación de P en retornos**
- **Fermentación ácida**

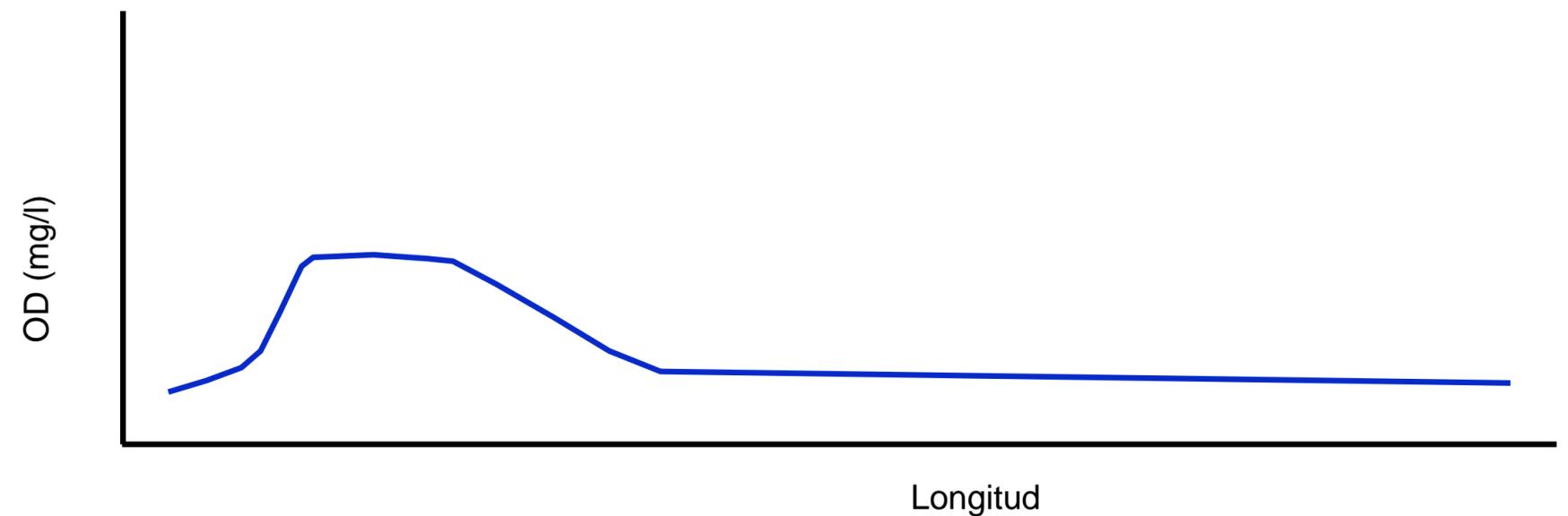
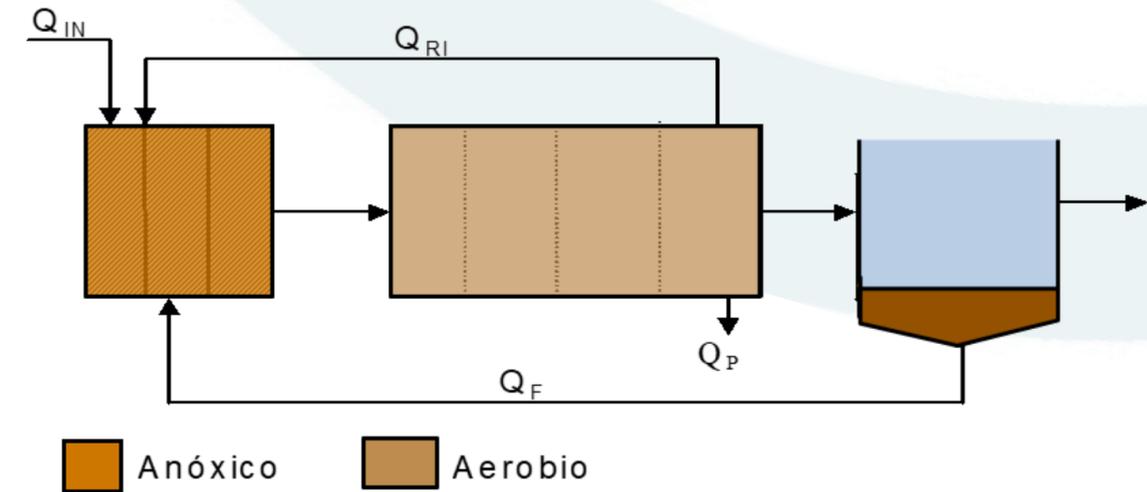
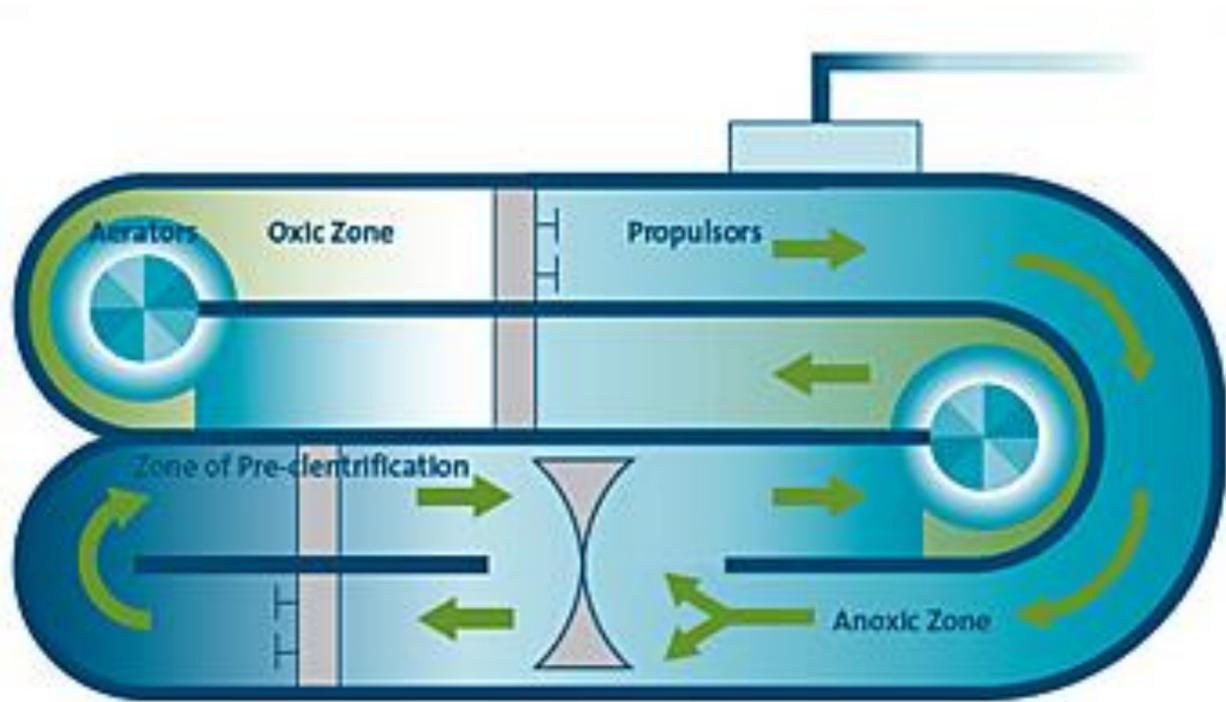
Se recomienda dimensionamiento por simulación y Control avanzado

1. Fango activo (CAS) EDAR <100.000 h.eq.

D-N:

- TRH 9-11h
- Fx:30%
- RI:200%
- desde ΔC TRH 4-6h o Nuevas

Carrusel



2. MBBR IFAS

Características de los medios soporte de la películas

Superficie específica: 200–2000 m²/m³

Porosidad: 10–90%

Características de las biopelículas respecto a fangos activos

– **Muy alta concentración de bacterias y por tanto altas tasas de biodegradación:**

- Heterótrofas: densidad: 150.000 g/m³
- Nitrificantes: densidad: 400.000 g/m³

– **Fenómenos intervinientes:** Difusión de sustrato y oxígeno, adhesión de partículas, crecimiento de bacterias y muerte, desprendimiento de biomasa en la superficie de la biopelícula por cizalladura en el biorreactor.

– **Consecuencia:** **Gradiente de biomasa, sustrato y oxígeno en el espesor de la biopelícula, el cual depende de los fenómenos anteriores.**

– **Primeras aplicaciones:** MBBR puro: Biodegradación aerobia de materia orgánica + nitrificación mediante 2–3 biorreactores en serie: en el primero solo Elim DBO y en el último solo nitrificación.



2. MBBR IFAS Elim N

Reactores Híbrido Nitrificantes (HN):

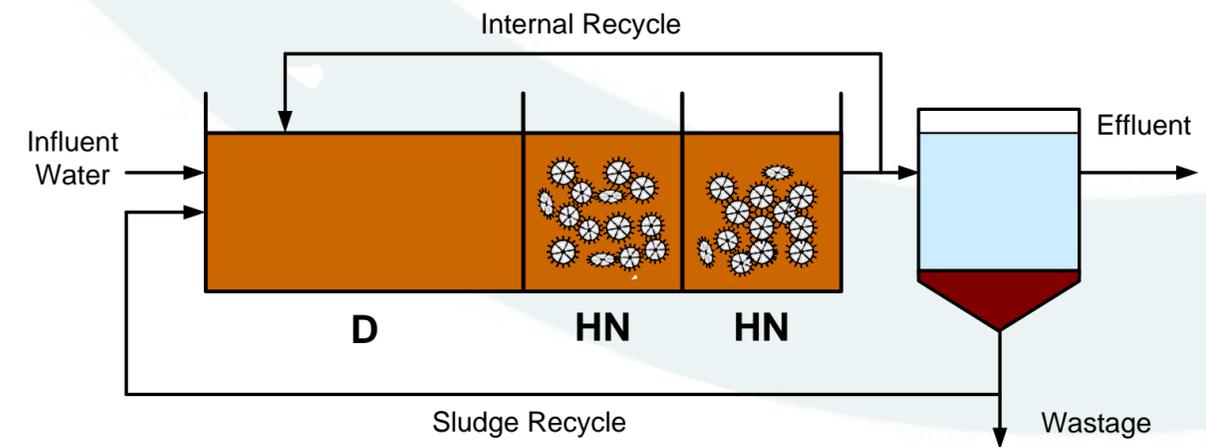
- Biomasa en suspensión y en biopelícula coexisten e interaccionan compitiendo por el amonio
- TRS aerobio mitad que en fango activo
- TRH aerobio: 2-4 horas.

Reactor Desnitrificante (D):

- Desnitrificación en suspensión como en fango activo: Tasa 50% mayor que en MBBR
- TRH anóxico del mismo orden que TRH aerobio

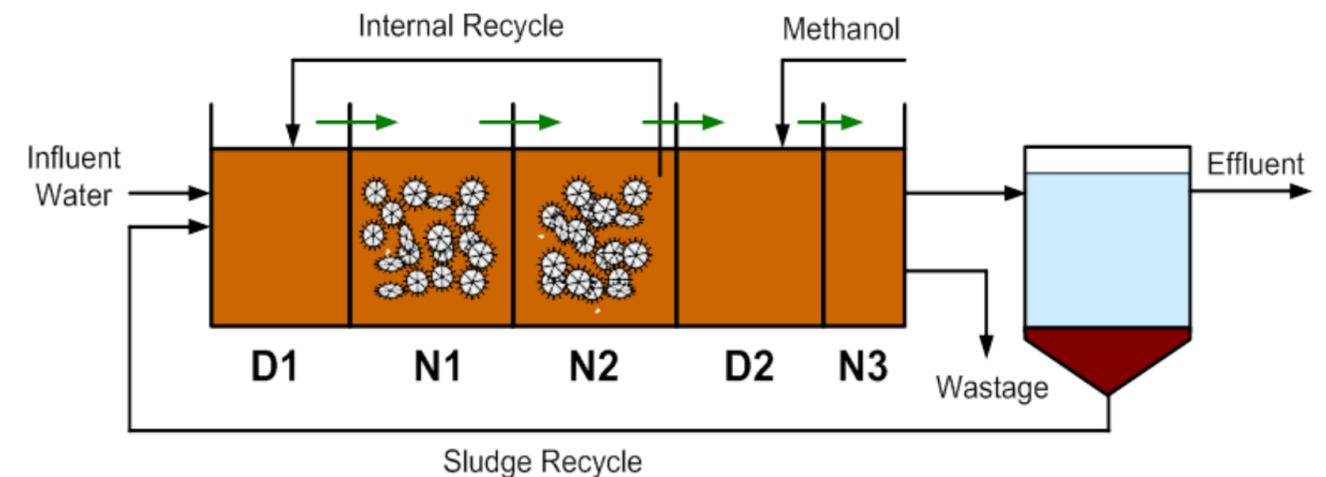
Ampliación a ΔN con proceso IFAS y TRH 4-6h

- ΔNP TRH 6h



• Se mantiene recirculación de fangos. SSLM: 3 – 4 g/L

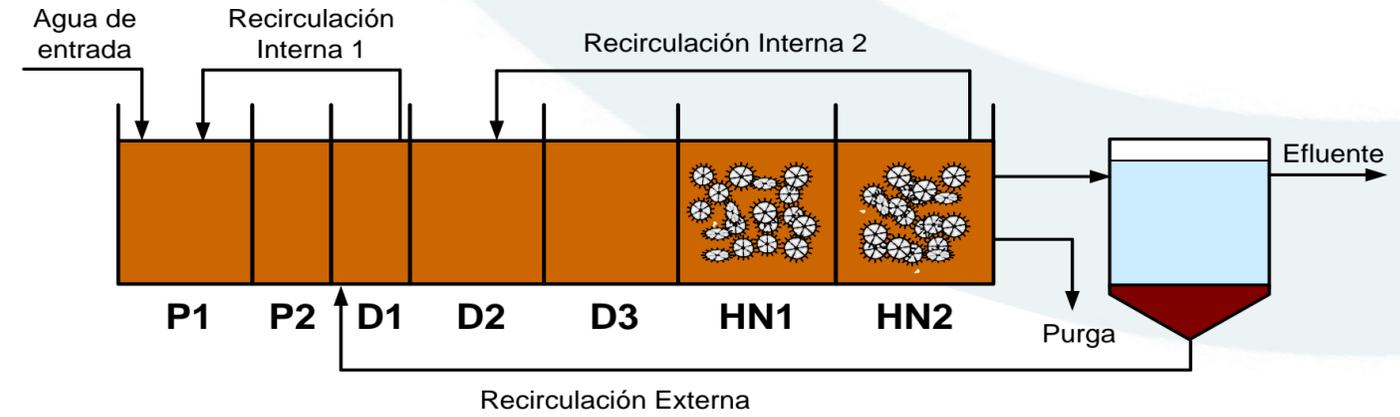
• Sólo Adición de soporte en tanque aerobio de nitrificación



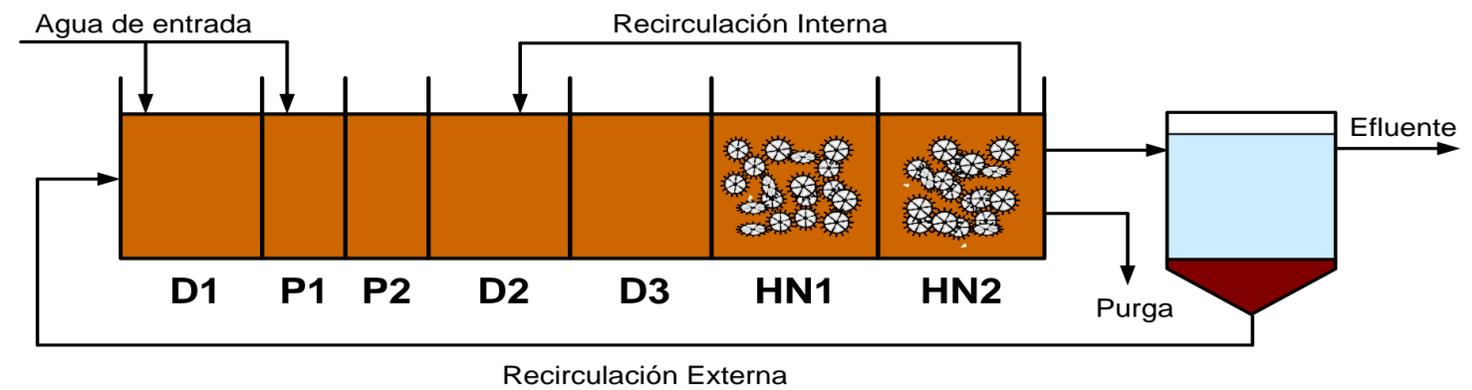
2. MBBR IFAS Elim NP

Configuración UCT modificado

- Fracción anaerobia del 20%, anóxica del 40% y aerobia del 40%
- TRH: 7-8 horas



Configuración Johannesburgo



2. MBBR IFAS

Ventajas

- Bajo espacio requerido. Bioreactor aerobio: 40-50% del Total.
- TRH para elim NyP: 1/2 de fangos activos
- Menor TRS que D-N y, por tanto, fango menos estabilizado y mejor para DA
- Sencillez de instalación, funcionamiento y operación
- Se adecua muy bien para remodelación de fangos activos existentes
- Robustez de funcionamiento: Dec 2º y no Bulking folamentoso por bajo TRS
- Tasa de pre-desnitrificación similar a fangos activos
- Eliminación de fósforo biológica igual que en fangos activos

Limitaciones

- Relativamente alto consumo de oxígeno-energía
- Decantador secundario → espacio

Para >100.000 Posible Cambio de paradigma: ¿Por qué no agua bruta?

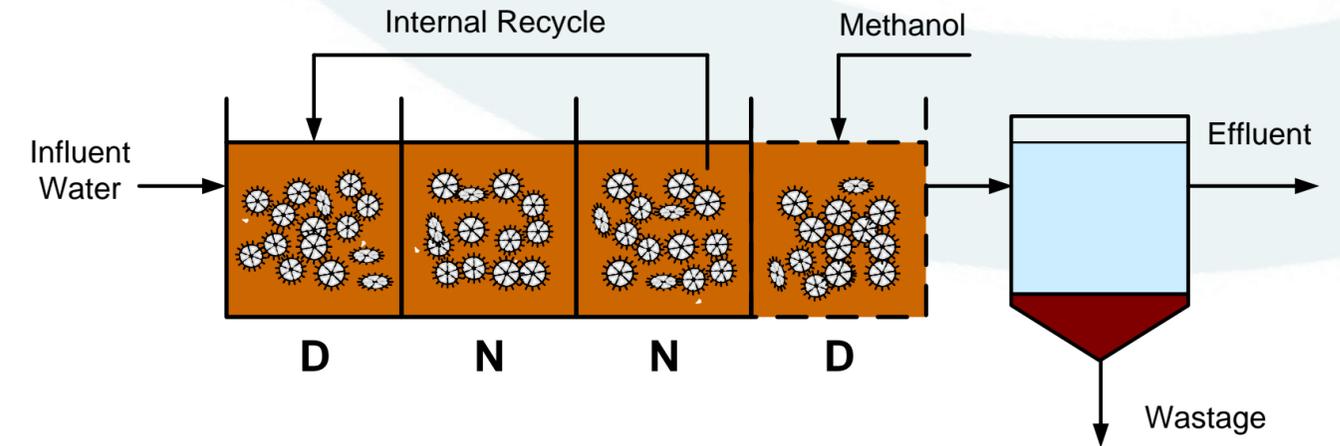
Para <500000 Cambio de Paradigma.

Empleo MBBR IFAS que permiten bajar el TRS considerablemente, lo que implica mayor potencial de generación de biogaás y, por tanto, aplicar digestión anaerobia para la estabilización del fango.

3. MBBR PURO

Eliminación de N

- Consumo de DBO con oxígeno de la recirculación
- Baja tasa de desnitrificación
- Escapa DBO particulada de biofiltro predesnitrificante
- Crecimiento de X_h en N1 y N2 que reduce Tasa de nitrificación (T_n)
- Reactor de postdesnitrificación con metanol para bajo nitrato efluente



3. MBBR PURO

Ventajas

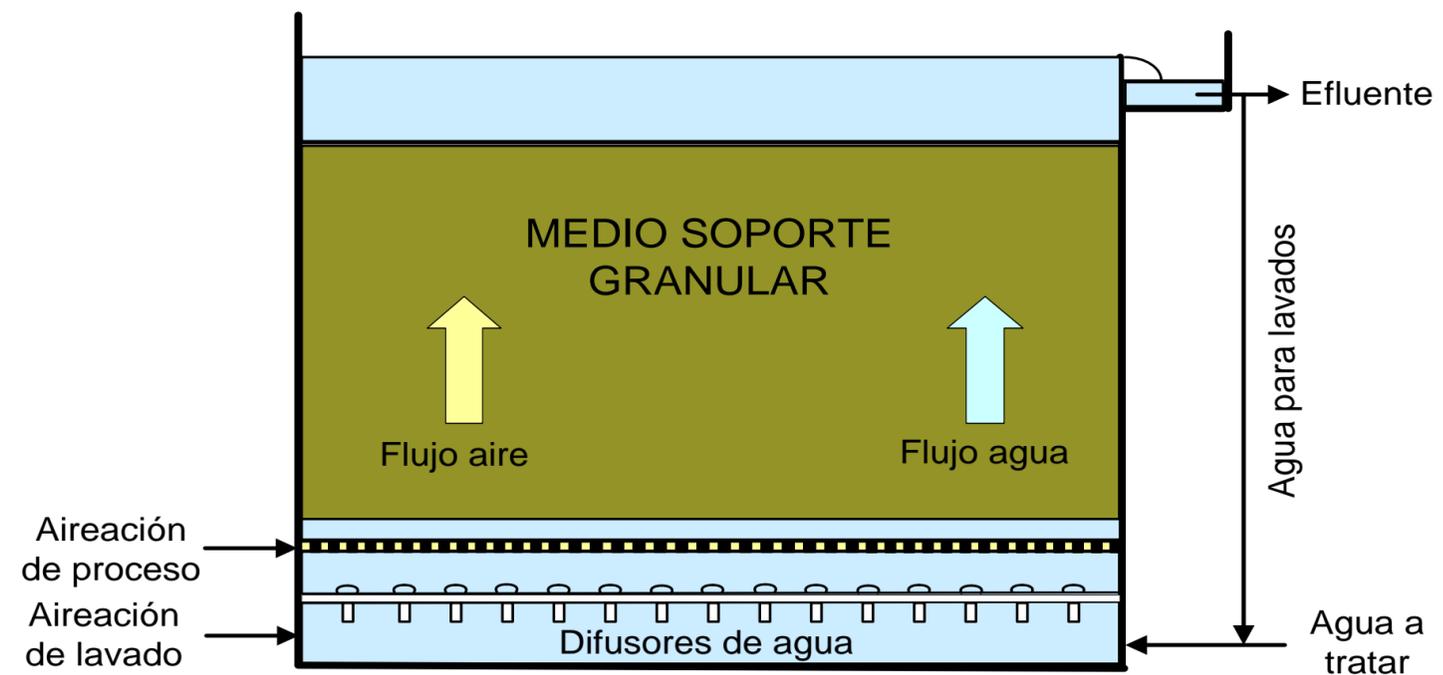
- Bajo espacio requerido. TRH para nitrificar: 1/2-3 de fangos activos
- Decantador lamelar o similar
- Sencillez de instalación, funcionamiento y operación
- Robustez ante picos de carga de Nitrógeno y tóxicos y temp
- Robustez de funcionamiento: Dec 2º y no Bulking filamentoso

Limitaciones

- Relativamente alto consumo de oxígeno-energía
- Baja tasa de pre-desnitrificación:
- Posible necesidad de coagulante para mejorar clarificación
- Eliminación de fósforo físico-química
- Relativamente alto coste de lechos móviles

4. BAF

- Soporte fijo con alta superficie específica y baja porosidad
- Biodegradación en biopelícula (alto DO: 4mg/l) y filtración → **No decantación secundaria**
- Necesidad de bajos SS influente y lavados (fango en exceso)
- Modular. Compacto → Gran potencial con escasez de espacio



Relleno 3 – 8 mm

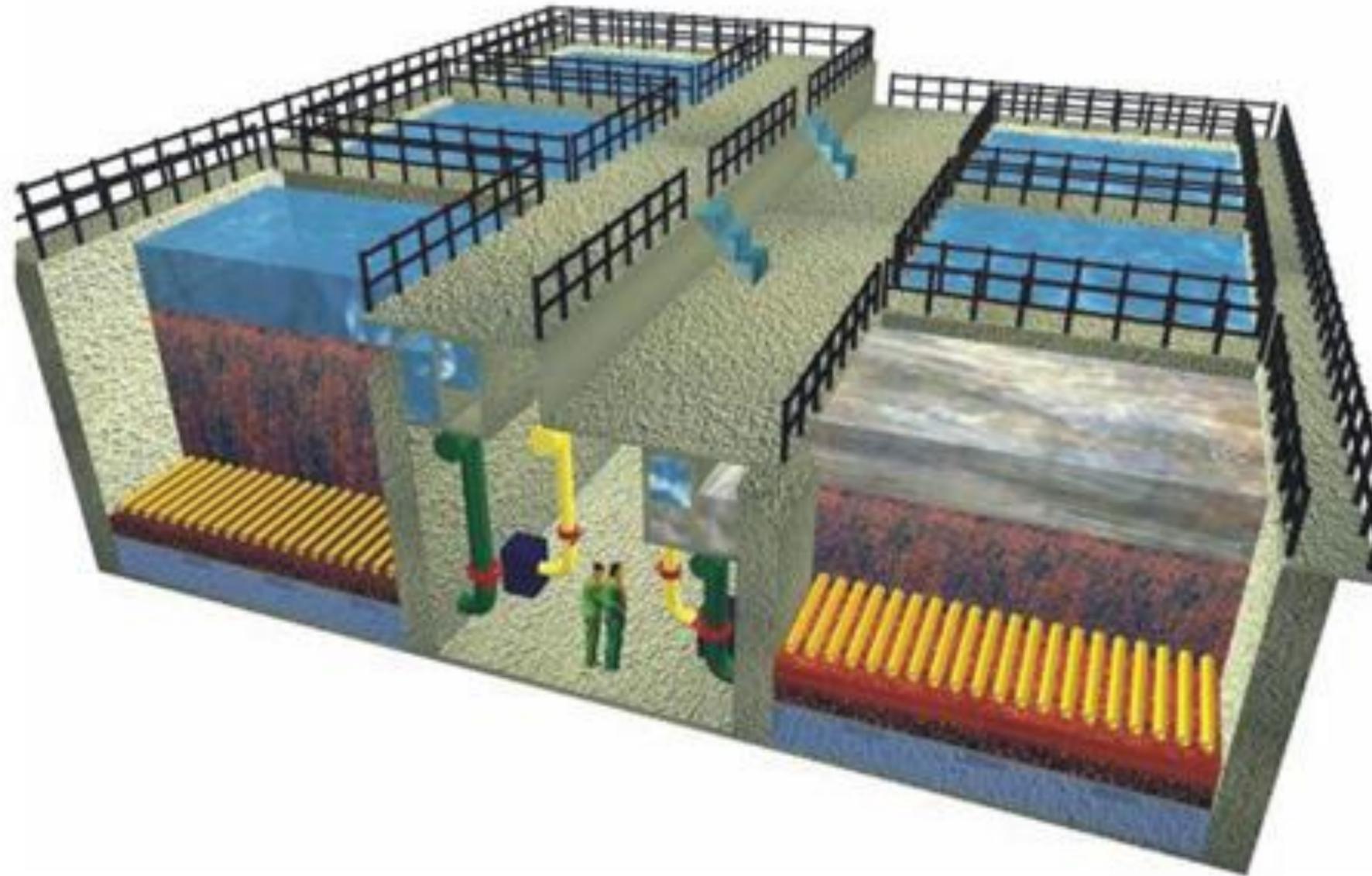


Poliestireno



Arcilla expandida

4. BAF



4. BAF

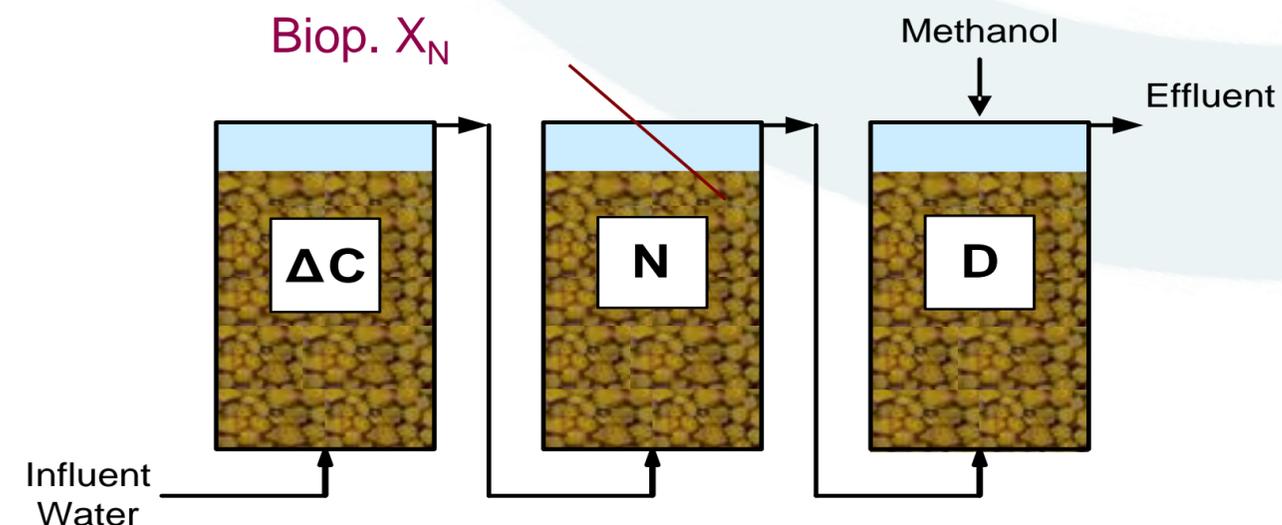
Eliminación de N por etapas en serie

Nitrificación:

- Gránulos de menor tamaño (3mm)
- Biomasa nitrif. (X_N) Alta densidad: 400000g/m^3
- Tasa de nitrif Terciaria.: $1-1.5\text{ kg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ a $12-13^\circ\text{C}$

Desnitrificación

- Post- Desnitrificación con metanol
- Gránulos de mayor tamaño (5mm)
- Tasa de desnitrif.: $3.5-5\text{ kg N-NO}_3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$
- EDAR Oslo

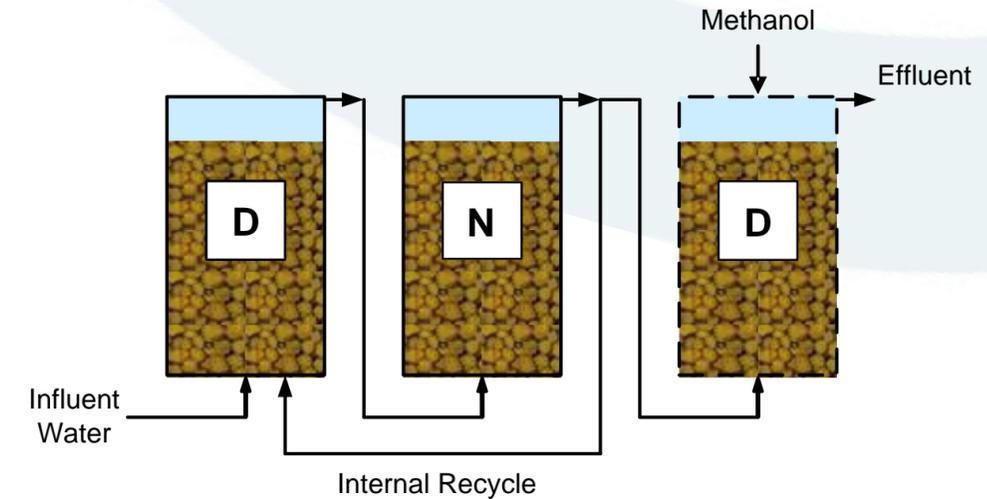


4. BAF

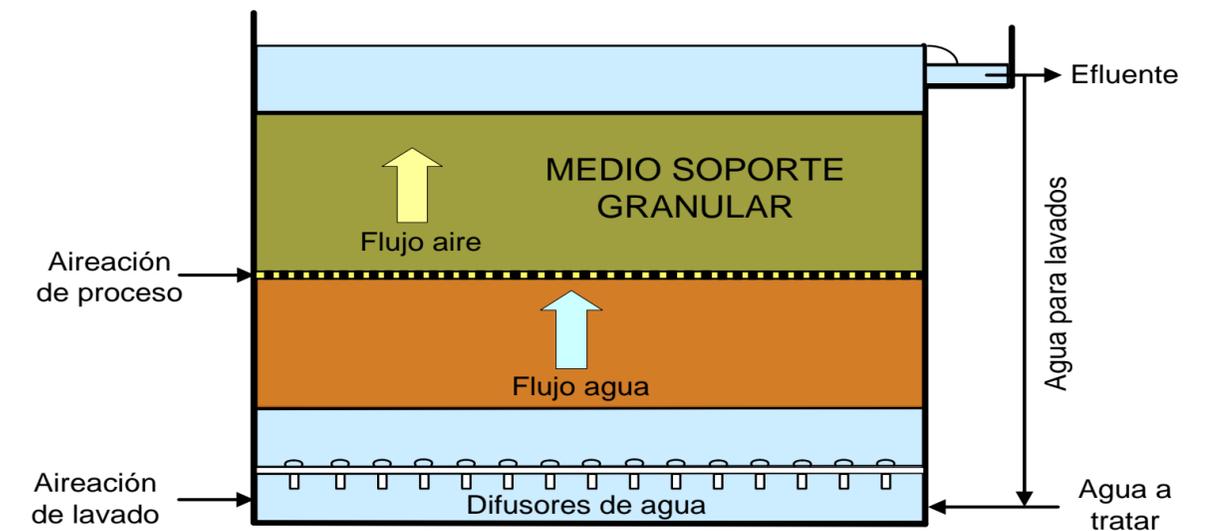
Eliminación de N en PreD-N

- Consumo de DBO inf soluble(Ss) con oxígeno de la recirculación
- Baja concentración de sólidos suspendidos influente. Se retienen y contribuyen a la desnitrificación. Tasa: 1 kg N-NO₃/m³· d
- Escapa algo DBO de biofiltro predesnitrificante
- Posible Colonización con Xh de zona inferior del biofiltro nitrificante
- Tasa de nitrificación: 0.5– 0.7 kg N-NH₄/m³· d a 12°C (mitad de Nit Terciaria)
- Biofiltro de postdesnitrificación con metanol para bajo nitrato efluente

Etapas separadas



Celda única



4. BAF

Ventajas

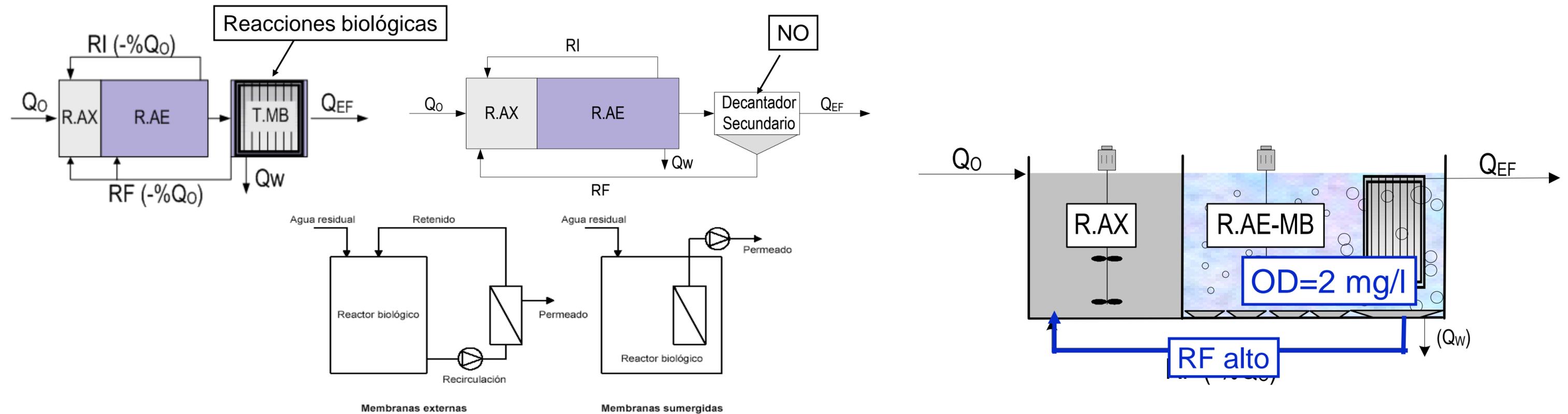
- Bajo espacio requerido. TRH para nitrificar: 1/3-4 de fangos activos
- Se adecua bien par plantas nuevas pero limitaciones para remodelación de fangos activos existentes

Limitaciones

- Relativamente alto consumo de oxígeno-energía
- Baja tasa de pre-desnitrificación:
- Complejidad de funcionamiento por necesidad de lavados adecuados
- Robustez de funcionamiento problemática en periodos de lluvias
- Eliminación de fósforo físico-química

5. MBR

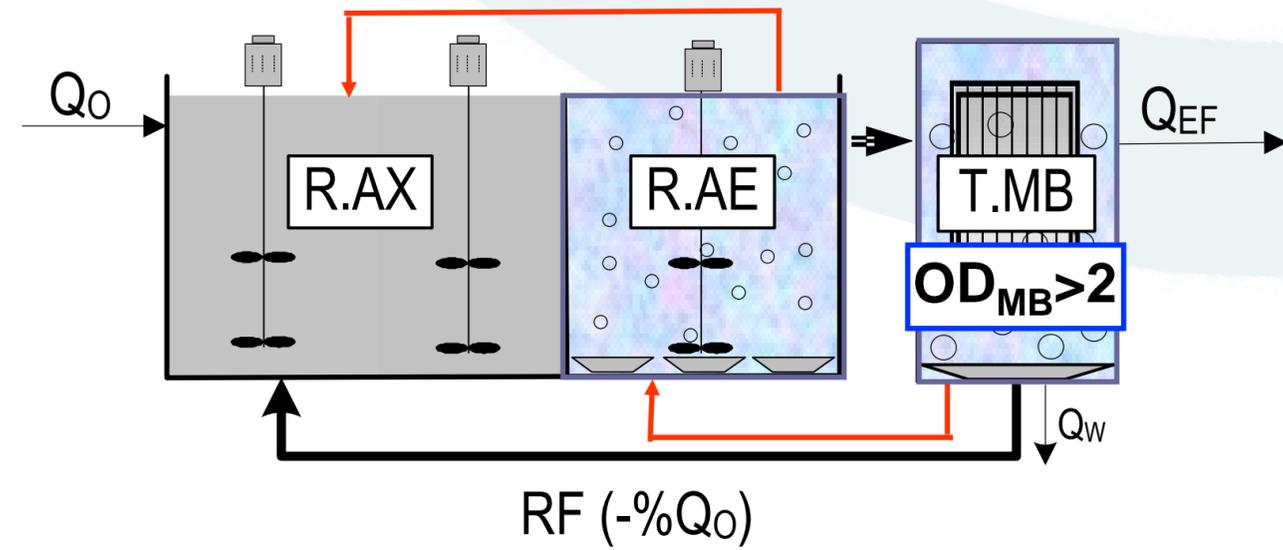
- Módulos de membranas de filtración en lugar de Dec. Secundarios
- Membranas sumergidas de succión o membranas externas de presión
- Membranas planas o fibra hueca
- ALTAS SSLM en zona de Membranas
- Altas Recirculaciones para minimizar gradiente de sólidos en Bioreactores
- Propuestas de configuración y dimensionamiento muy diferentes



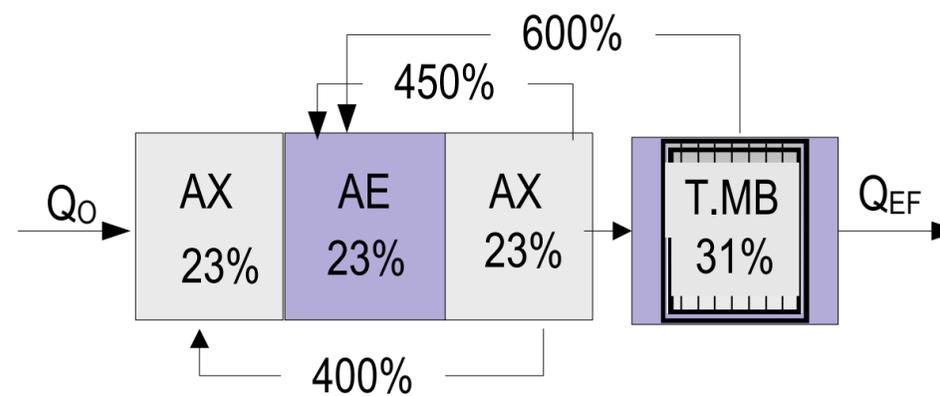
5. MBR

Tanque de membranas separado. Elim N

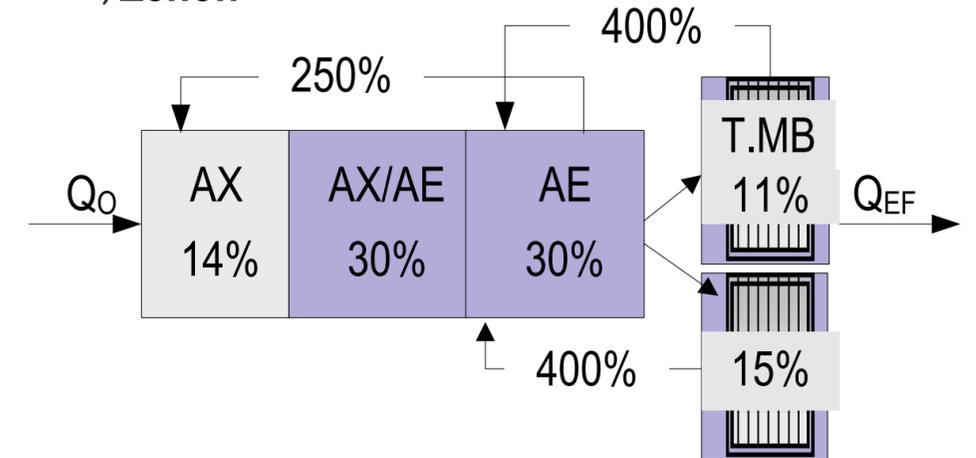
- Aplicación convencional Edar med y peq: TRS total alto.
- TRS reactor aerobio = fangos activos. Posible $OD_{MB} > 2$



a) Mitsubishi



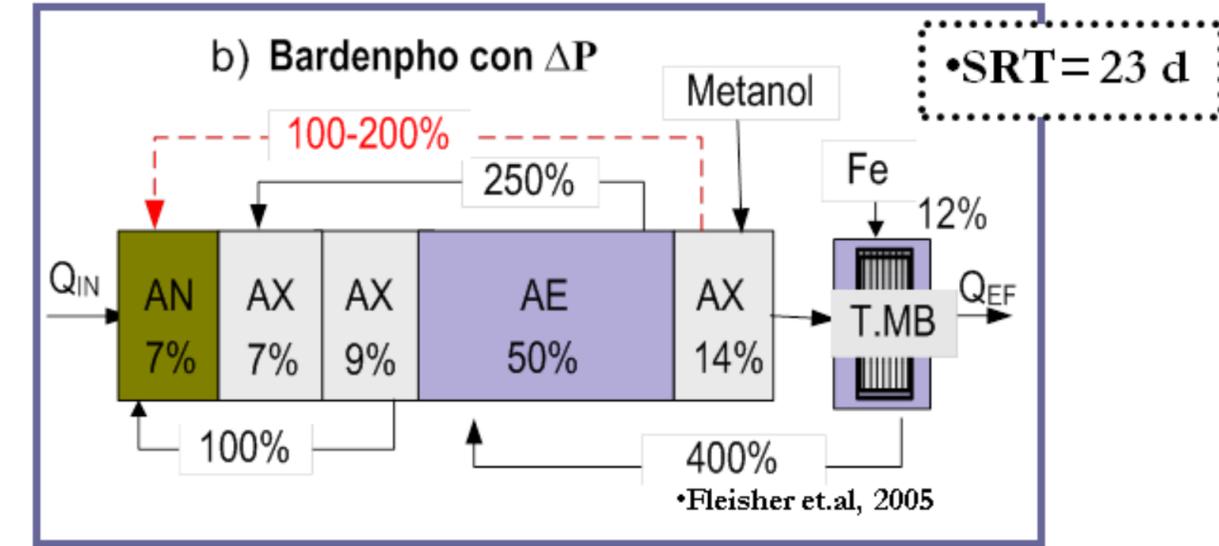
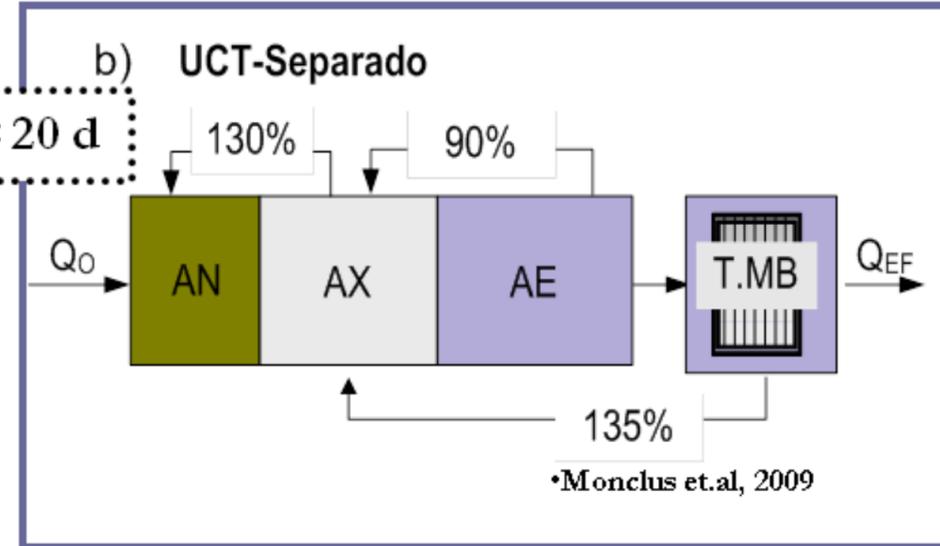
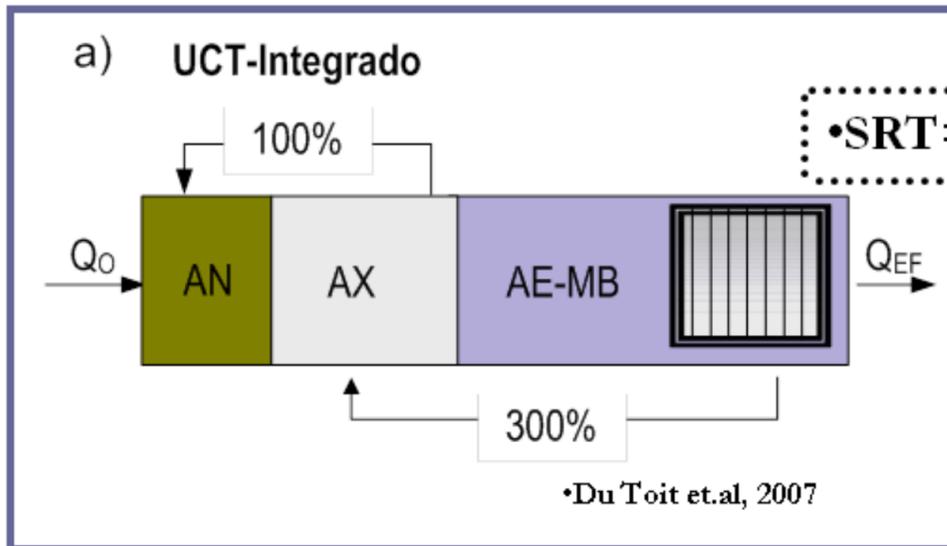
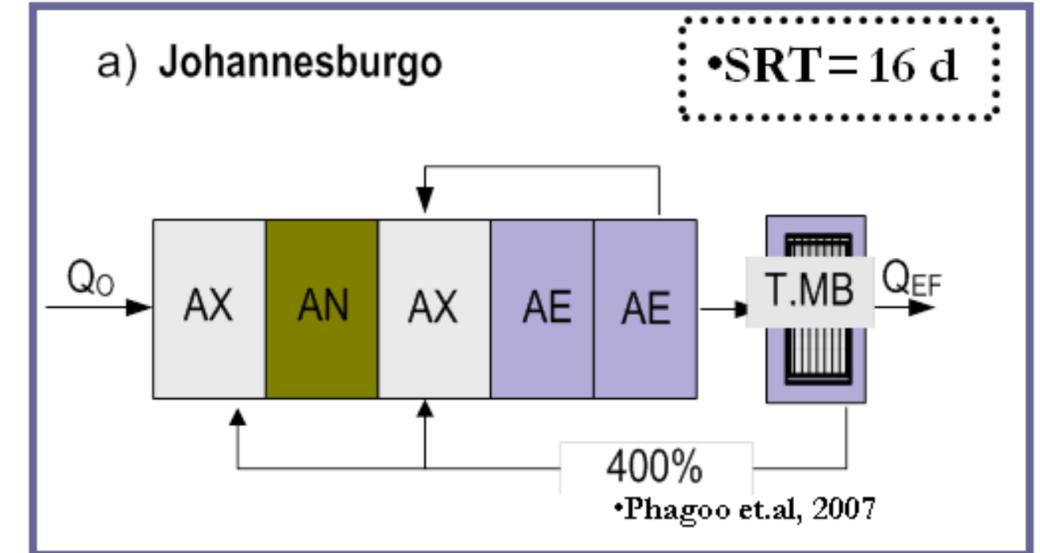
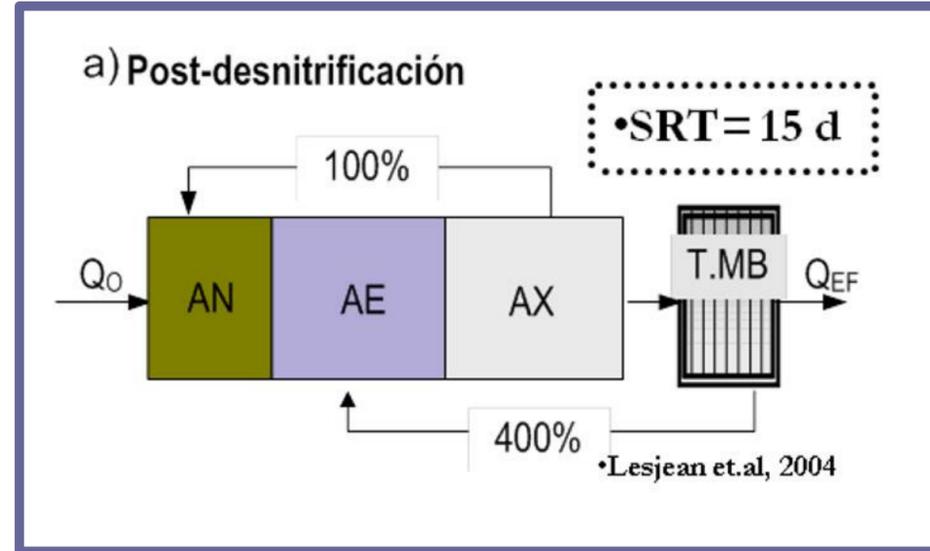
b) Zenon



5. MBR

Elim de N y P

- Plantas medianas-grandes
- Aplicación de TRS mínimo y digestión separada de fangos para minimizar TRH y requerimientos de Oxígeno



5. MBR

Ventajas

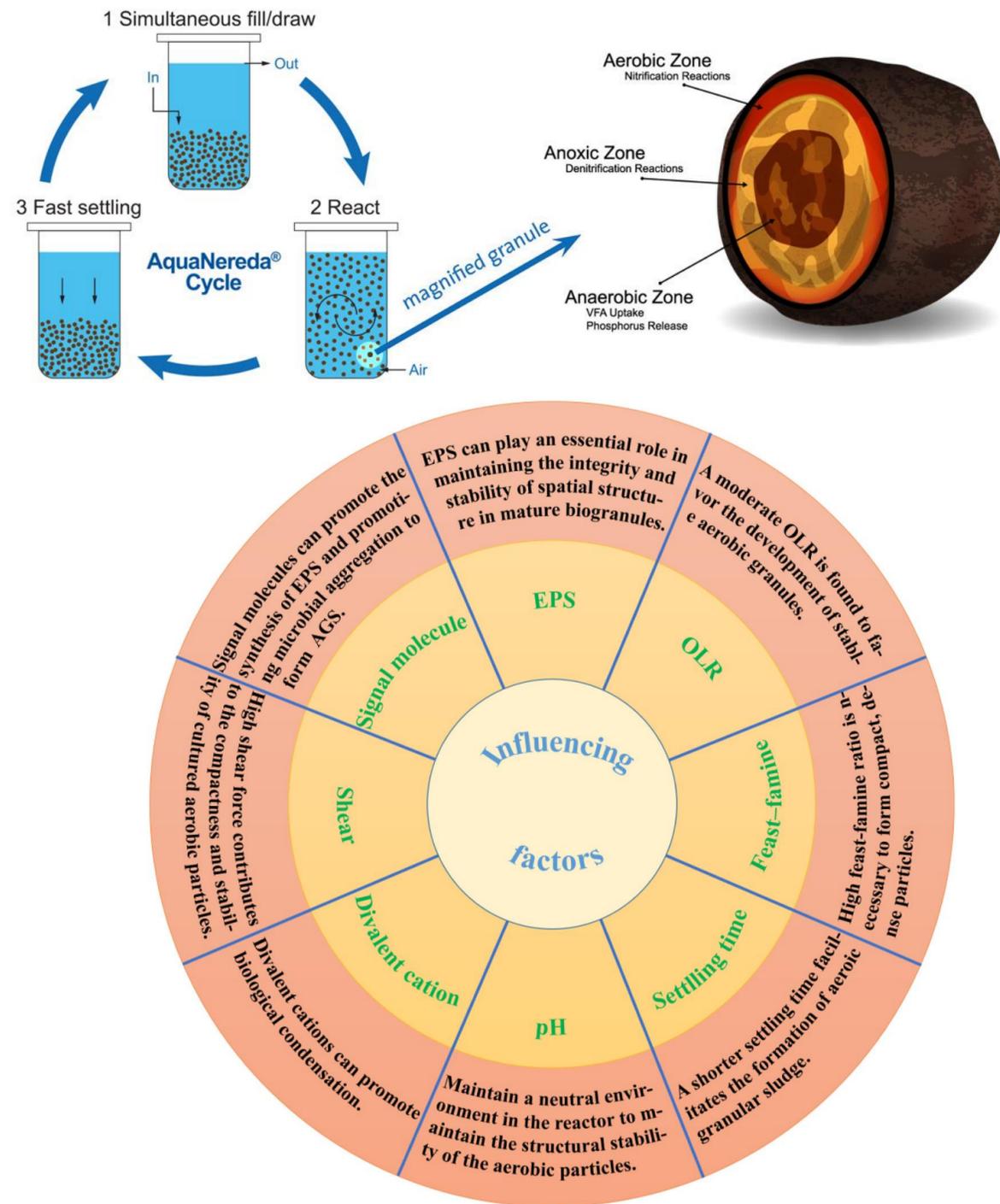
- Reducción de espacio requerido por alto SSLM en Bioreactores y sin DEC
- Obtener un Efluente sin Bactreias patógenas de cara a reutilización
- No hay problemas de bulking filamentoso

Limitaciones

- Mayor complejidad que FA
- No está claro el dimensionamiento óptimo de reactores mediante técnicas convencionales. Se recomienda simulación. Propuestas de Dimensionamiento muy diferentes
- CAPEX y OPEX relativamente altos

6. SBR OPTIMIZADO

AGS



g. 2. Influencing factors on AGS stability in wastewater treatment.

Granule formation mechanism, key influencing factors, and resource recycling in aerobic granular sludge (AGS) wastewater treatment: A review

Shuli Liu ^{a,b,c,*}, Miao Zhou ^a, Glen T. Daigger ^c, Jianping Huang ^a, Gangfu Song ^{a,b}

Journal of Environmental Management 338 (2023) 117771

gradually increased and achieved remarkable results. The AGS process has been widely used for treating many refractory or noxious wastewaters with high N and P loads, heavy metals, and toxic organic matters (Nancharaiah et al., 2018; Sarma et al., 2017; Zhang and Tay, 2016), but the rapid cultivation and stability of AGS are still the main bottlenecks restricting its industrial application. The AGS process requires quite strict conditions, which are affected by many regulating factors, such as hydraulic shear force, settling time, organic loading rate (OLR), pH, etc. Moreover, after a period of stable operation in the AGS wastewater treatment system, filament-like bacteria expansion, reduction of microbial activity, disintegration of the granular core, and other problems are prone to occur, which eventually lead to the instability and disintegration of granular sludge (Lee et al., 2010). Therefore, it is essential to know how to shorten the granulation time of aerobic granules, maintain the stability of granule structure and function in practical applications to avoid critical problems such as granule disintegration, sludge flotation, and degradation of deconfouling performance during the AGS process, which can accelerate the application of AGS technology in the field of wastewater treatment (Corsino et al., 2018; Han et al., 2022).

2020). This operation strategy is designed to promote slow growing heterotrophs, especially polyphosphate-accumulating organisms (PAOs) and glycogen-accumulating organisms (GAOs), as dense aggregates that settle at a much higher rate than flocs and thus can be effectively retained in SBR. As heterotrophs grow, millimeter-sized granules were gradually formed (Fall et al., 2022; Nancharaiah and Sarvajith, 2019).

6. SBR OPTIMIZADO

AGS

Ventajas

- No necesidad de medio soporte (lechos móviles, membranas)
- Muy Bajo espacio requerido.
- Altas tasas de nitrificación en la biopelícula del gránulo
- Alta tasa de eliminación de fósforo en gránulos
- NO RI ni RF por SBR.
- Consumo de energía razonable
- Muy bajo IVF
- Se adecua bien par plantas nuevas pero limitado para remodelación de fangos activos existentes, salvo SBR

Limitaciones

- No clara generación de gránulos en todos los casos: Dependencia de las características del agua influente
- Alto caudal de purga
- Existencia de fango floculento aunque con bajo IVF, donde probablemente tiene lugar una desnitrificación significativa
- Relativa complejidad de operación

6. SBR OPTIMIZADO

MB-SBR IFAS – SBR con lecho móvil IFAS

Ventajas

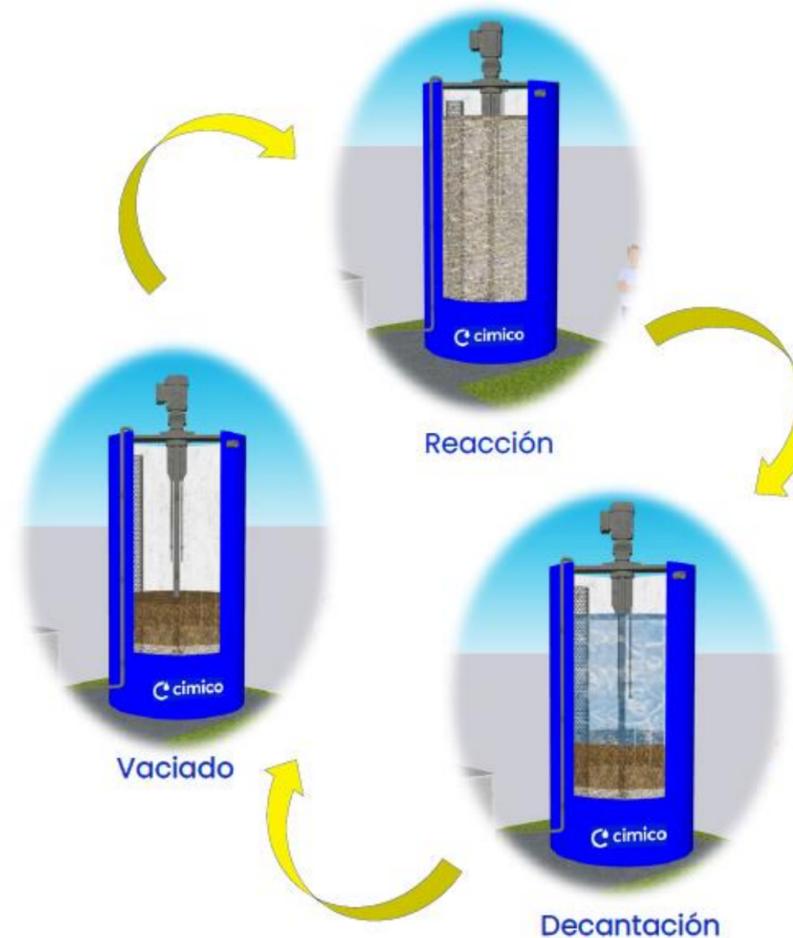
- **Alta nitrificación en biopelícula.**
- Alta desnitrificación en suspensión.
- Alto grado de efecto IFAS.
- **Alta capacidad de eliminación de nitrógeno.**
- **Eliminación biológica de fósforo.**
- **Bajo IVF.**
- Alto intercambio de volumen.
- **Solución más compacta que un SBR convencional.**
- **Mínimo CAPEX: <20% del volumen del reactor con lecho móvil MOBED®.**
- Control automático propio de Cimico para asegurar el **cumplimiento de los requerimientos y minimizar el consumo energético.**

Versión con TRS bajo que genera:

- Mayor compacidad que versión HIGH.
- Fango poco estabilizado.
- Alto potencial de generación de biogás.

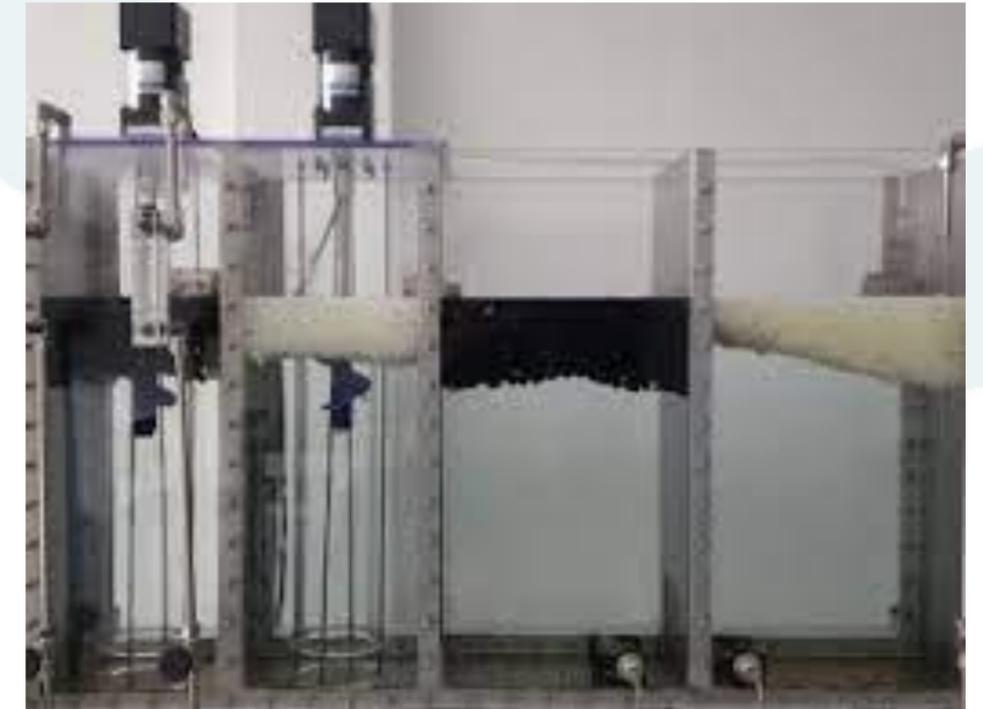
Versión con TRS alto que genera:

- Baja producción de fangos.
- Alta estabilidad de fango.

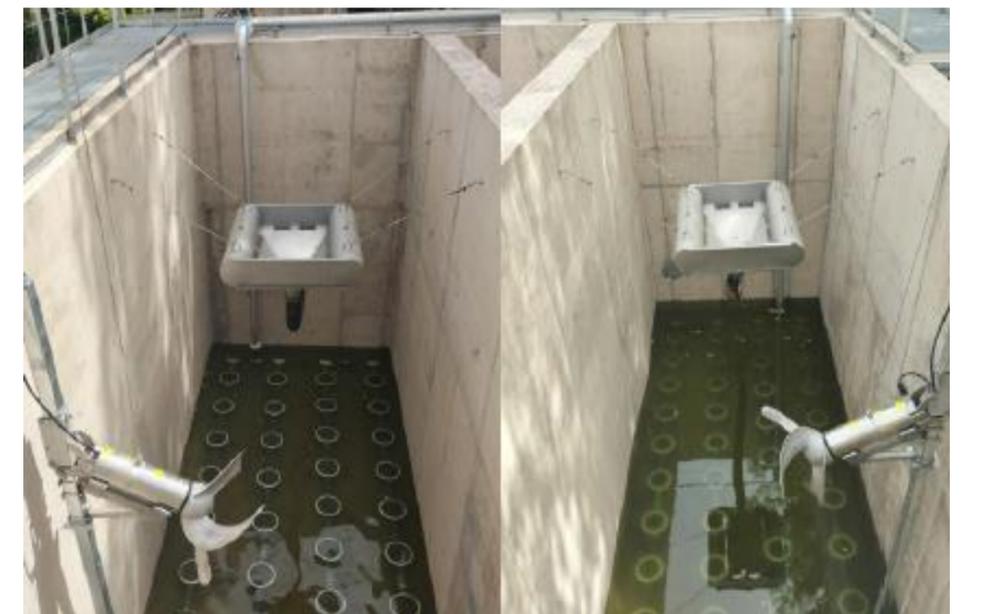


Factores p

Ecopure Tech Inc

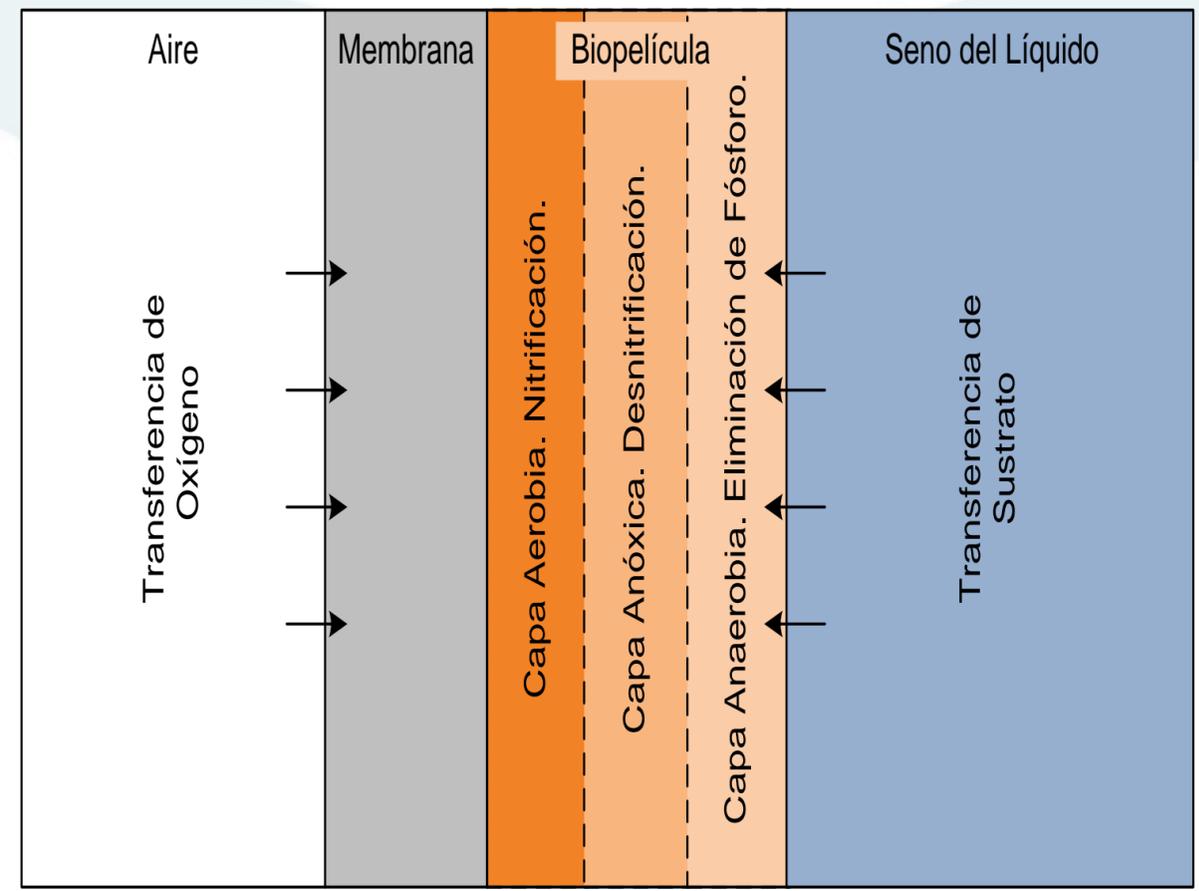
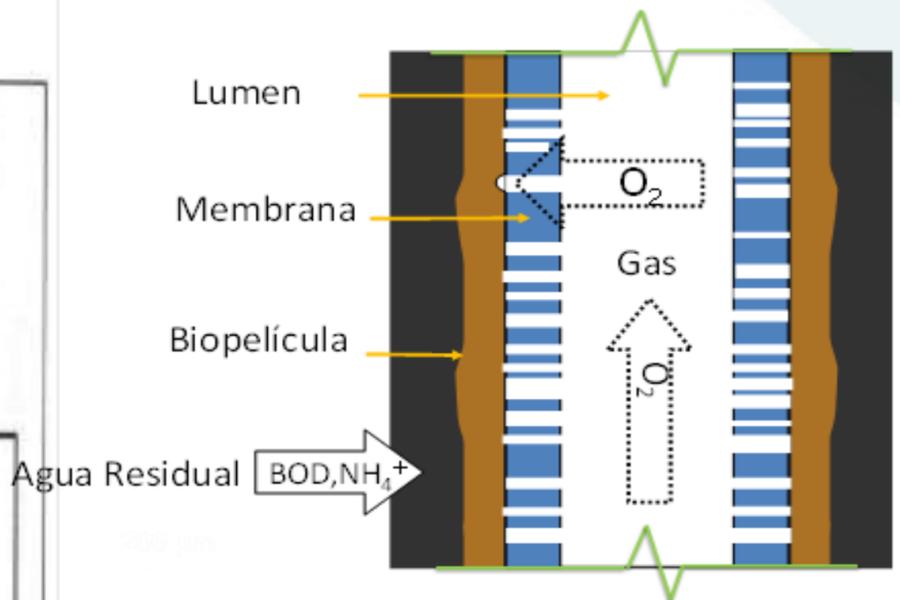
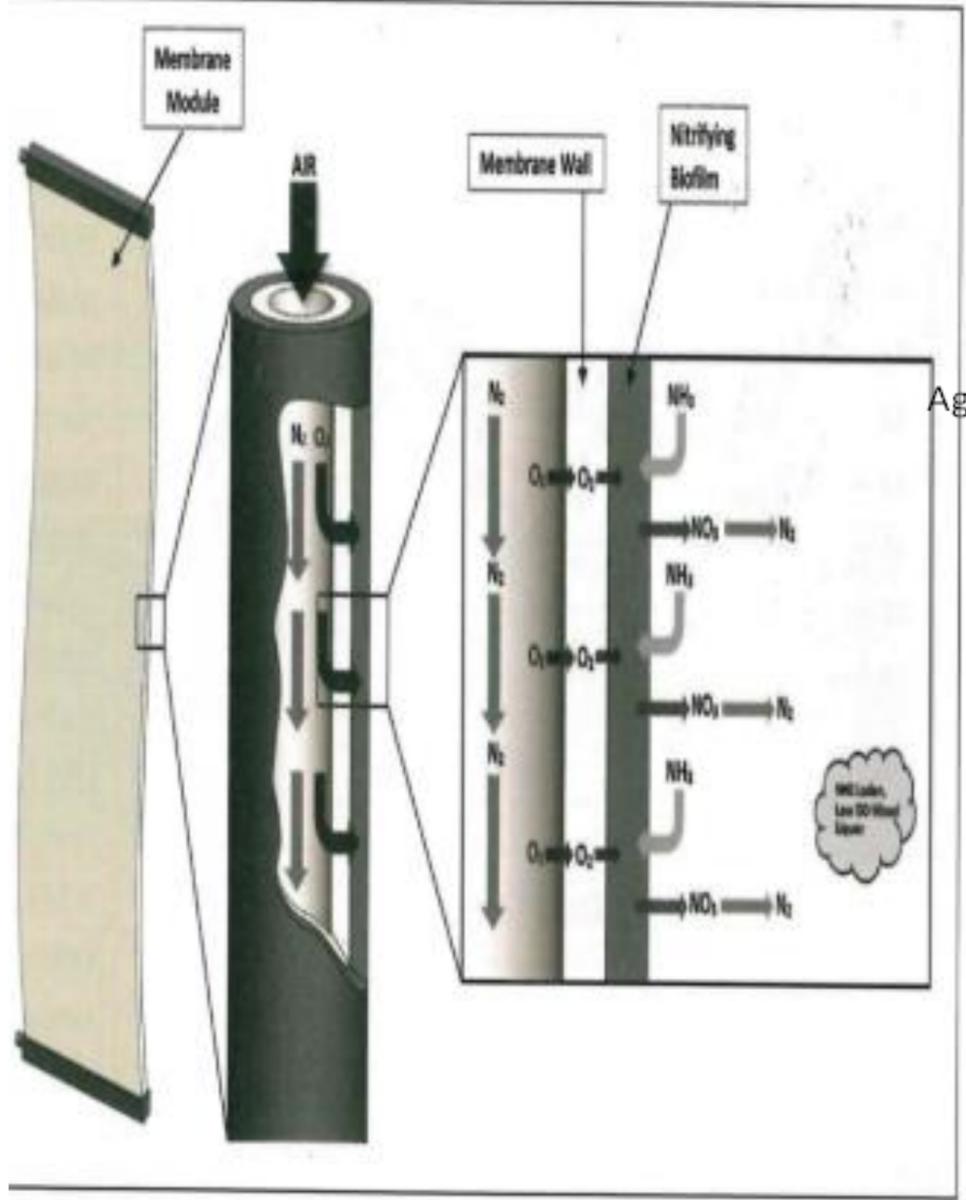


Sembba®

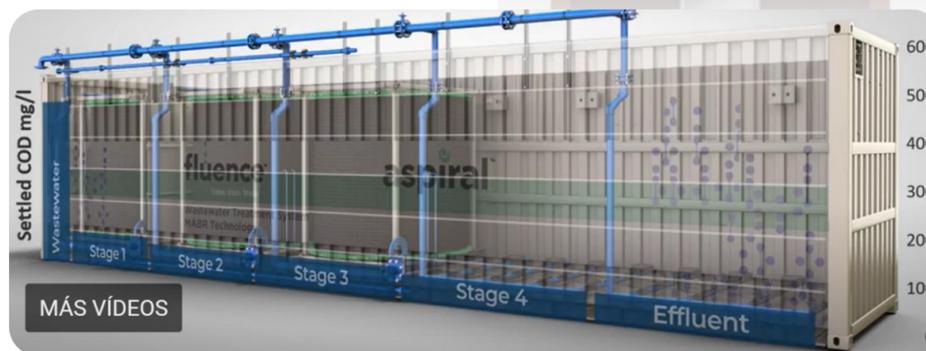
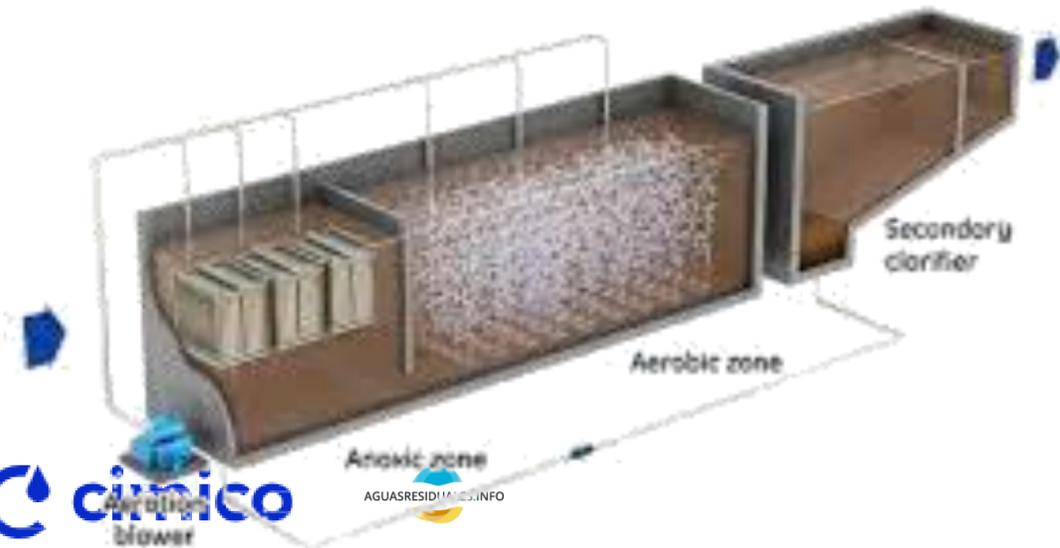
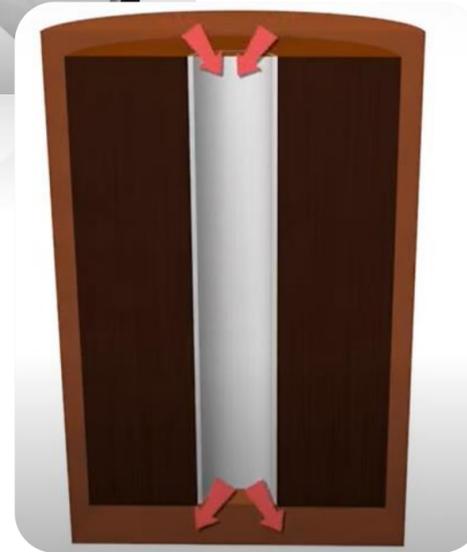
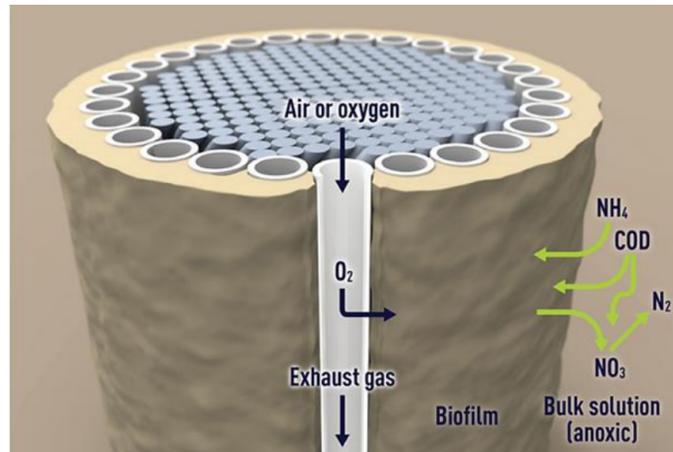


7. MABR

Figure 1. The basic principle of membrane-aerated biofilm reactor technology



7. MABR IFAS



7. MABR

Ventajas

- Bajo espacio requerido.
- Altas tasas de nitrificación.
- TRH para nitrificar: 1/3-4 de fangos activos
- Bajo consumo de oxígeno-energía
- Robustez de funcionamiento : Dec 2ºy no Bulking filamentoso

Limitaciones

- Relativa complejidad de instalación, funcionamiento y operación
- Igual que en MBBR: Baja tasa de pre-desnitrificación
- Relativamente alto coste de módulos de Membranas
- Baja Aplicación en IFAS

Soluciones híbridas

Tecnologías en serie

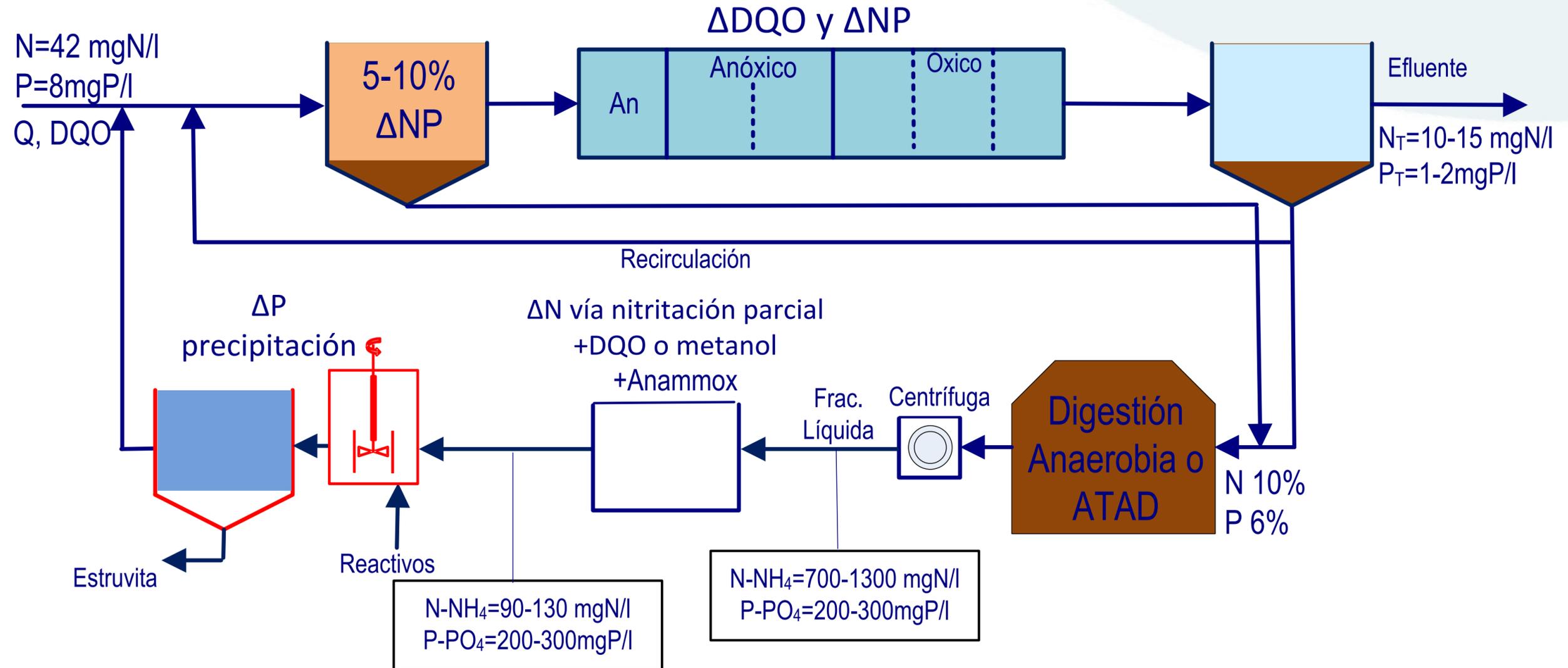
- Fango activo + BAF/MBBR UF
- MBBR IFAS+ UF
- BAF + UF
- MBBR + UF

Tecnologías en paralelo

- Fango activo || MBR
- Fango activo || SBR optimizado
- Fango activo || BAF
- MBBR IFAS || MBR

Pensar en posibilidad de reutilizar agua con N y P a medida: Agricultura sostenible

7. Retornos - Nitritación parcial Anammox



Nitritación parcial Anammox

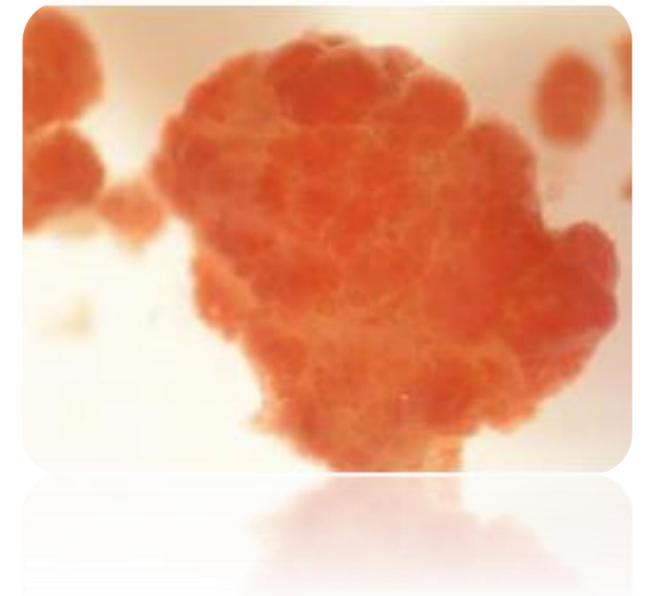
Nitritación parcial



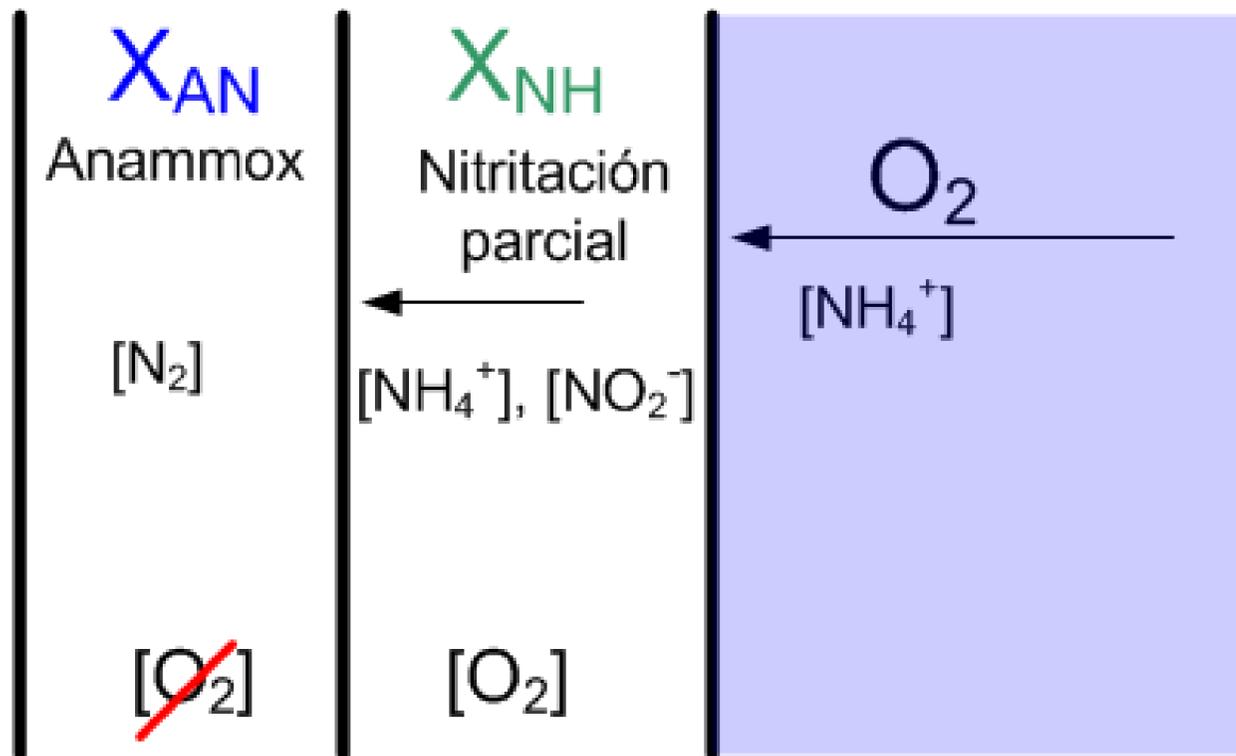
Anammox (Anaerobic ammonium Oxidation) a partir de nitritación parcial



Ahorro adicional de O₂ (50 - 60 %) y C (100 %) respecto a nitrificación – desnitrificación convencional. Menor producción de fangos



7. Retornos - Nitritación parcial Anammox 1 Etapa



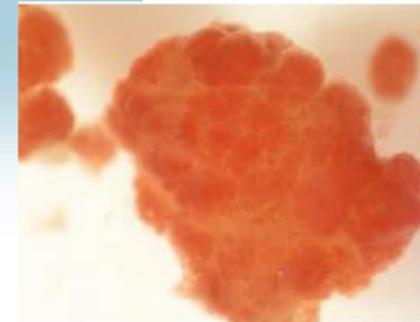
- Anammox . Paques. Granular.
- ELAN-AQUALIA. Granular
- DEMON . SBR con floculo
- ANITAMOX. Veolia. Lecho móvil plástico. Granja Anammox.
- NAS.SBR. Ahidra-Colsen:

7. Retornos - Nitritación parcial Anammox Granular - Pacques

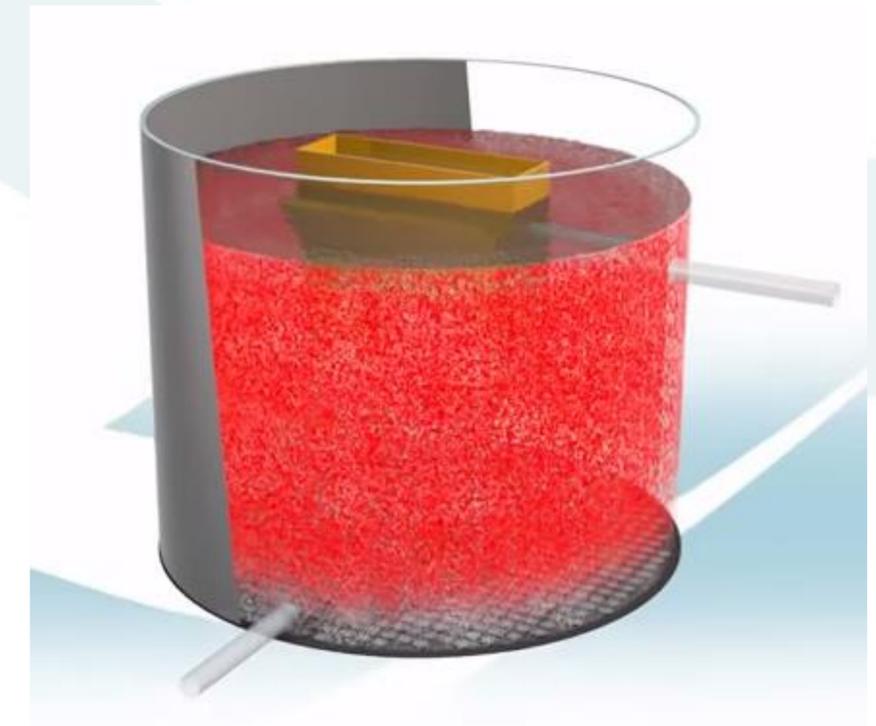


Main characteristics

- Single reactor system
- Granular biomass
- Continuous process
- Compact reactor design
- Easy operation
- Full scale experience since 2002



- Aerated and equipped with a biomass retention system.
- The wastewater is continuously fed to the reactor.
- The aeration provides for rapid mixing of the influent with the reactor content
- The treated wastewater leaves the reactor by passing the biomass retention system at the top of the reactor.
- The granular biomass is separated from the cleaned wastewater, assuring high biomass content in the reactor
- Automatic control of DO, pH and nitrogen.



- Specially designed three phase separator
- High biomass retention



7. Retornos – Nitritación parcial Anammox

Granular – Pacques

Ventajas

- No necesario medio soporte de biopelícula
- Bajo espacio requerido por NP/A conjunta en gránulo

Limitaciones

- Tecnología relativamente compleja que requiere condiciones hidráulicas adecuadas y mecanismo de separación de fases y control automático complejo

7. Retornos - Nitritación parcial Anammox

SBR - Demon



7. Retornos - Nitritación parcial Anammox

SBR - Colsen



7. Retornos – Nitritación parcial Anammox

SBR

Ventajas

- Bajo espacio requerido por NP/A conjunta en biorreactor y por SBR
- Tecnología sencilla

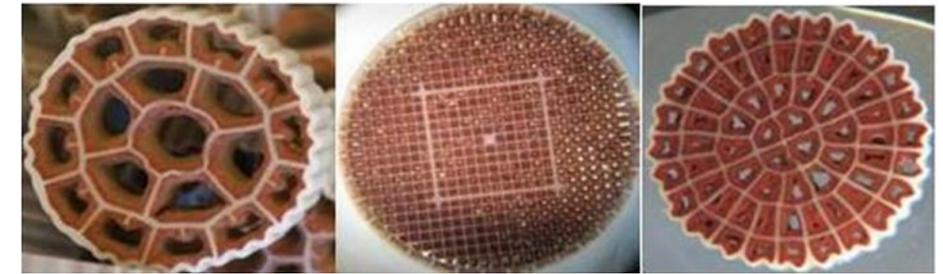
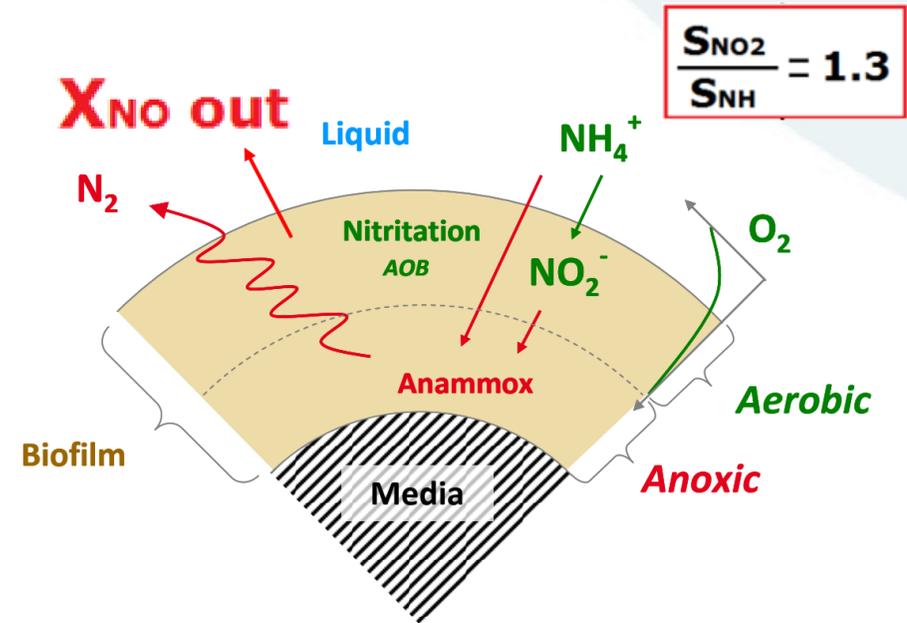
Limitaciones

- Complejidad de operación por control muy fino de pH y OD OD para conseguir $\text{RatioNO}_2/\text{NH}_4=1.3$. disponible para XAN
- Consecuencia: Problemática alta tasa de eliminación de Nitrógeno y Robustez de funcionamiento
- Por ello, actualmente algunas empresas proponen dos reactores separados para nitritación parcial y para anammox

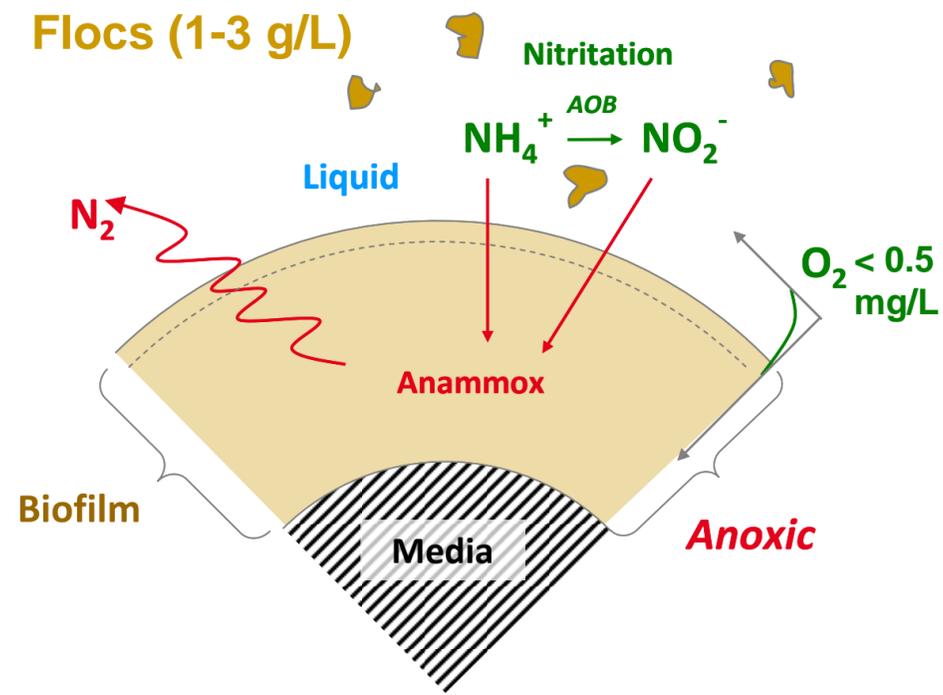
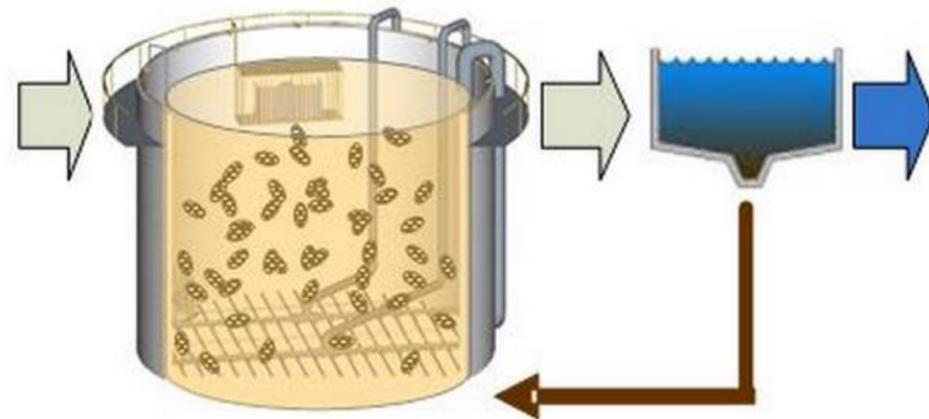
7. Retornos - Nitritación parcial Anammox

MBBR - Anitamox Veolia

Anitamox MBBR



Anitamox IFAS



7. Retornos – Nitritación parcial Anammox

MBBR – Anitamox Veolia

Ventajas

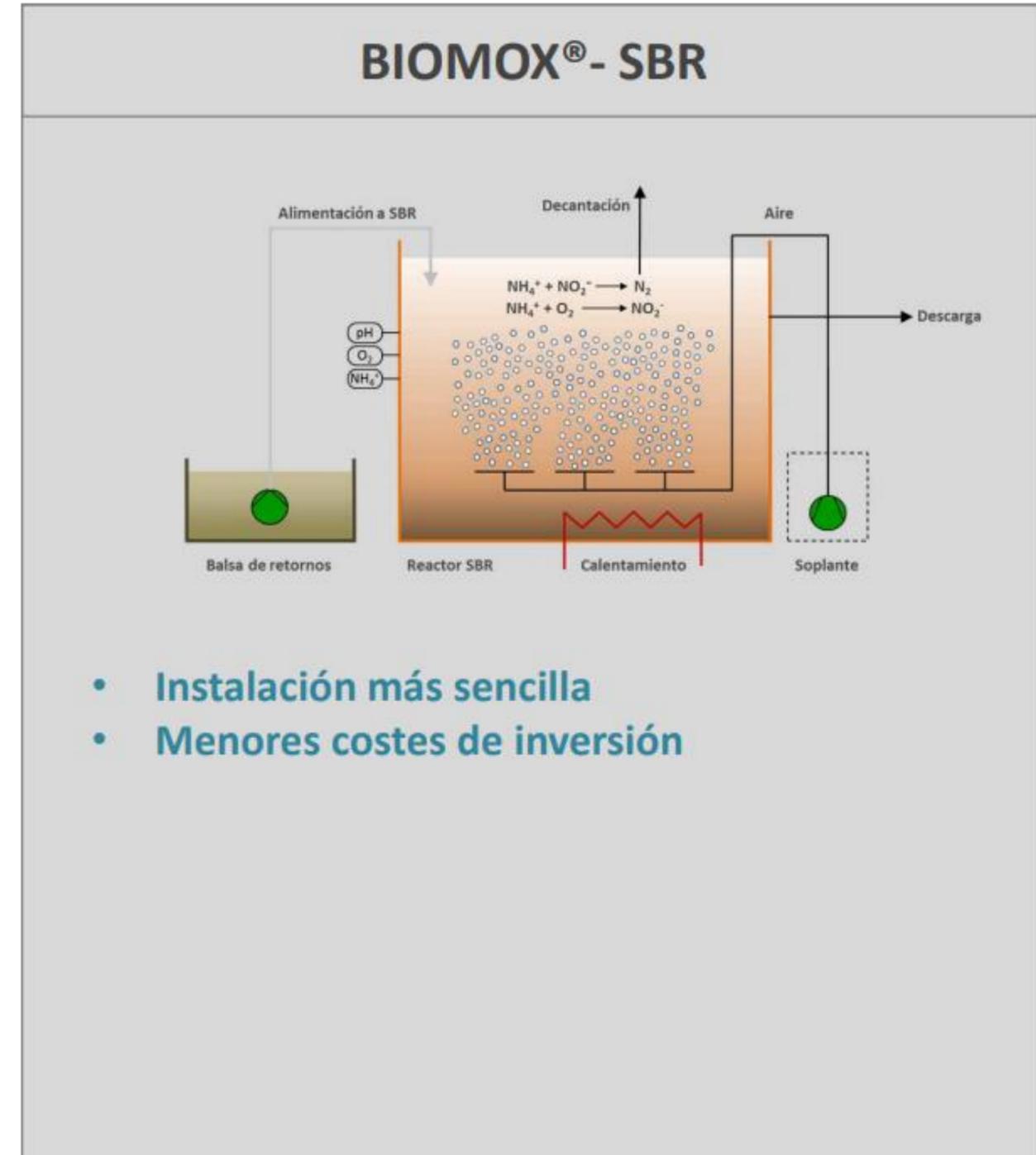
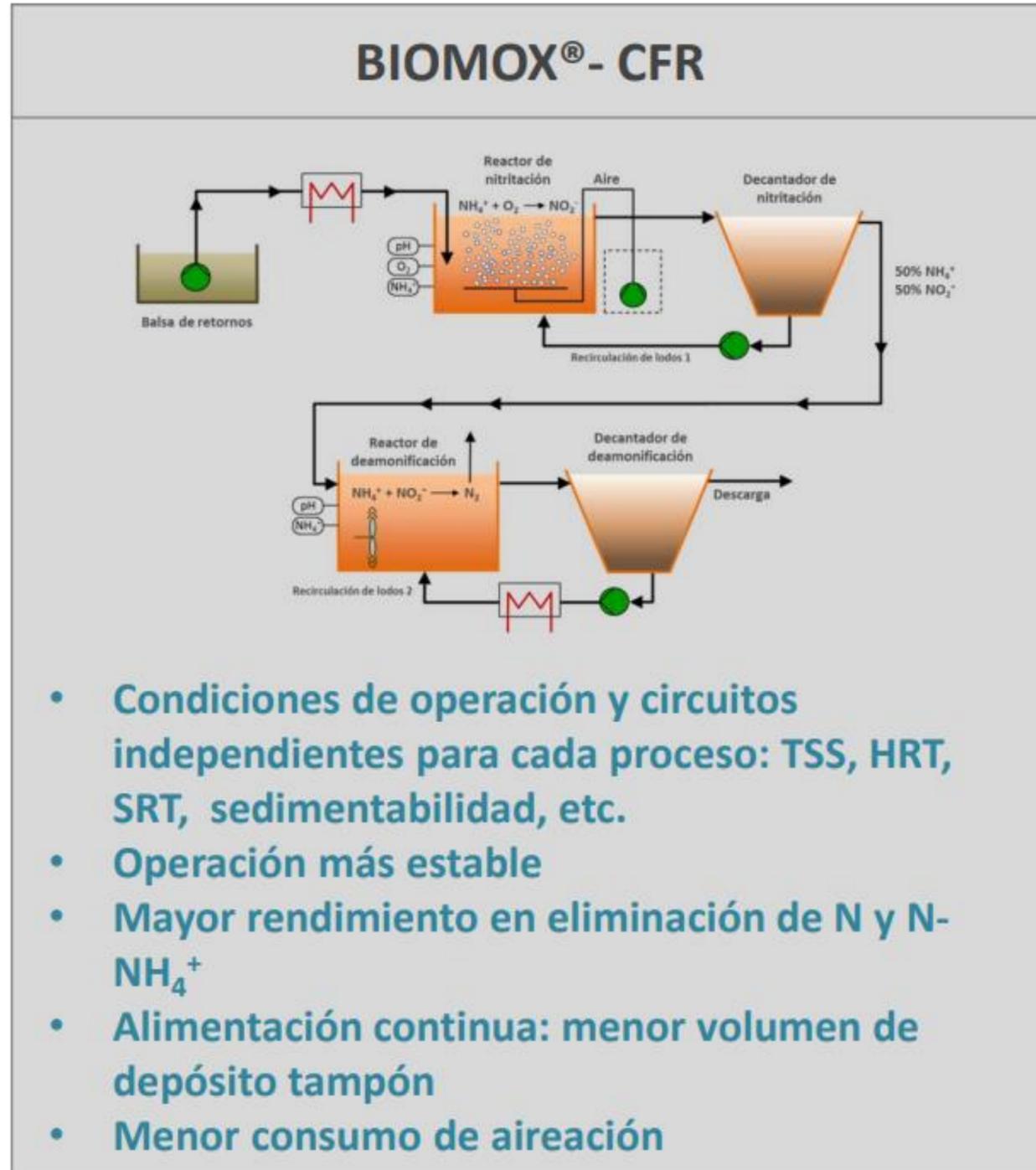
- Bajo espacio requerido por NP/A conjunta en biorreactor
- Tecnología sencilla

Limitaciones

- Complejidad de operación por control muy fino de OD para conseguir $\text{RatioNO}_2/\text{NH}_4=1.3$ y $\text{OD}=0$ en capa de biopelícula entre biomasa XAN y XNH
- Consecuencia: Problemática alta tasa de eliminación de Nitrógeno y de Robustez de funcionamiento
- Por ello, actualmente algunas empresas proponen dos reactores separados para nitritación parcial y para anammox o con un solo reactor pero en IFAS

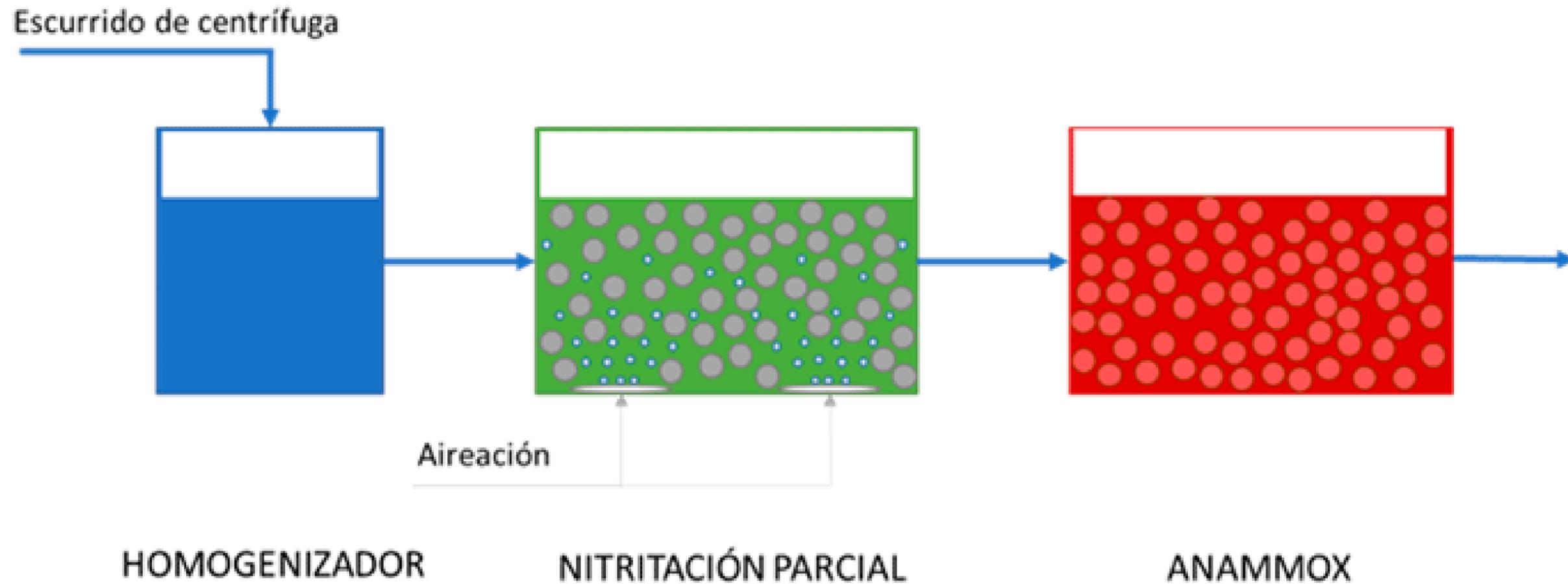
7. Retornos - Nitritación parcial Anammox 2 Etapas

BIOMOX-Wherle



7. Retornos - Nitritación parcial Anammox 2 Etapas

NIPARMOX-Acciona



*Nit. Parc./Anammox en línea de aguas

Mucha investigación en los últimos años

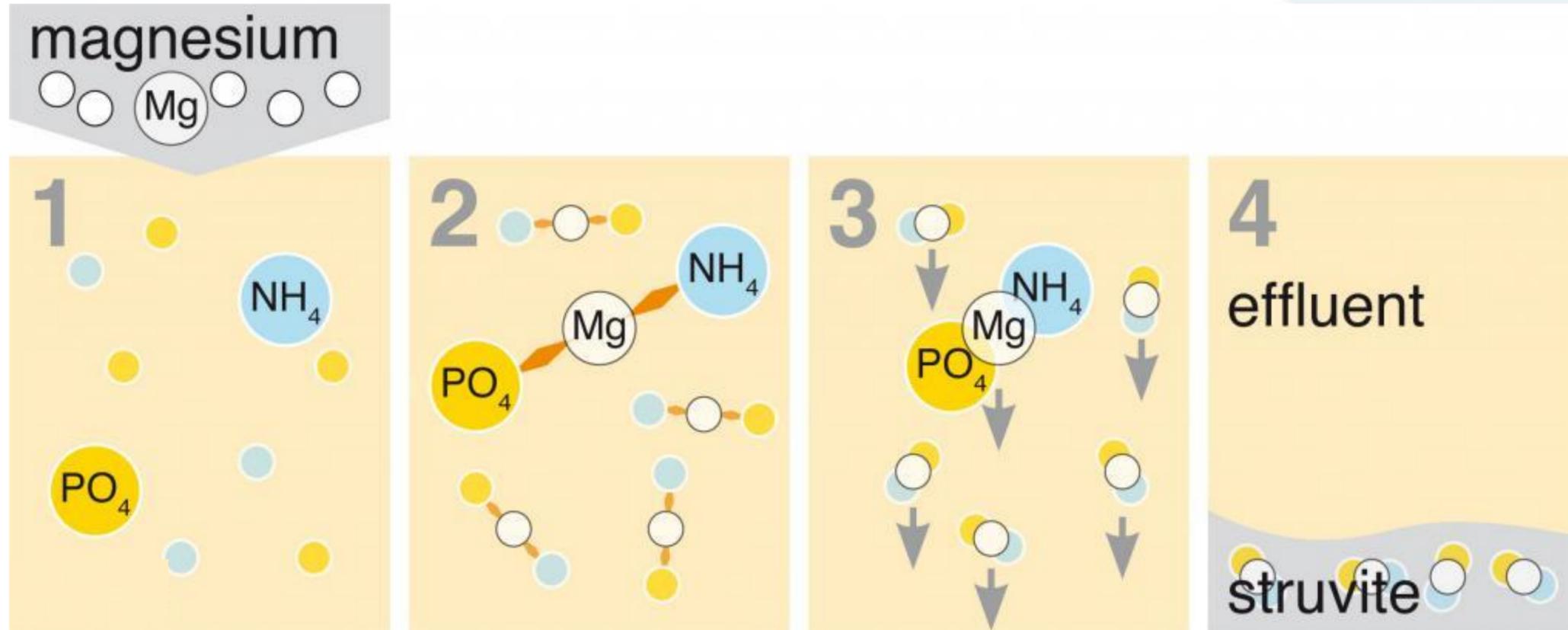
- **Factores limitantes:**

- Necesidad de eliminación DBO previamente
- Baja concentración de Amonio que dificulta la supresión de la reacción de nitrito a nitrato
- Baja temperatura que reduce tasa de crecimiento de anammox
- Primeros intentos con sólo un biorreactor
- Actualmente tendencia a emplear reactores separados

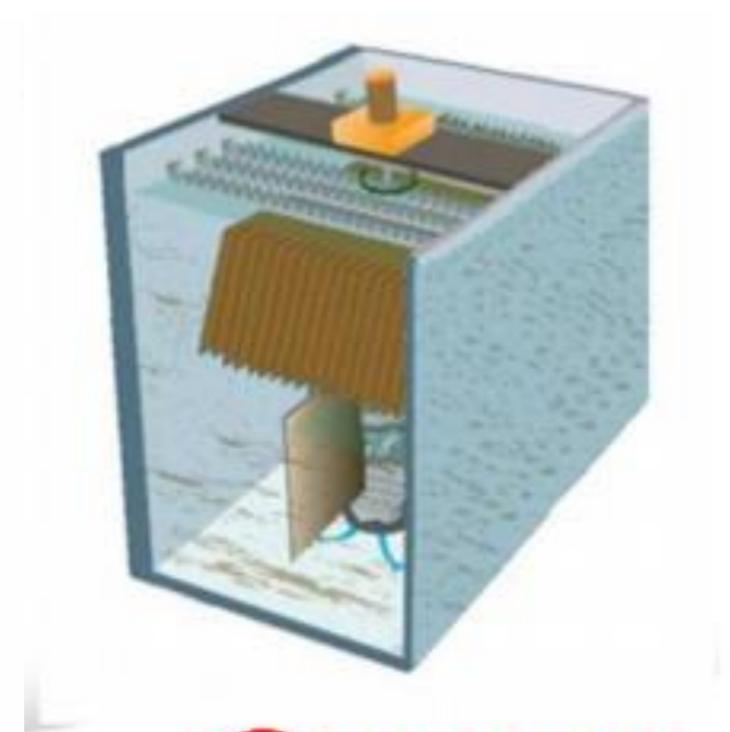
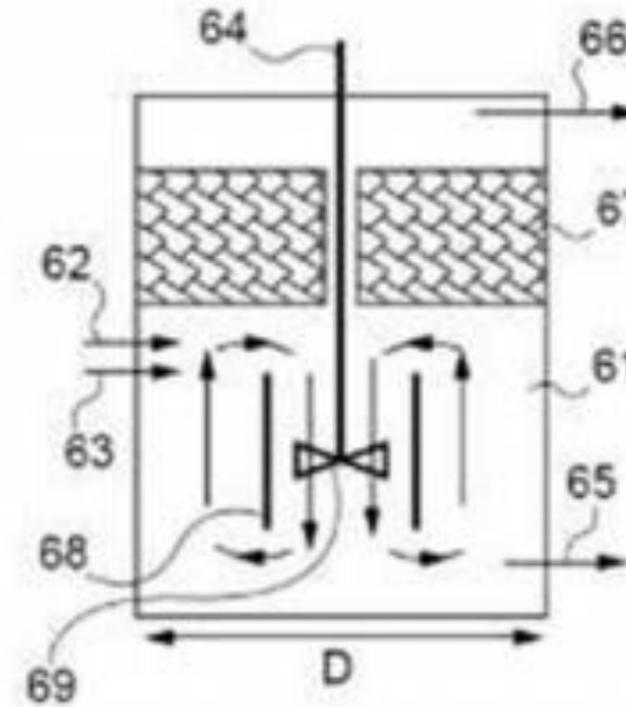
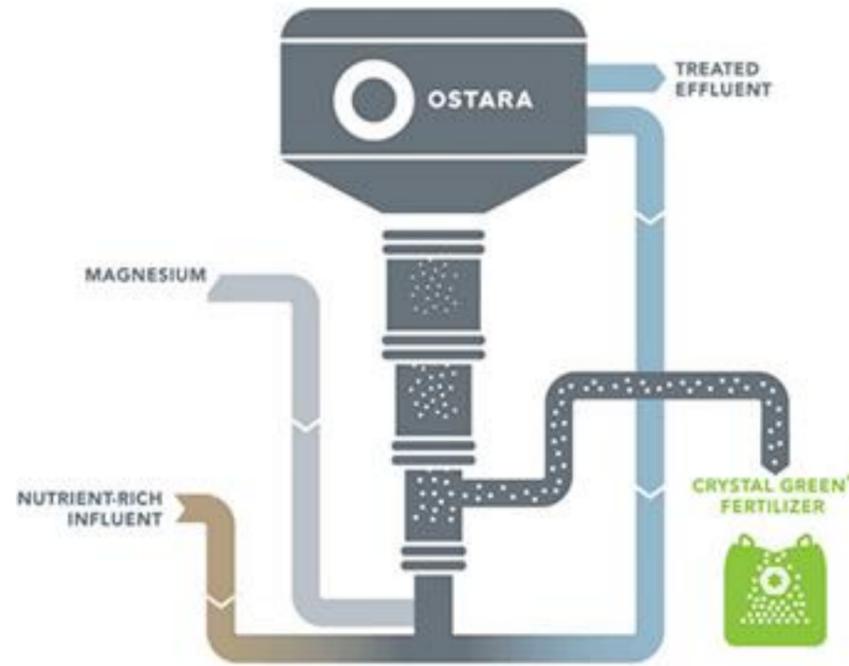
7. Retornos - Recuperación de estruvita

Fundamento

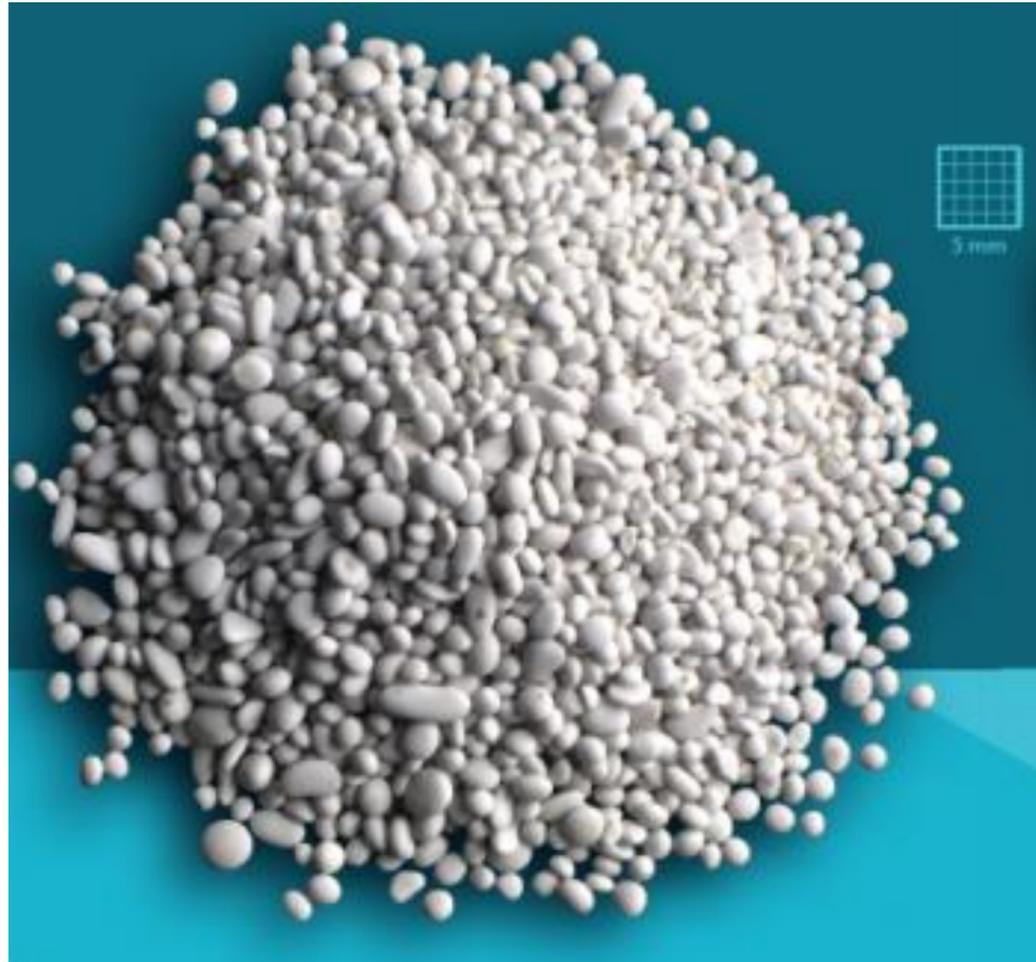
- Adición de MgCl_2 para producir precipitados de $\text{MgNH}_4\text{PO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



7. Retornos - Recuperación de estruvita



7. Retornos - Recuperación de estruvita



Tecnologías Cimico MOBED FILMATH

Actualidad

- **MBBR/IFAS minimizando energía**
- Especialista. [Dr Jon Albizuri](#)
- **Control avanzado de elim. N y P**
- Especialista. [Dr Ion Irizar](#)

Fin 2023

- **MBSBR IFAS SEMBBA®**
- Especialista. [Dr Jon Albizuri](#)

2024

- **MABR IFAS**
- Especialista. [Dra Patricia Perez](#)
- **Nit. Parc. Anammox**
- Especialista. [Dra Patricia Perez](#)
- **Anaerobio aguas industriales y Digestión anaerobia avanzada**
- Especialista. [Dr Mikel Morras](#)
- **Híbrido Lecho móvil granular**
- Especialista. [Dra Sara Toja](#)
- **Control predictiva basado en IA**
- Especialista. [Dr Ion Irizar](#)

2025

- **Recuperación de nitrógeno y fósforo**
- Especialista. [Dra Leire Otegi](#) (transferencia gas-líquido-biopelícula)

Otros

- **Innovación en MBR/UF para reutilización de agua**
- **Microcontaminantes**
- **Master interno**



Muchas gracias



Luis Larrea

Co-fundador

—

T. +34 639 943 264

E. illarrea@cimico.tech

cimico.tech