



# II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

# MasterClass 19



“Tecnologías Innovadoras Híbridas  
INTensivas-EXTensivas para pequeñas  
aglomeraciones urbanas”

Patrocinada por:



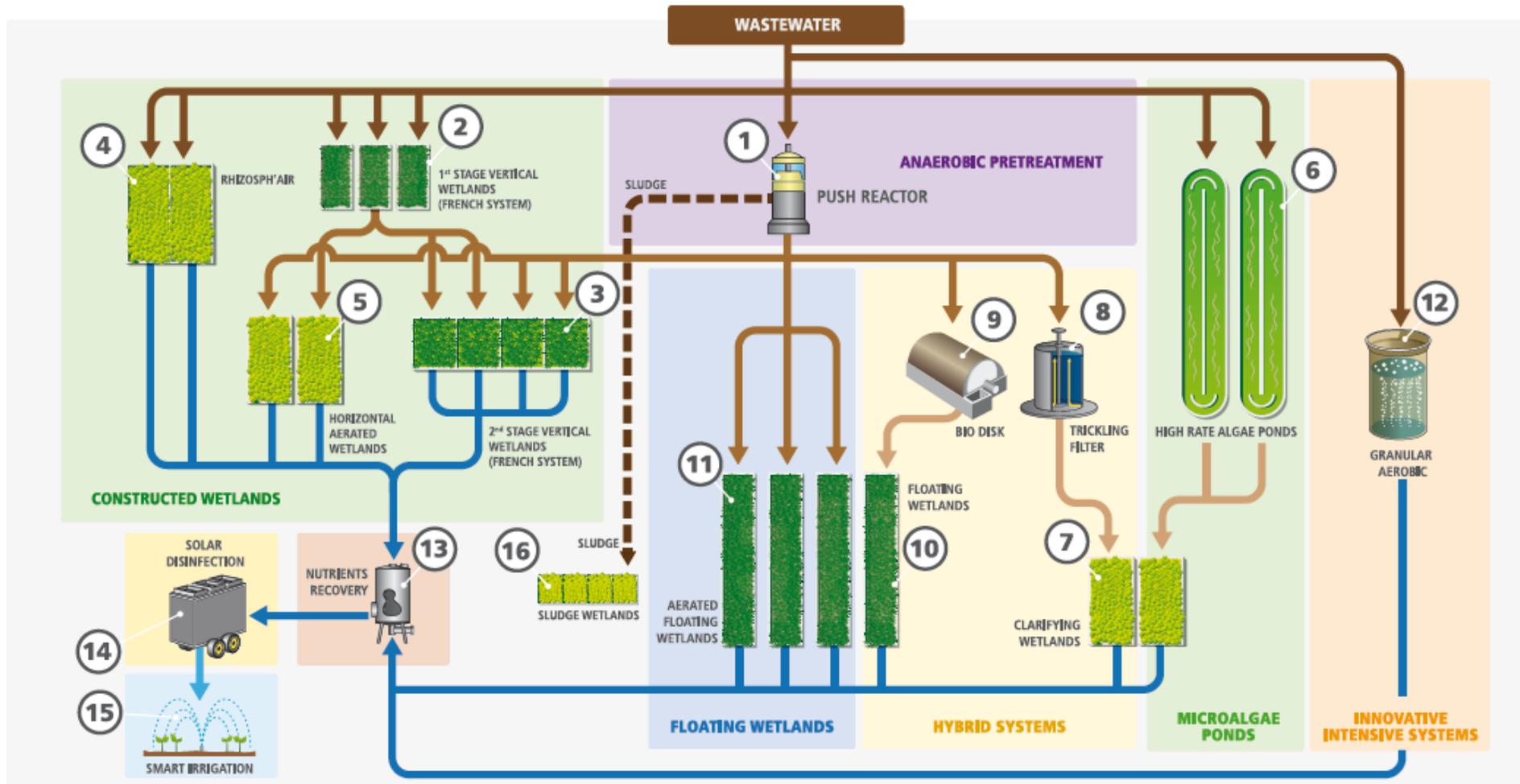
**Enrique Lara**

Ingeniero Industrial en FCC Aqualia

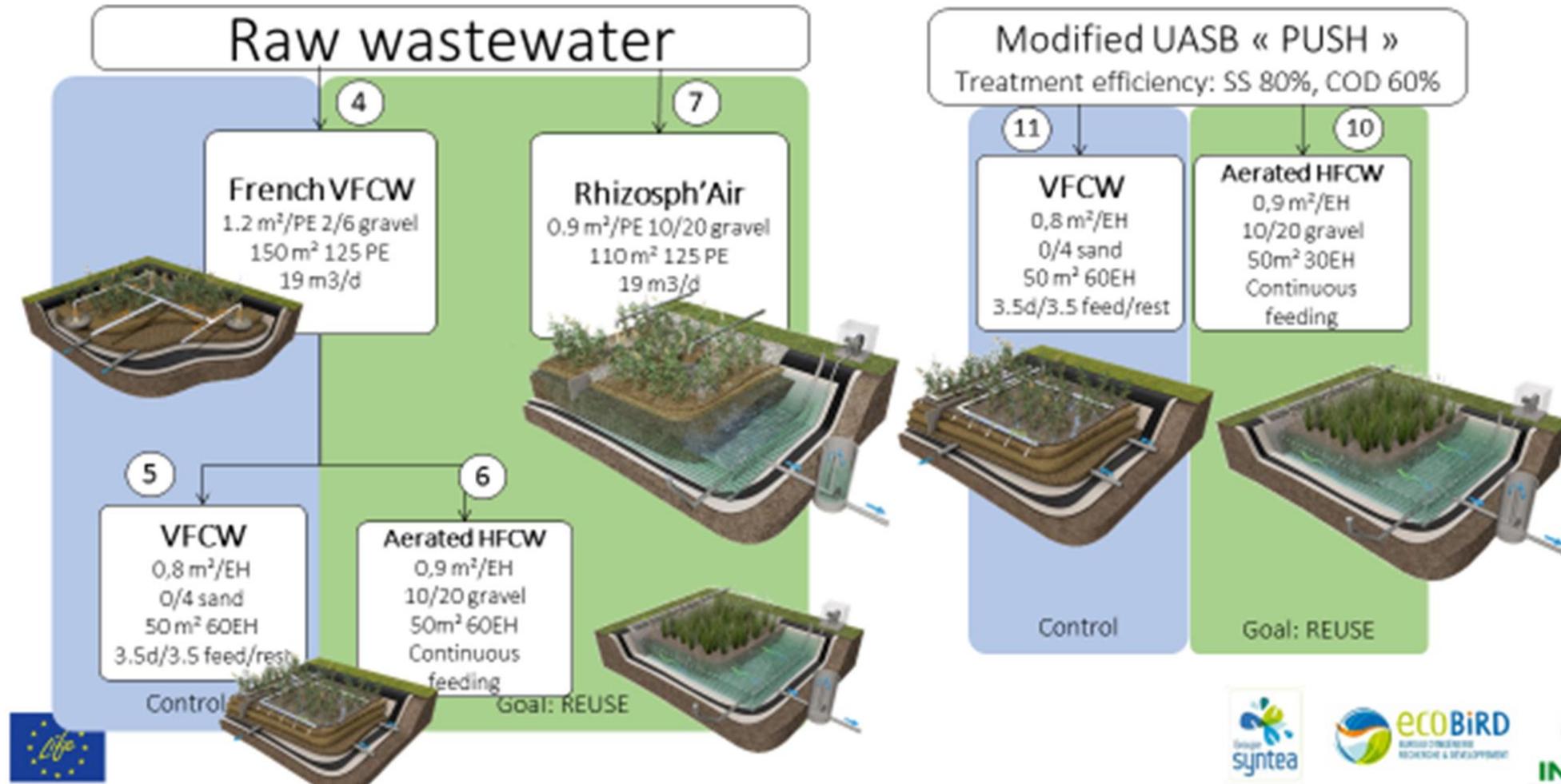


II Ciclo de 20  
**MasterClass**

AGUASRESIDUALES.INFO

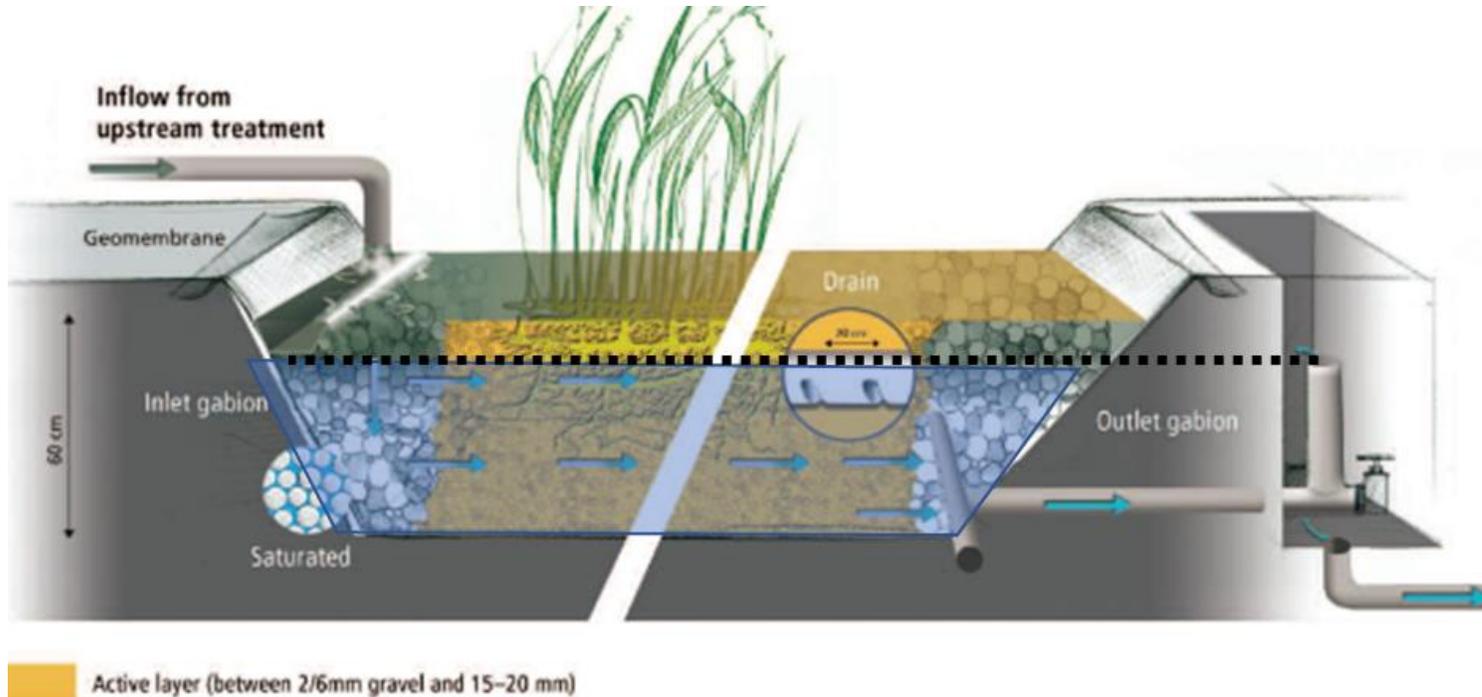


BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES



## BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

### Humedales Flujo Horizontal



#### VENTAJAS

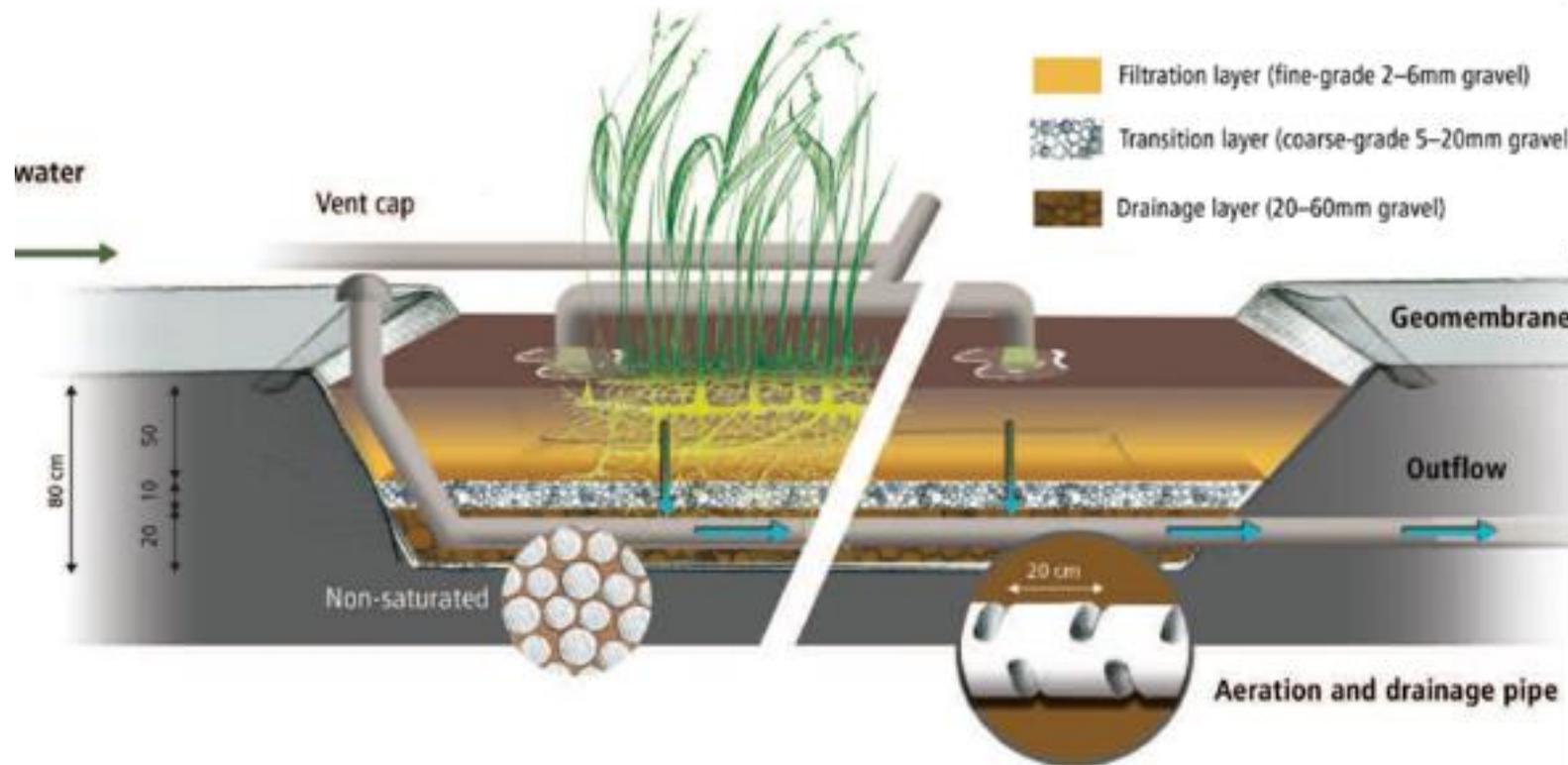
- Alimentación con **pretratadas, en continuo**
- Bajo consumo energético. Sin bombes, por gravedad si desnivel suficiente.
- Explotación simple, personal no especializado
- Buena integración paisajística

#### DESVENTAJAS

- **Atascamientos**, baja sección perpendicular al flujo.  
(necesidad de aireación)
- Proceso anaerobio, posibles olores
- Superficie requerida según configuración (sobre 3m<sup>2</sup>/he)

BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

Humedales Flujo Vertical



VENTAJAS

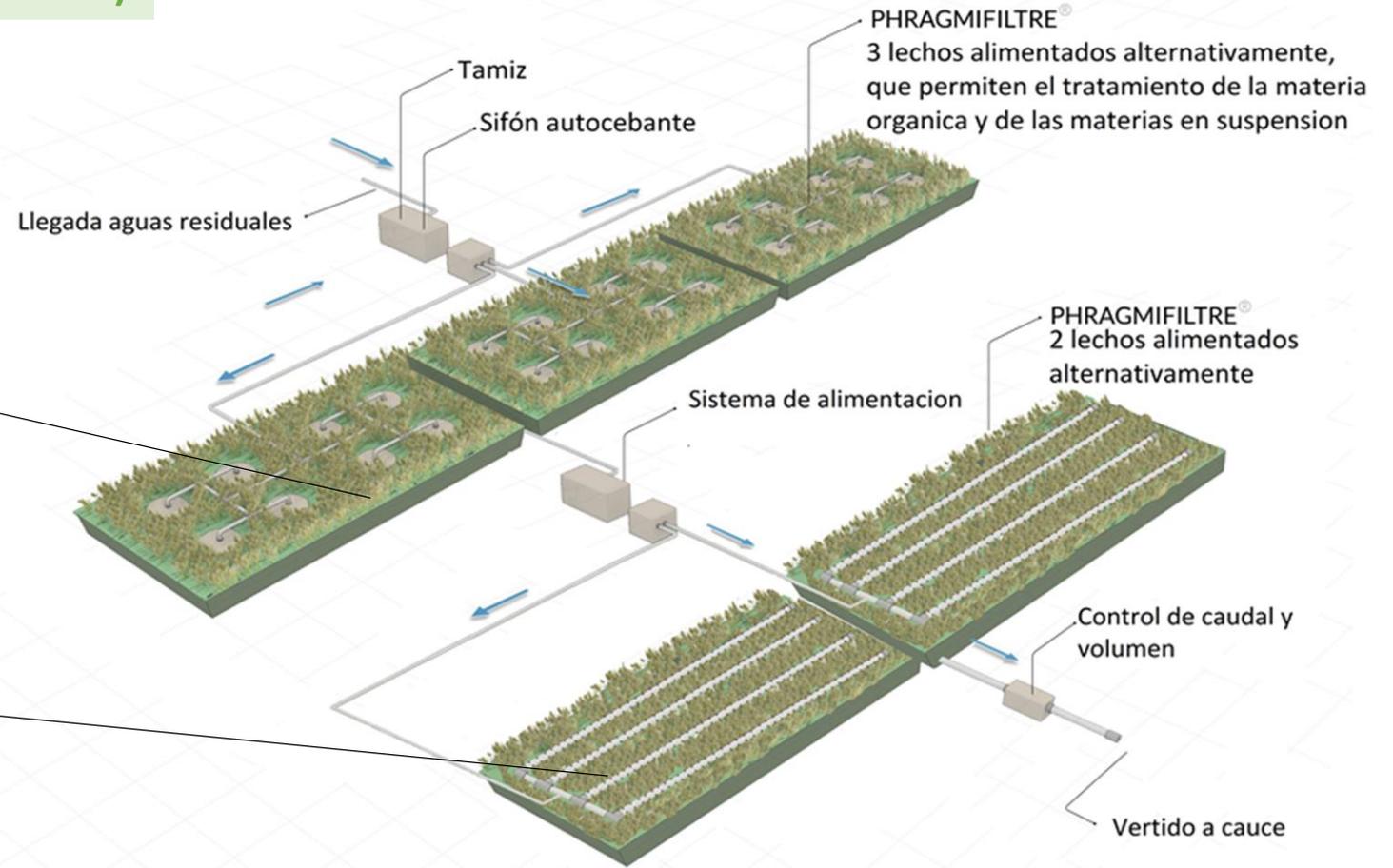
- Alimentación con **aguas brutas** (primera etapa), por pulsos.
- Gestión integrada de los **fangos**
- Proceso aerobio con **aireación pasiva** (**ausencia de olores**).

DESVENTAJAS

- Superficie requerida según configuración (sobre 2m<sup>2</sup>/he)
- Funcionamiento por pulsos con caudal elevado en primera y segunda etapa
- Nitrificación completa. No desnitrificación

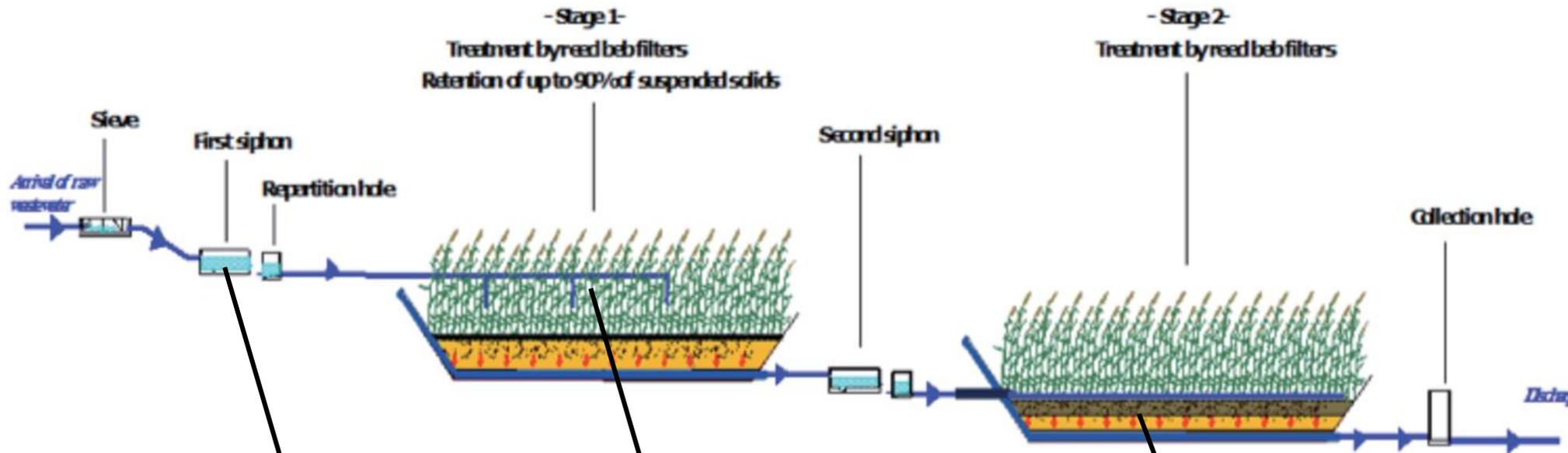
BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

Humedales de 2 etapas tipo francés (convencional)



BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

Humedales de 2 etapas tipo francés (convencional)



chamber



**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**Humedales de 2 etapas tipo francés (convencional)**

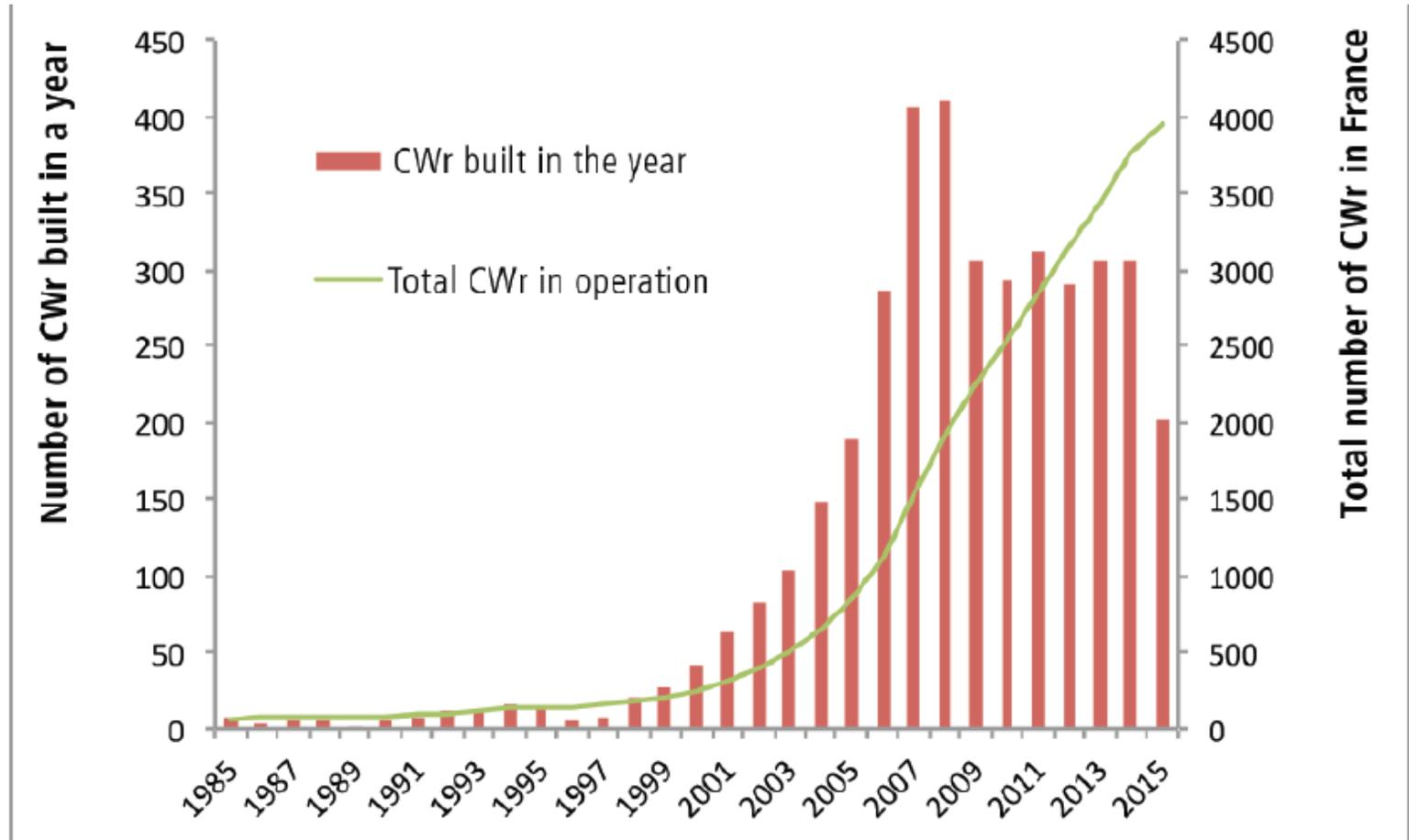


**TOLERANCIA A ALTAS Y BAJAS TEMPERATURAS**

**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**Humedales de 2 etapas tipo francés (convencional)**

- Numerosas instalaciones, sólo en Francia +3500.



**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**Humedales de 2 etapas tipo francés (convencional)**

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación con <b>aguas brutas</b></li> <li>• Gestión integrada de los <b>fangos</b></li> <li>• Alta tolerancia a las variaciones de cargas hidráulicas, orgánicas y temperaturas</li> <li>• Elevados rendimientos en materia orgánica <b>DQO&lt;70 mg/l, DBO5&lt;15 mg/l , SS&lt;15 mg/l, y nitrificación NTK&lt; 10 mg/l</b></li> <li>• Eliminación patógenos hasta <b>3 log E coli</b></li> <li>• Bajo consumo ~0,1-0,15 kWh/m<sup>3</sup></li> <li>• Sin bombeos, por gravedad si desnivel suficiente</li> <li>• Proceso aerobio (<b>ausencia de olores</b>)</li> <li>• Explotación simple, personal no especializado</li> <li>• Buena integración paisajística</li> <li>• Numerosas instalaciones, sólo en Francia +3500.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada superficie: 2 m<sup>2</sup>/he</li> <li>• Funcionamiento por pulsos con caudal elevado en primera y segunda etapa</li> <li>• Nitrificación completa. No desnitrificación</li> <li>• Coste arena/transporte, fundamentalmente arena fina.</li> </ul>

BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

Humedal de 1 etapa intensificado (RIZOSPH'AIR)



**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**Humedal de 1 etapa intensificado (RIZOSPH'AIR)**

**SISTEMA AIREACIÓN**



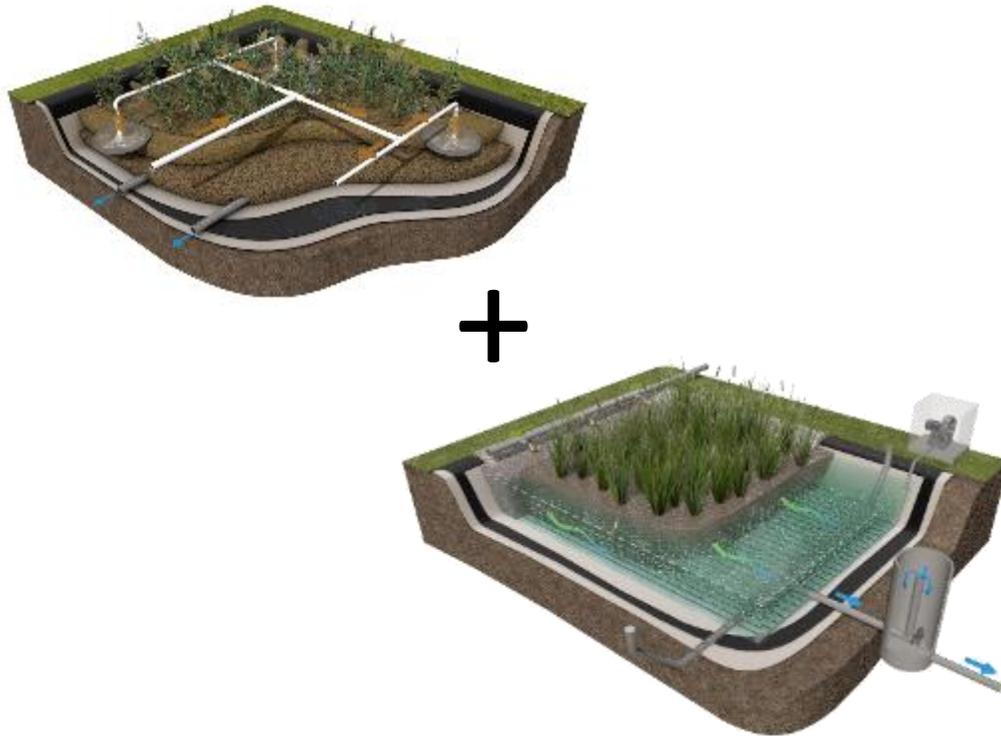
**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**Humedal de 1 etapa intensificado (RIZOSPH'AIR)**

<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alimentación agua residual bruta.</li><li>• Iguales a Sistema Francés, con aumento de rendimientos de depuración: Eliminación <math>N_t &lt; 20</math> mg/l, DQO <math>&lt; 60</math> mg/l, reducción patógenos. (reutilización de agua)</li><li>• Reducción superficie a <math>&lt; 1</math> m<sup>2</sup>/he</li><li>• Adaptación a cambios de carga mediante sensor O<sub>2</sub> y control aireación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Consumo energético <math>\sim 0,2-0,3</math> kWh/m<sup>3</sup></li><li>• Elementos mecánicos (soplantes, válvulas automáticas).</li><li>• Posible atascamiento sistema de aireación</li></ul>

## BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIAL

### Humedales de 2 etapas (horizontal aireado)



#### VENTAJAS

- Igual a las del Sistema Francés, con aumento de rendimientos de depuración ( $N_t < 20$  mg/l) y reducción de patógenos 4 log E coli (reutilización agua)
- Adaptación a cambios de carga mediante sensor O<sub>2</sub> y control aireación

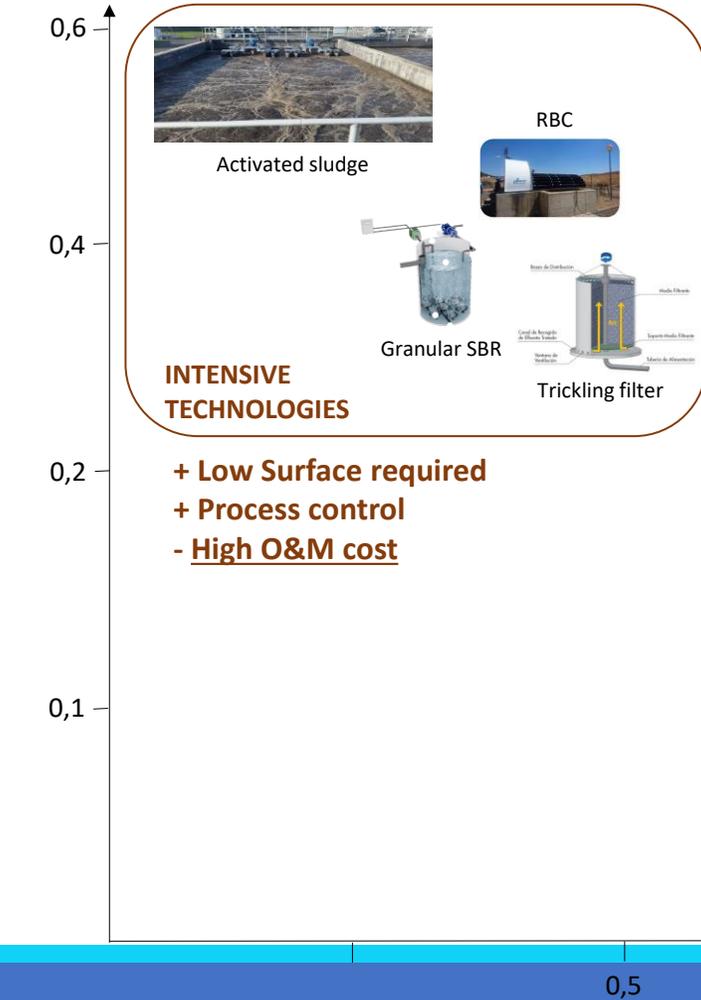
#### INCONVENIENTES

- Consumo energético:  $\sim 0.15-0,2$  kWh/m<sup>3</sup>
- Mantenimiento de elementos mecánicos (soplante)
- Posible atascamiento flujo horizontal y sistema de aireación

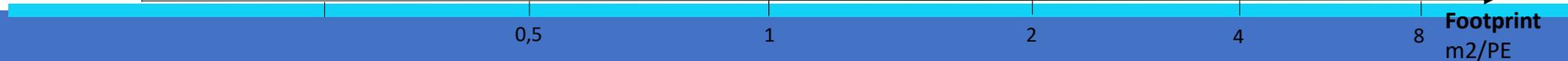
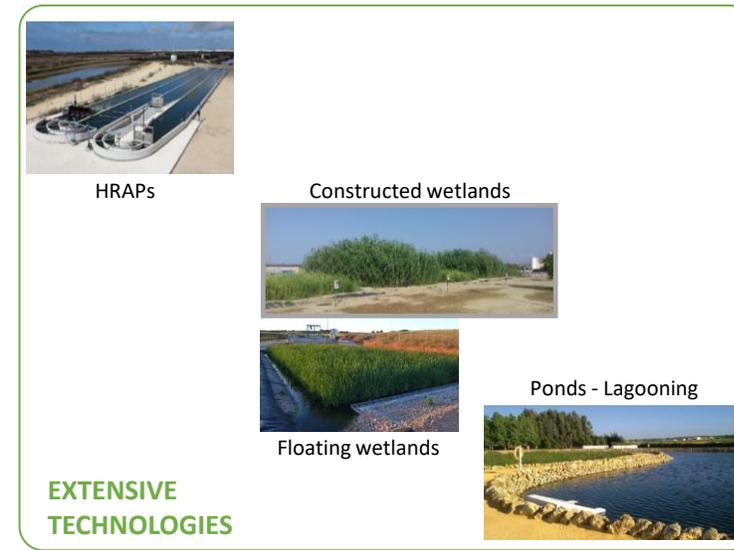
**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

Energy consumption  
kWh/m<sup>3</sup> WW

**INTENSIVE vs. EXTENSIVE WWT TECHNOLOGIES FOR SMALL COMMUNITIES**



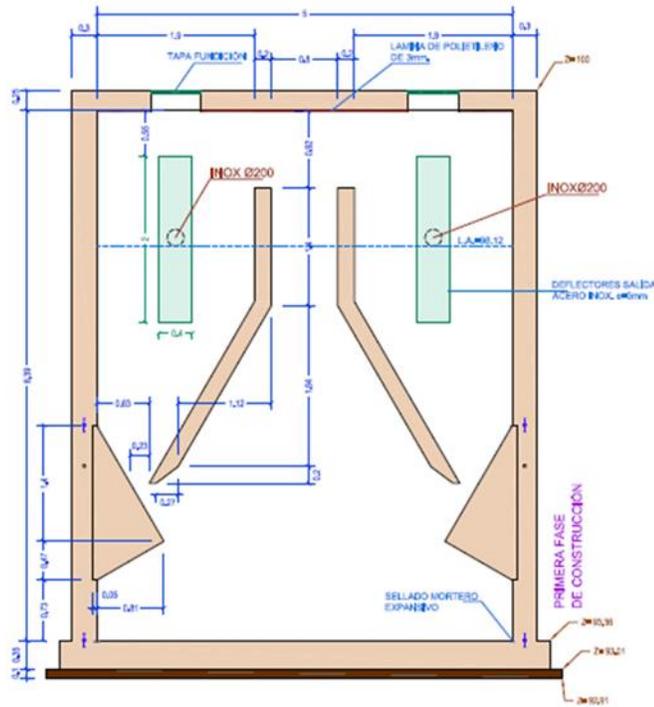
- + Low operational cost
- + Low environmental impact
- High Surface required
- Climate dependent
- Low process control



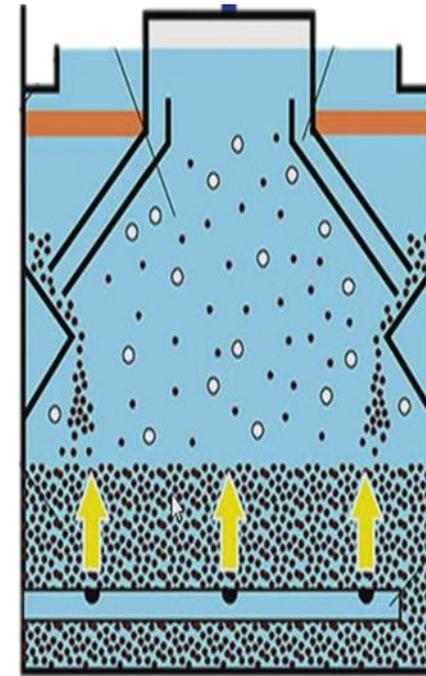
**PRETRATAMIENTO ANAEROBIO**

**PUSH**

Tanque Imhoff desde 1860. Se puede mejorar?



Tanque Imhoff

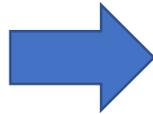
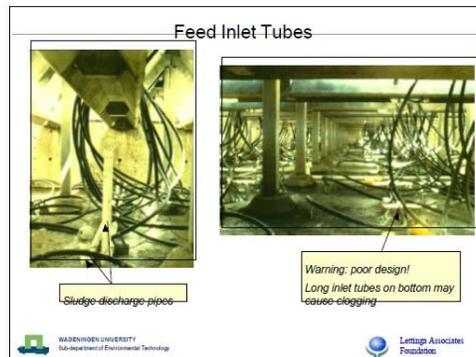
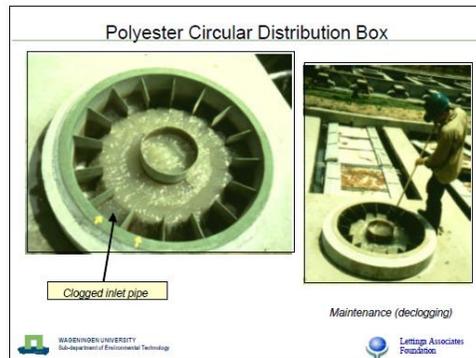


UASB

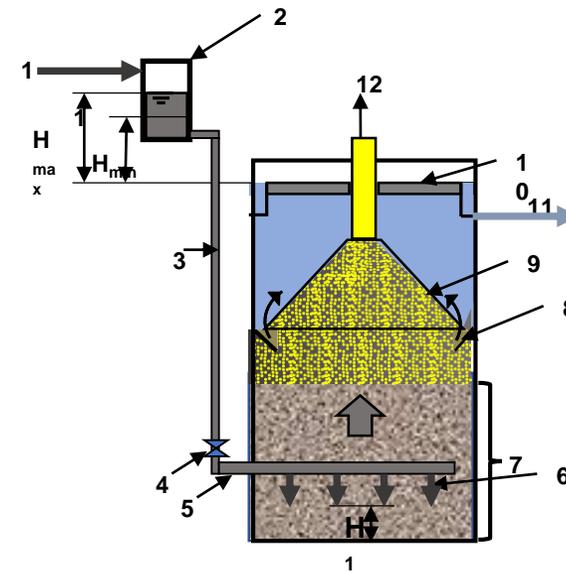
**PRETRATAMIENTO ANAEROBIO**

**PUSH: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

**UASB CONVENCIONAL**



**PUSH: PATENTE AQUALIA**



1. Influent
2. Pulsed Feeding Tank.
3. Inlet manifold.
4. Automatic valves
5. Distribution strings
6. Injection nozzles
7. Sludge bed
8. Baffles
9. Three phase separator
10. Weir
11. Effluent
12. Biogas

## PRETRATAMIENTO ANAEROBIO

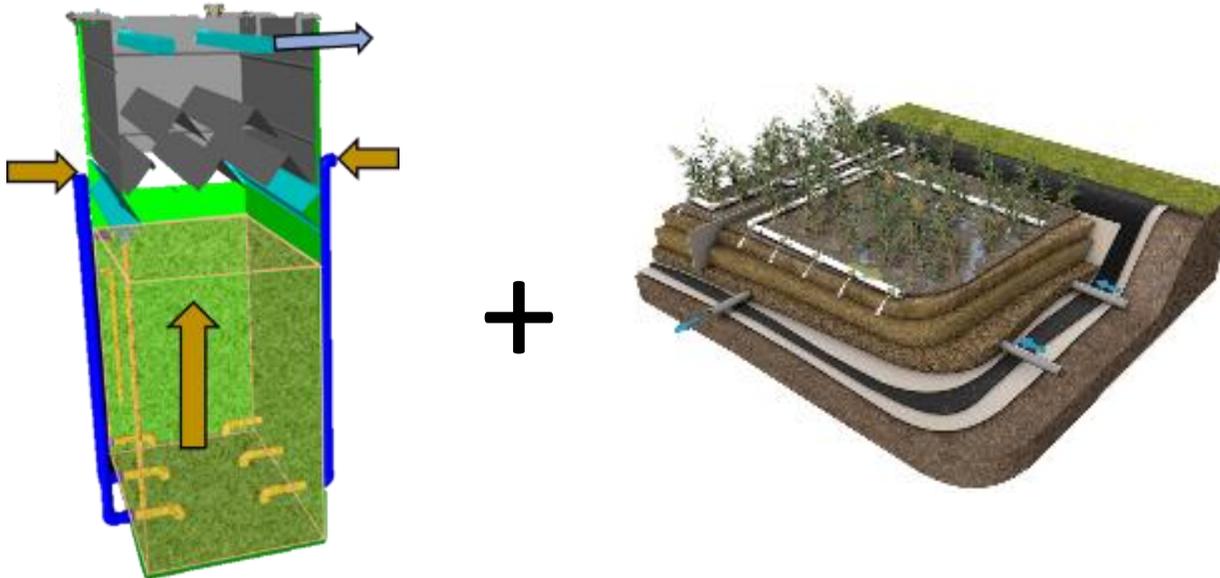
### PUSH

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema patentado por Aqualia mediante pulsos</li><li>• Funciona con elevados cambios de temperatura invierno-verano</li><li>• Funciona con picos de caudal sin pérdida de biomasa. (tanque Imhoff)</li><li>• Elevados rendimientos eliminación: DQO &gt;75%</li><li>• Recuperación de energía: 0.35 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg DQO eliminada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Altura sistema PUSH, necesidad de bombeo u obra civil enterrado con profundidad (~5 m)</li><li>• Gestión fangos anaerobios</li></ul>

## BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES

### PUSH + Humedal 2ª etapa tipo francés

Sustitución de la 1ª etapa tipo francés por un pretratamiento anaerobio avanzado en reactor UASB (PUSH):



#### VENTAJAS

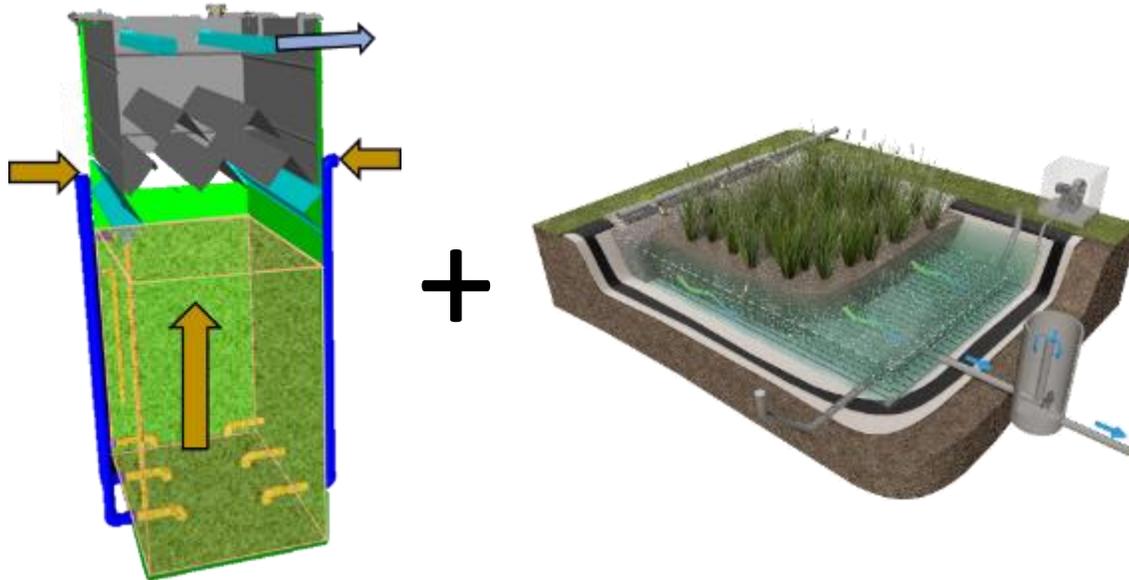
- Reducción de superficie respecto a Sistema Francés.
- Alimentación directa con pulsos PUSH al humedal sin bombeo intermedio
- Gestión fangos anaerobios (envío a humedal)

#### INCONVENIENTES

- Altura sistema PUSH, necesidad de bombeo previo

**BASADAS EN HUMEDALES SUBSUPERFICIALES**

**PUSH + Humedal horizontal aireado**



**VENTAJAS**

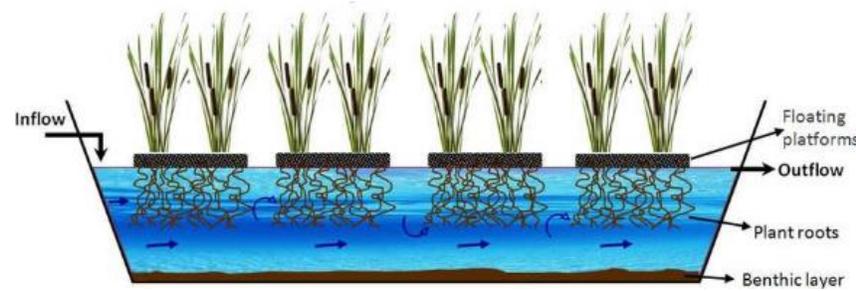
- Reducción de superficie respecto a Sistema Francés
- Aumento de rendimientos de depuración ( $Nt < 20$  mg/l) y reducción de patógenos 4 log E coli (reutilización de agua)
- Adaptación a cambios de carga mediante sensor O<sub>2</sub> y control aireación
- Gestión fangos anaerobios (humedal de fangos)

**INCONVENIENTES**

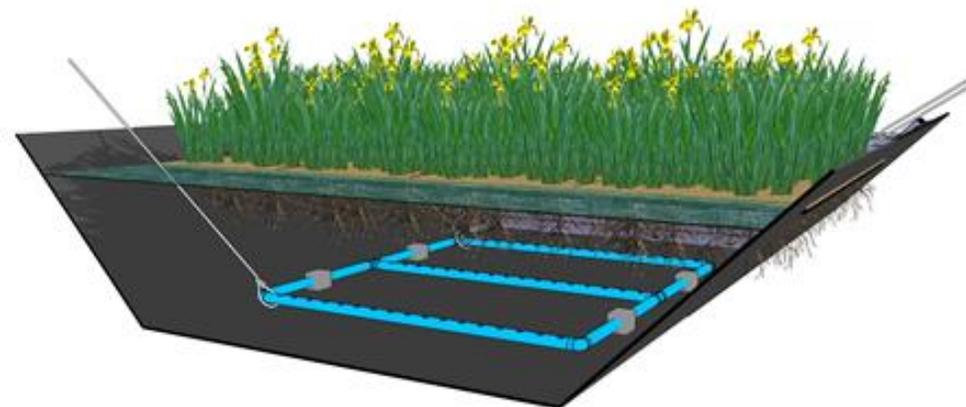
- Altura sistema PUSH, necesidad de bombeo previo.
- Consumo energético  $\sim 0.15-0.2$  kWh/m<sup>3</sup>
- Mantenimiento de elementos mecánicos (soplante)
- Posible atascamiento flujo horizontal y sistema de aireación

BASADAS EN HUMEDALES SUPERFICIALES

HUMEDAL HELÓFITAS EN FLOTACIÓN FLUJO SUPERFICIAL



HUMEDAL FLOTANTE CON AIREACIÓN FORZADA



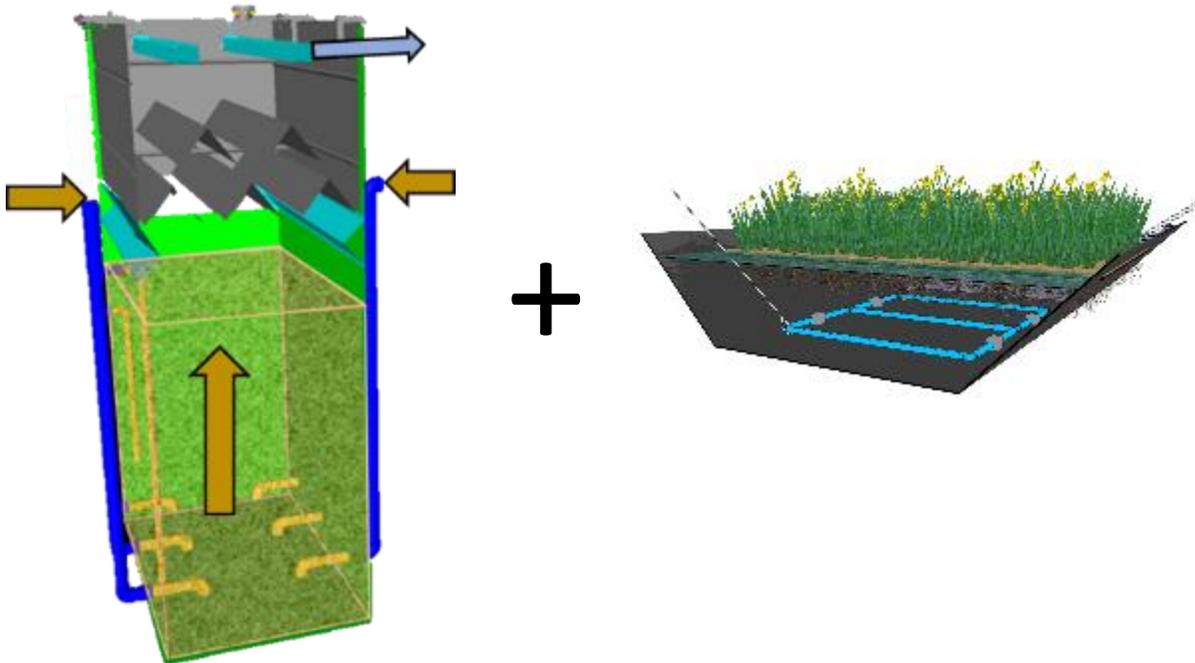
**BASADAS EN HUMEDALES SUPERFICIALES**



QuarQ Enterprise

**BASADAS EN HUMEDALES SUPERFICIALES**

**PUSH + helófitas en flotación convencional / aireado**



**VENTAJAS**

- DISEÑO OPTIMIZADO** para resolver problemas históricos de plantas instaladas:
- Reducción carga entrada: Mejora en pretratamiento (PUSH)
  - Mejoras hidráulicas:
    - Deflectores verticales para evitar caminos preferenciales
    - Elevado ratio L/W para favorecer flujo pistón y las labores de poda y mantenimiento
  - Aireación con difusores extraíbles para mejora de rendimientos (eliminación de N).
  - Adaptación a cambios de carga mediante sensor O<sub>2</sub> y control aireación
  - No hay relleno de arena (costes/transporte)
  - Gestión fangos (integrada en humedal)

**INCONVENIENTES**

- Diseños defectuosos previos han generado desconfianza en el sistema
- Superficie elevada, 2- 3 m<sup>2</sup>/he
- Altura sistema PUSH, necesidad de bombeo previo.
- Consumo energético ~ 0,2-0,3 kWh/m<sup>3</sup> (con aireación)
- Mantenimiento de elementos mecánicos (soplante).

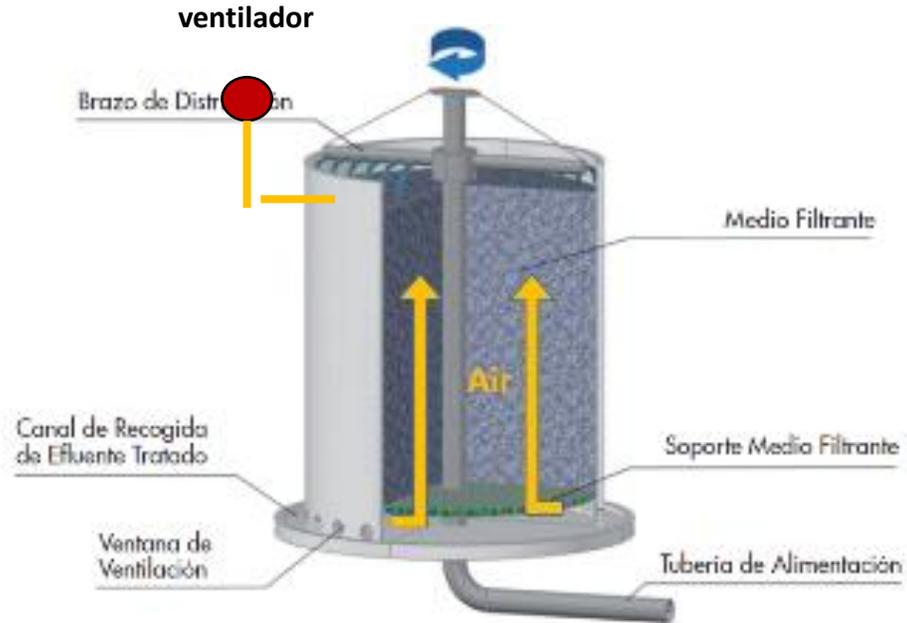
HIBRIDAS INTENSIVOS - EXTENSIVOS

BIOPELICULA: BIODISCOS



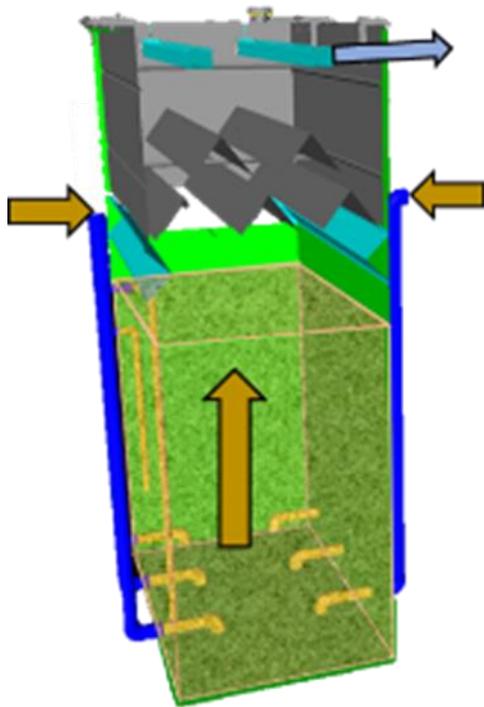
HIBRIDAS INTENSIVOS - EXTENSIVOS

BIOPELICULA: BIODISCOS



## HIBRIDAS INTENSIVOS - EXTENSIVOS

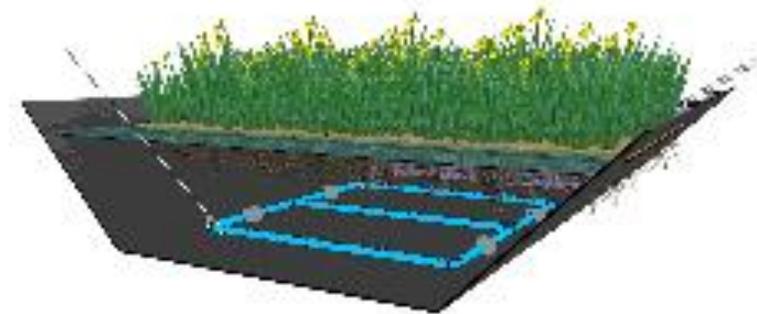
**PUSH + Biodisco + Helófitas en flotación**



+



+



### VENTAJAS

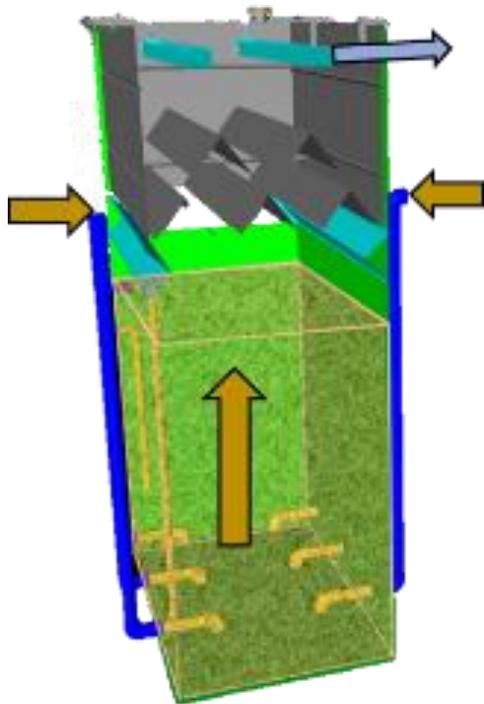
- Biodisco: Tecnología contrastada en pequeñas poblaciones, mejorada con pretratamiento, recirculación y humedal de afino
- No decantación secundaria. Gestion de fangos integrada en el humedal.
- Superficie ocupada < 1 m<sup>2</sup>/he (helófitas sólo decantación y afino).

### INCONVENIENTES

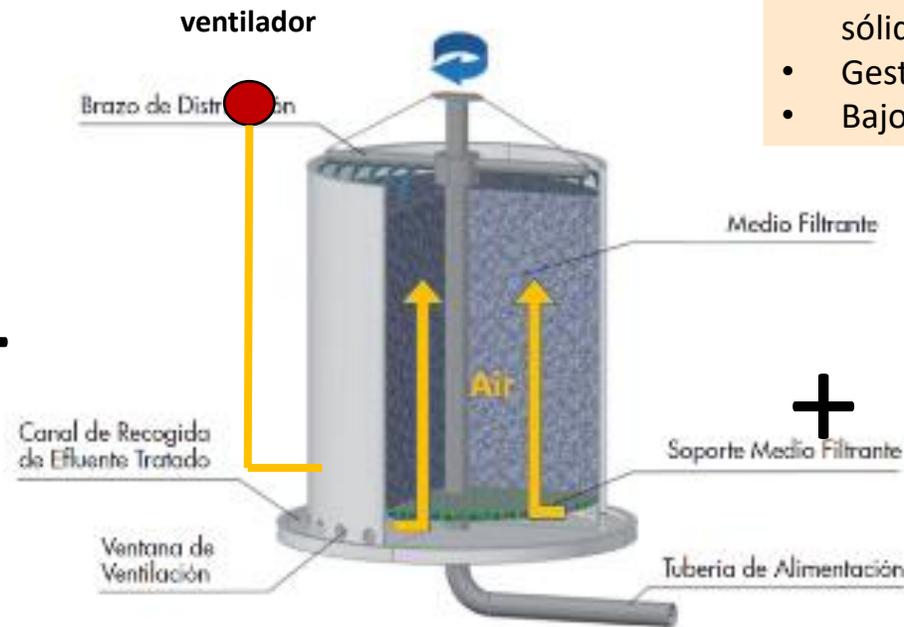
- Diseños defectuosos previos han generado desconfianza en el sistema
- Desnitrificación necesita de elementos adicionales.
- Mantenimiento de elementos mecánicos

HIBRIDAS INTENSIVOS - EXTENSIVOS

Filtro percolador/biodisco + humedal clarificador



+



+



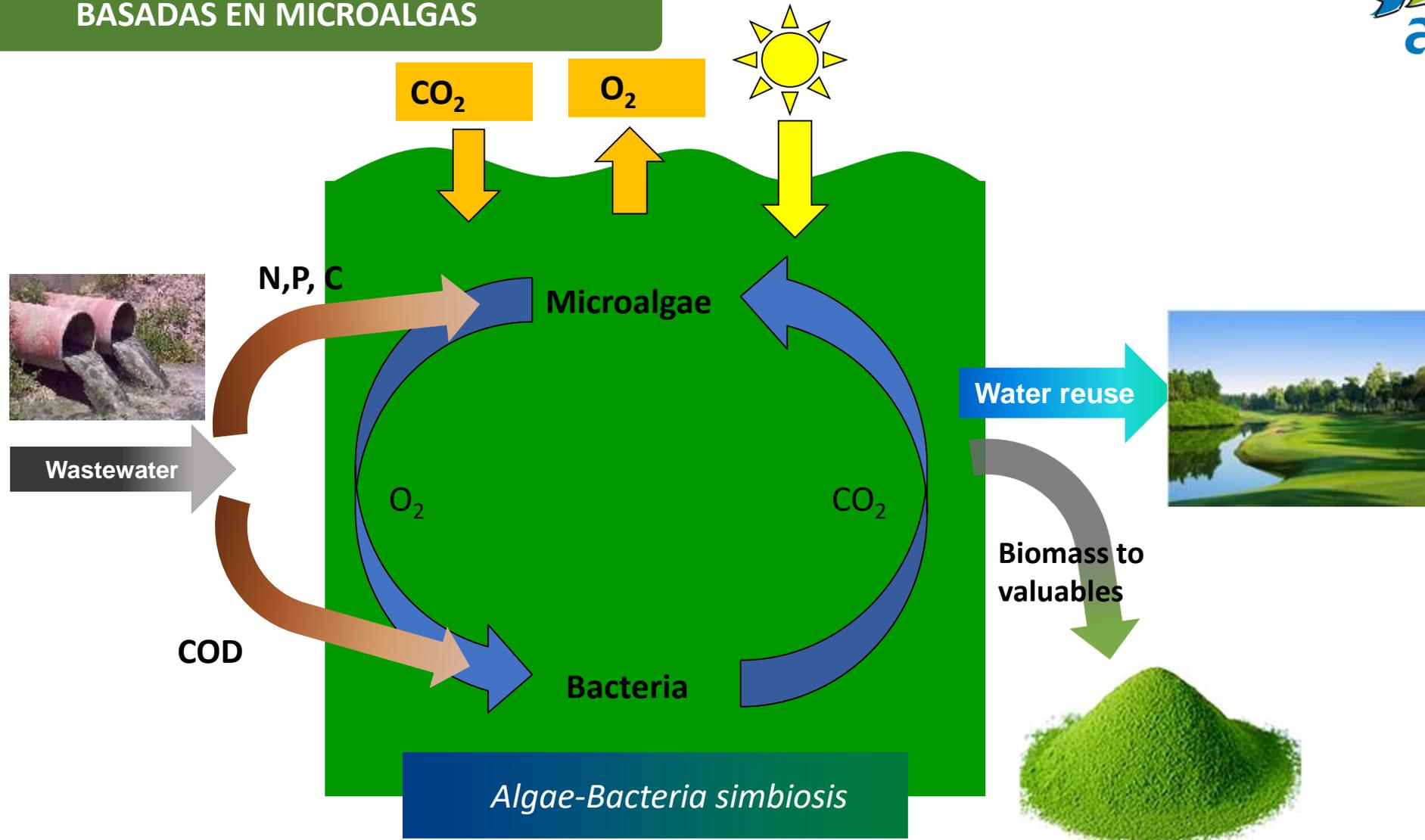
VENTAJAS

- Superficie ocupada 0.5 m<sup>2</sup>/he. Humedal 0,2-0,3 m<sup>2</sup>/he
- Tecnología contrastada y mejorada (ventilador)
- Filtro percolador sigue funcionando en ausencia de gradientes térmicos gracias a la aireación forzada
- Eliminación de decantador secundario: Humedal clarificador elevada eliminación de sólidos, DQO y nitrificación
- Gestión integrada de fangos en el humedal
- Bajo consumo energético: 0,15-0,2 kWh/m<sup>3</sup>

INCONVENIENTES

- Necesidad de pretratamiento tamizado/ PUSH bajo estudio.
- Necesario bombeo a filtro percolador/ recirculación

**BASADAS EN MICROALGAS**



## BASADAS EN MICROALGAS

### Lagunas de microalgas (HRAPs) + humedal clarificador

Aqualia cuenta con varias referencias de plantas demostrativas basadas en microalgas en España:

- Chiclana de la Fra. (ALL-GAS) = 4 x 5000 m<sup>2</sup>: 10.000 he
- EDAR Mérida (Sabana): 20.000 m<sup>2</sup>: 10.000 he
- EDAR Agramón (Hellín): 10.000 m<sup>2</sup> : 5000 he
- EDAR El Toyo (Almería): 3.000 m<sup>2</sup> : 1500 he

**TOTAL**  
**> 5 ha**  
**26,500 HE**



**BASADAS EN MICROALGAS**

Lagunas de microalgas (HRAPs) + humedal clarificador

*Prior art*

HRAP+FLOTATION



*Beyond state of the art*

HRAP+CSD Reed beds

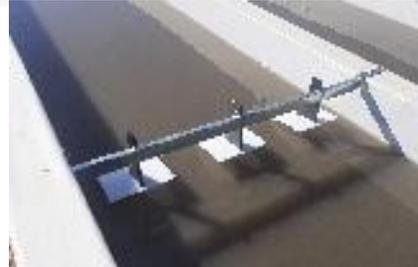
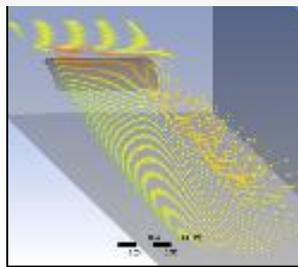
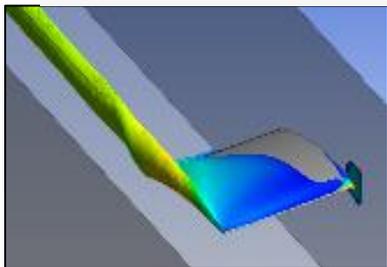


**BASADAS EN MICROALGAS**

Lagunas de microalgas (HRAPs) + humedal clarificador



+



Deflectores en uno de los reactores para mejorar la actividad fotosintética y la mezcla, favoreciendo la producción de oxígeno en climas fríos

## BASADAS EN MICROALGAS

### Lagunas de microalgas (HRAPs) + humedal clarificador

#### VENTAJAS

- Referencias Aqualia depuradoras de hasta 10.000 he (20.000 m<sup>2</sup>)
- Bajo consumo energía= 0,1-0,15 kWh/m<sup>3</sup> (paddle Wheel)
- Funcionamiento con agua bruta tamizada
- Funcionamiento por gravedad si desnivel.
- Sistema de álabes para favorecer la actividad en invierno.
- Elevados rendimientos de depuración
- Gestión integrada de fangos en el humedal clarificador.

#### INCONVENIENTES

- Elevada superficie ocupada  
HRAP+HC= (2 m<sup>2</sup>/he+0,5 m<sup>2</sup>/he)

INTENSIVOS INOVADORES

Reactor aerobio granular



AGS	
CAUDAL DIARIO m3/d	18,75
NUMERO DE TUBERIAS ALIMENTA	1
NUMERO DE PULSOS/día	4
MAX PULSOS/HORA	1
VOLUMEN PULSO m3	4,7
CAUDAL PULSO m3/h	9,4
DURACIÓN PULSO min	30,0
MAX CAUDAL HORARIO m3/h	4,7

En la tabla siguiente se puede observar la secuencia de las fases que incluye cada ciclo:

- (a) alimentación anóxica.
- (b) alimentación aerobia.
- (c) reacción aerobia.
- (d) reacción anóxica.
- (e) decantación.
- (f) vaciado.
- (g) inicialización.

AG(25)	a	b	c	d	e	f	g	
Alimentación								
Agitación								
Aireación								
Decantación								
Vaciado								
Inicialización								
Total								

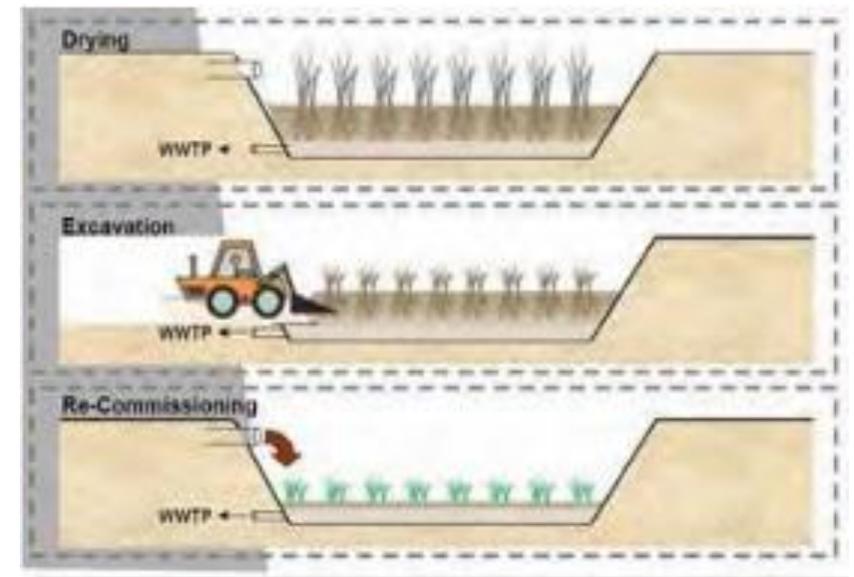
**INTENSIVOS INOVADORES**

**Reactor aerobio granular**

<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Flexibilidad: Adaptación a cambios de vertido mediante modificación de tiempos anaerobio/anóxico/aerobio/decantación.</li><li>• Posibilidad de eliminación de N y P.</li><li>• Simplicidad: Todos los procesos en un solo tanque.</li><li>• Excelente clarificación con elevada velocidad de decantación (gránulos)</li><li>• Sistema intensivo con muy baja superficie <math>&lt; 0.1 \text{ m}^2/\text{he}</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema Intensivo/Consumo energético: 0,4-0,5 kWh/m<sup>3</sup></li><li>• Mantenimiento elementos mecánicos (bombas, soplantes, difusores, decanter, válvulas).</li><li>• Gestión de fangos (humedal asociado)</li></ul>

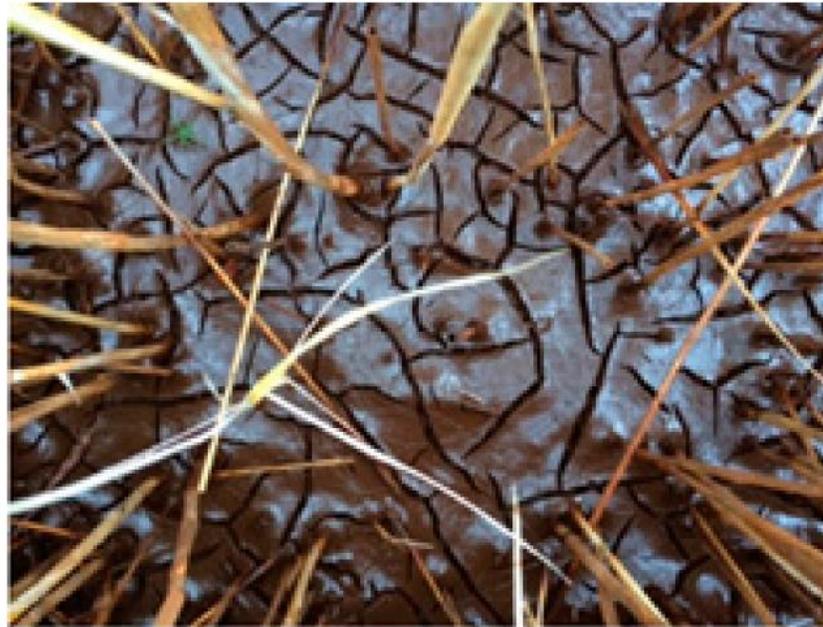
**TRATAMIENTO DE FANGOS**

**Humedales de fango**



**TRATAMIENTO DE FANGOS**

**Humedales de fango**



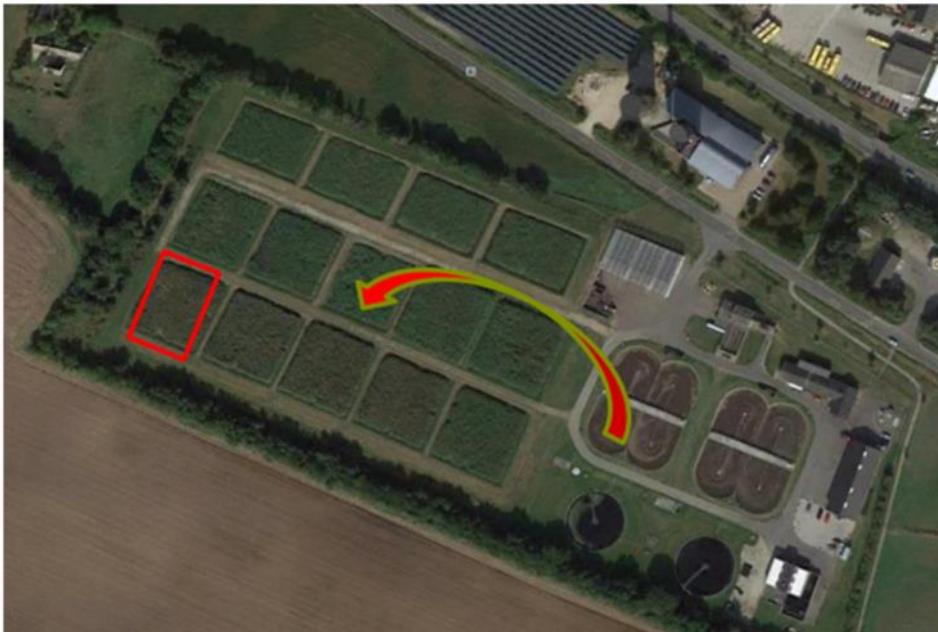
1 día después de la carga



Antes de la nueva carga

**TRATAMIENTO DE FANGOS**

**Humedales de fango**



Helsingør Sludge Treatment Reed Bed Systems (STRB) – Denmark (1996 – 2017)

42.000 population equivalent

Area 10.000 m<sup>2</sup>. 0,23 m<sup>2</sup>/he- OL= 60 kg/m<sup>2</sup>/año



290,000 population equivalent

**TRATAMIENTO DE FANGOS**

**Humedales de fango**

**Sludge Treatment Reed Bed under different climates: a review using meta-analysis**

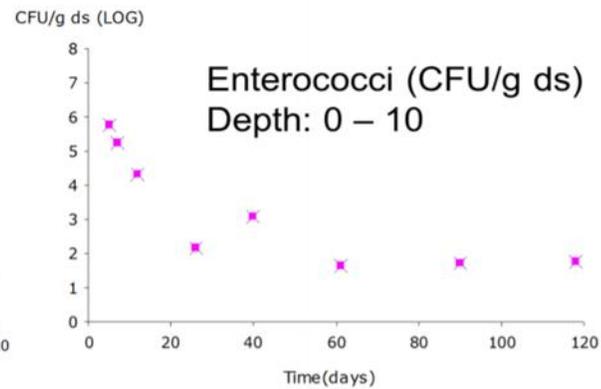
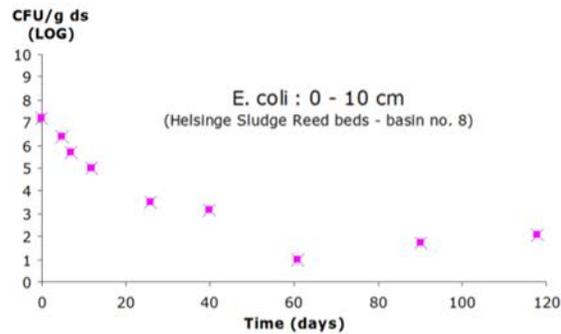
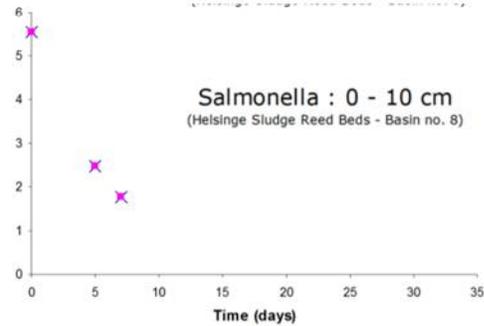
Authors: Amir Gholipour<sup>a\*</sup>, Rita Fragoso<sup>b</sup>, Elizabeth Duarte<sup>c</sup>, Ana Galvão<sup>d</sup>

Parameters	Climate				
	Temperate	Mediterranean	Tropical	Arid	Polar
SLR (Kg.DM.m <sup>-2</sup> .year <sup>-1</sup> )	50	70	101	80	30
DS (%)	30	35	40	45	30
VS/DS (%)	53	55	42	40	N.A

**TRATAMIENTO DE FANGOS**

**Humedales de fango**

Reduction of pathogenic micro-organisms



## TRATAMIENTO DE FANGOS

### Humedales de fango



**TRATAMIENTO DE FANGOS**

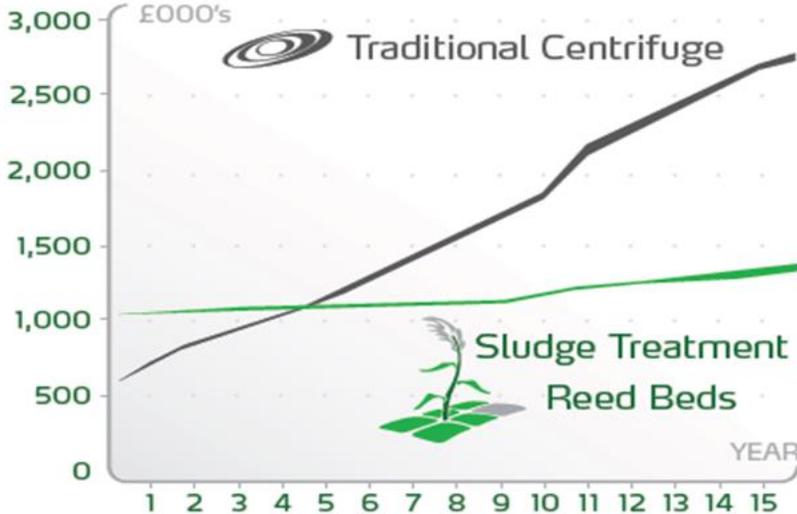
**Humedales de fango**

COMPARATIVA CON CENTRIFUGA

Criterion	STRB	Mechanical Systems
Land area demand	High	Low
Investment cost	Moderate/high	Moderate
Operation and maintenance cost	Low	High
Power input demand	Minimum	High
Use of chemicals, e.g., polymers	No	Typically required
Quality of final biosolids	High	Low
Life expectancy of main components (re-investment interval)	20–30 years	5–10 years
Need for skilled operators	No	Yes
Nuisance (mosquitos and odour)	No/minimum	Moderate/high
Downtime due to, for example, failure or repair	None	To be expected/frequent
Climate change impact	Positive (carbon sink)	Negative
Aesthetic appeal	High	Low
Biodiversity enhancement	Yes	No
Corporate social responsibility value	High	Low

**Comparison for 50,000 Population**

Accumulated Yearly Net Present Value



79

22

CO<sub>2</sub>

Tonnes / Year

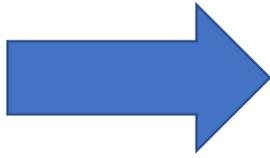
## TRATAMIENTO DE FANGOS

### Humedales de fango

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Numerosas instalaciones en Francia, Dinamarca, Alemania, Inglaterra</li><li>✓ Elevados rendimientos incluso con adversas condiciones climáticas (invierno/heladas)</li><li>✓ Sin uso de reactivos químicos para la deshidratación (polielectrolitos)</li><li>✓ Muy bajo consumo energético (sólo bombeo). Posibilidad de uso de energías renovables</li><li>✓ Proceso aerobio. Ausencia de olores</li><li>✓ Gestión de fangos cada 10-15 años</li><li>✓ Buena eliminación de patógenos en el fango</li><li>✓ Fango mineralizado con sequedad del 30-40%</li><li>✓ Reúso final del fango como abono agrícola.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Superficie ocupada para fangos en exceso de aireación prolongada: 0,2-0,4 m<sup>2</sup>/he</li><li>✓ Normalmente más de 4 unidades en paralelo para facilitar períodos de descanso</li></ul>

Recuperación de nutrientes y reúso del agua

Agua  
tratada

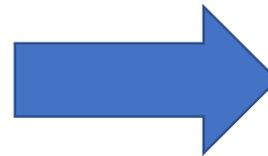


Recuperación de fósforo en  
material adsorbente

**BIOFERTILIZANTE**



Electrocloración mediante  
energía solar y  
regeneración del agua  
tratada para su reúso



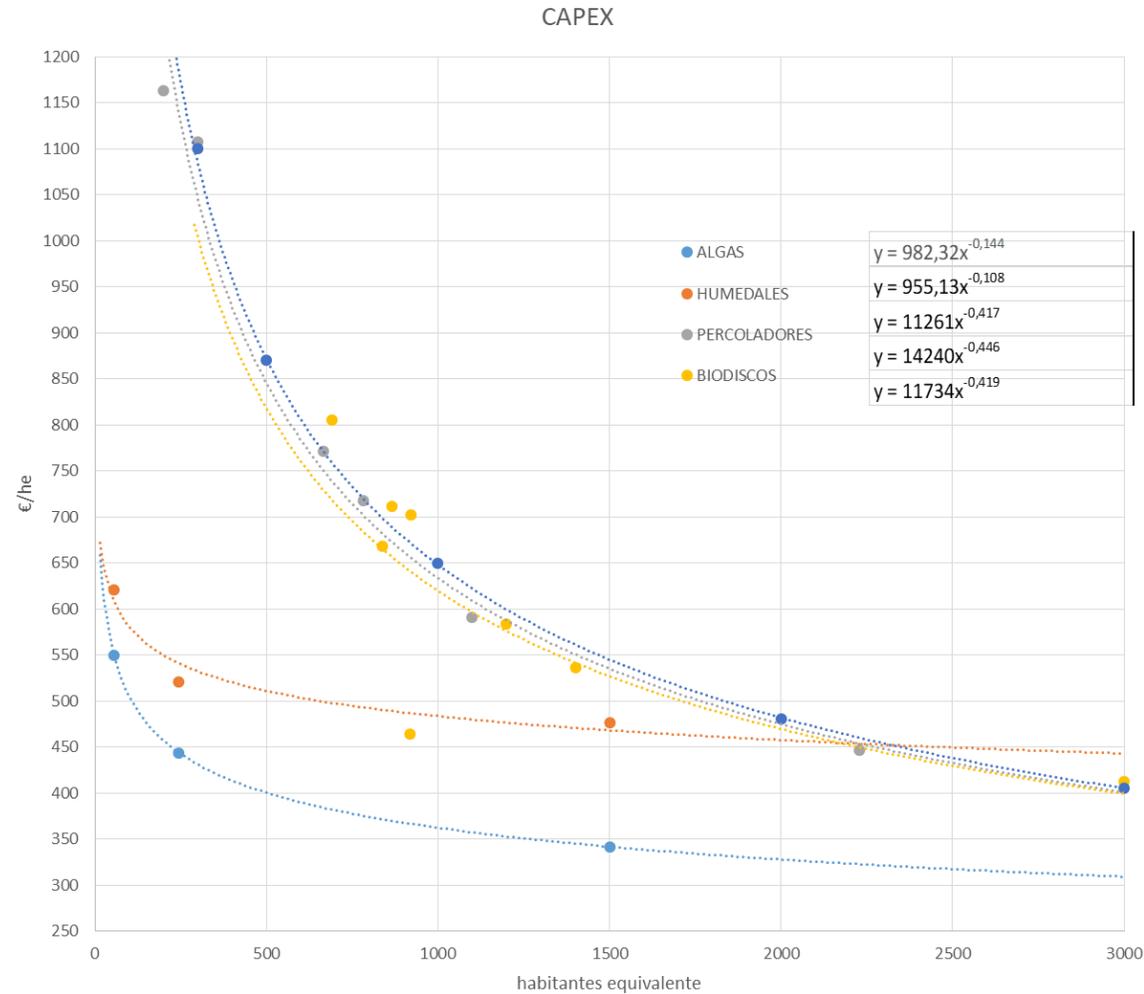
Reúso del agua en  
praderas y talud con  
riego inteligente

**SELECCIÓN DE LA MEJOR LINEA DE TRATAMIENTO**

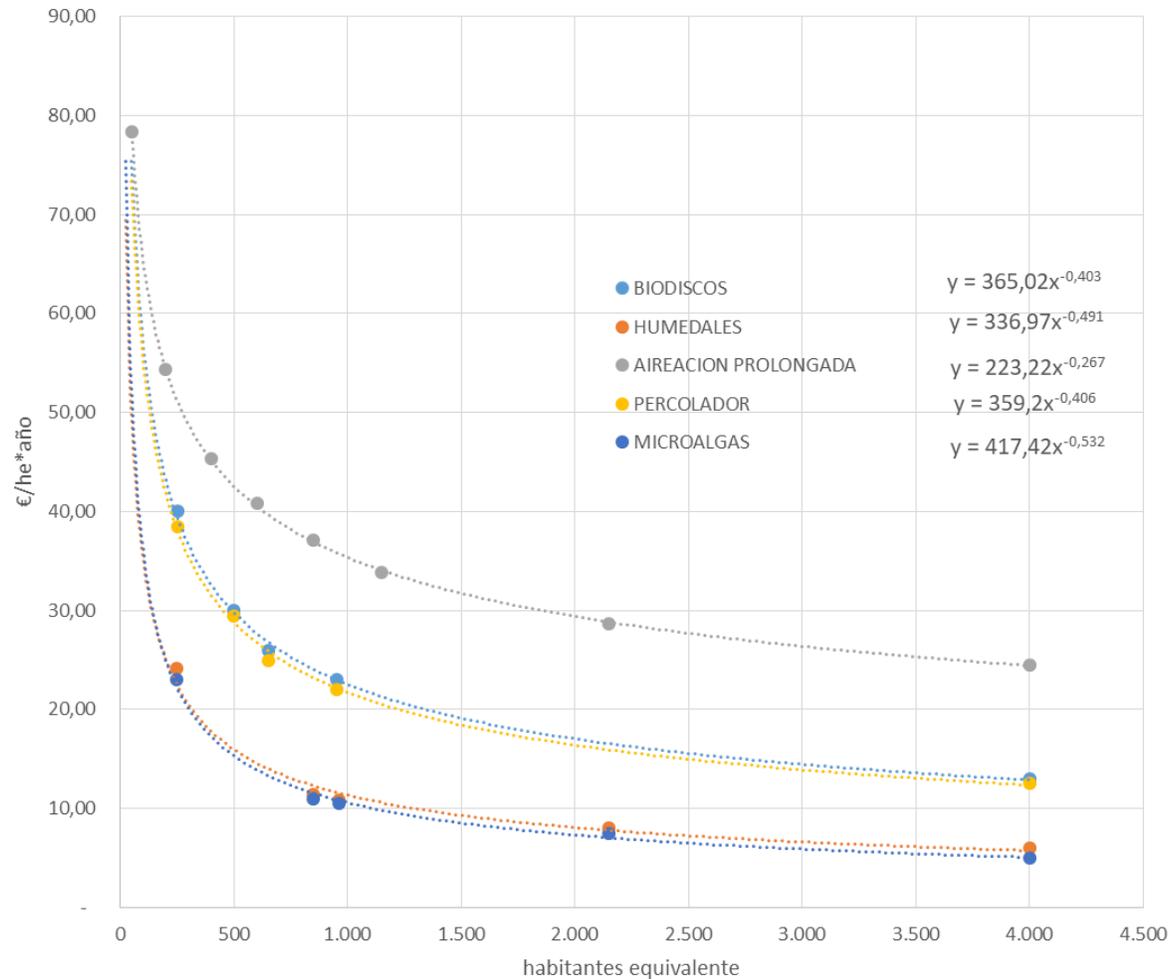
Criterios de diseño: Superficie ocupada

TECNOLOGÍA	2000	500he
AIREACIÓN PROLONGADA	0,2	0,4m <sup>2</sup> /he
BIODISCOS	0,3	0,7m <sup>2</sup> /he
PERCOLADOR	0,3	0,7m <sup>2</sup> /he
HUMEDAL	3	4m <sup>2</sup> /he
MICROALGAS	3,5	4,5m <sup>2</sup> /he

**SELECCIÓN DE LA MEJOR LINEA DE TRATAMIENTO**



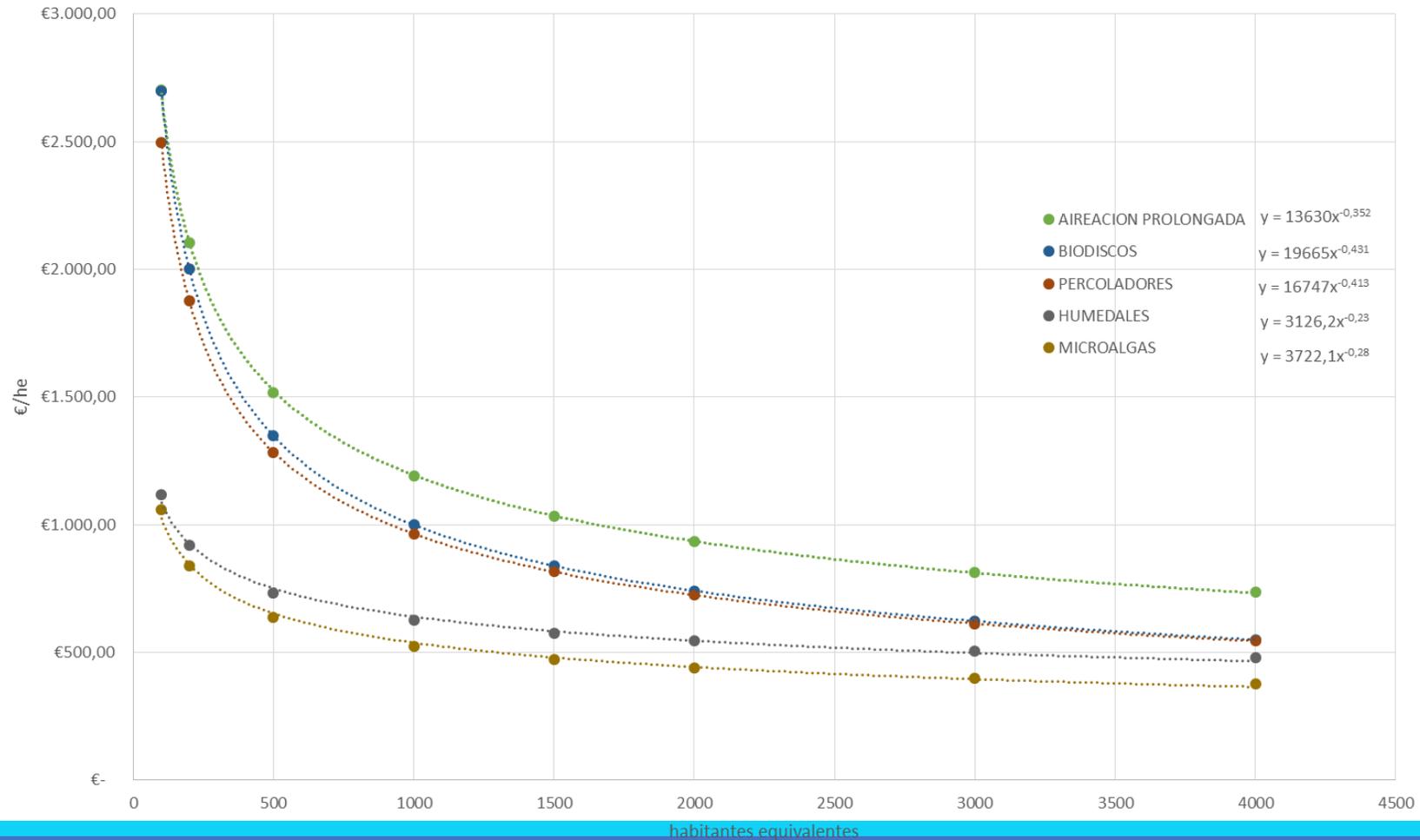
**SELECCIÓN DE LA MEJOR LINEA DE TRATAMIENTO**



COSTES VARIABLES. SAN ROMAN. 2300 he. AIREACIÓN PROLON.	
RETIRADA RESIDUOS PRETRATAMIENTO	1.121,01 €
RETIRADA FANGOS	6.527,32 €
GASTOS DE REACTIVOS	1.631,83 €
ENERGIA ELECTRICA	18.685,08 €
<b>TOTAL COSTES VARIABLES</b>	<b>27.965,24 €</b>
RESUMEN COSTES FIJOS	
PERSONAL	30.500,00 €
ADMINISTRACIÓN Y VARIOS	1.505,00 €
MANTENIMIENTO	5.500,00 €
TÉRMINO DE POTENCIA	891,58 €
<b>TOTAL COSTES FIJOS</b>	<b>38.396,58 €</b>
<b>TOTAL COSTES (€/año)</b>	<b>66.361,82 €</b>
<b>TOTAL COSTES (€/he*año)</b>	<b>28,0</b>
<b>TOTAL COSTES (€/m3)</b>	<b>0,38</b>

**SELECCIÓN DE LA MEJOR LINEA DE TRATAMIENTO**

VALOR NETO ACTUAL 20 años 3% interés



## SELECCIÓN DE LA MEJOR LINEA DE TRATAMIENTO

- Las 16 tecnologías que disponemos en la planta INTEXT se pueden combinar de muchas formas
- Habrá una combinación óptima para cada caso real concreto, en función de varios criterios como:
  1. Superficie disponible
  2. Caudal de entrada
  3. Carga contaminante
  4. Variaciones de caudal y carga
  5. Climatología
  6. CAPEX vs OPEX
  7. Reúso del agua
  8. Límites de vertido (N, P en zona sensible)
  9. Recuperación y producción de energía (biogás)
  10. ...

SISTEMA DE  
SOPORTE DE  
DECISIONES

**Gracias por vuestra  
atención.**

---



# II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO