

# Green solutions for treating groundwater pollution to meet drinking water directive standards



Carmen Biel<sup>1</sup>, Marc Viñas<sup>1</sup>, Belén Fernández<sup>1</sup>, Marlene Mendoza<sup>1</sup>, Miriam Guivernau<sup>1</sup>, Rosa Trobajo<sup>1</sup>, Victor Matamoros<sup>2</sup>, Frederic Duong<sup>3</sup>, Karine Berger<sup>3</sup>, Ariadna Fabregas<sup>4</sup>, Santiago Vendrell<sup>4</sup>, Marina Badia<sup>5</sup>, Ieva Sapkaite<sup>5</sup>,  
Carne Bosch<sup>5</sup>, Ruben Garcia<sup>6</sup>, Elena Zuriaga<sup>6</sup>,

<sup>1</sup>IRTA (Spain), <sup>2</sup>IDAEA-CSIC (Spain), <sup>3</sup>NENUPHAR (France), <sup>4</sup>PROTECMED (Spain), <sup>5</sup>EURECAT (Spain), <sup>6</sup>FACSA (Spain)



## OBJETIVO

El principal objetivo del proyecto **LIFE SPOT** es desarrollar un nuevo tratamiento que reduzca los nitratos y microcontaminantes del agua freática para obtener agua potable que cumpla los requisitos de la Directiva 98/83/EC y la Directiva (EU) 2020/2184.

## PROBLEMAS

Contaminación difusa: En algunas regiones en Europa el agua subterránea contiene elevadas valores de nitratos ( $>50 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ ). También contienen pesticidas y antibióticos.

Escasez de agua en zonas rurales

## RETOS

Se necesita tratamientos de agua potable descentralizados para usuarios que están lejos de Plantas de Tratamiento Urbana: p.e. pueblos, casas de turismo rural y granjas.

## OPORTUNIDAD

El consorcio **Microalga + bacteria** tiene la capacidad de reducir los nitratos y contaminantes emergentes del agua.

**El corcho** y los **pellets de madera** tienen la capacidad de absorber contaminantes emergentes y mejorar los procesos de desnitrificación.

## CAUSADOS POR

Fertilización:

- Orgánica: aplicación de purines y estiércol
- Mineral

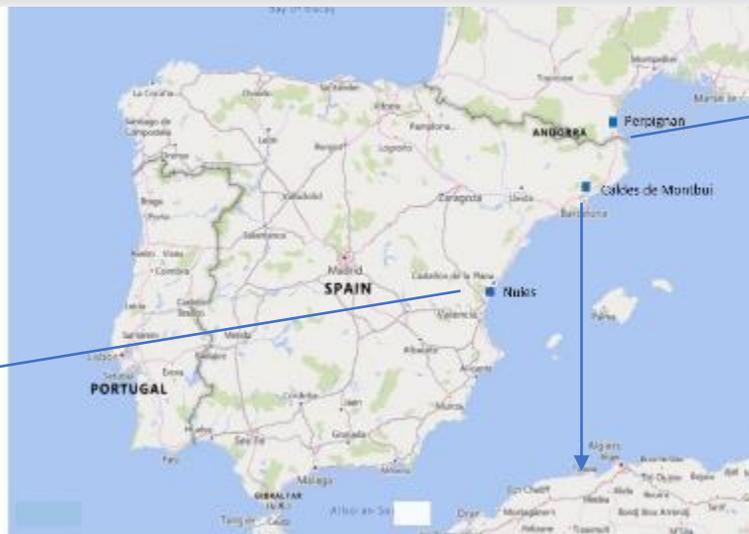
## Economía Circular



**El corcho** y los **pellets de madera** son subproductos de la industria forestal y de tapones.

**Las algas** se pueden utilizar como fertilizantes, bioplásticos, alimento para animales, etc.

# Localización de los pilotos en España y Francia



**Nules (instalaciones FACSA)**



**Nitratos:** 130 mg/L  
**Pesticidas:** Atrazina, bromacil, desetilatrazina, simazina, terbutrin y terbutilazina (>0.5 µg/L)  
**Antibióticos:** ciprofloxacina (ng/L).  
**Genes resistencia antibióticos (GsRA):** no detectados

**Perpiñán DWP (NENUPHAR)**

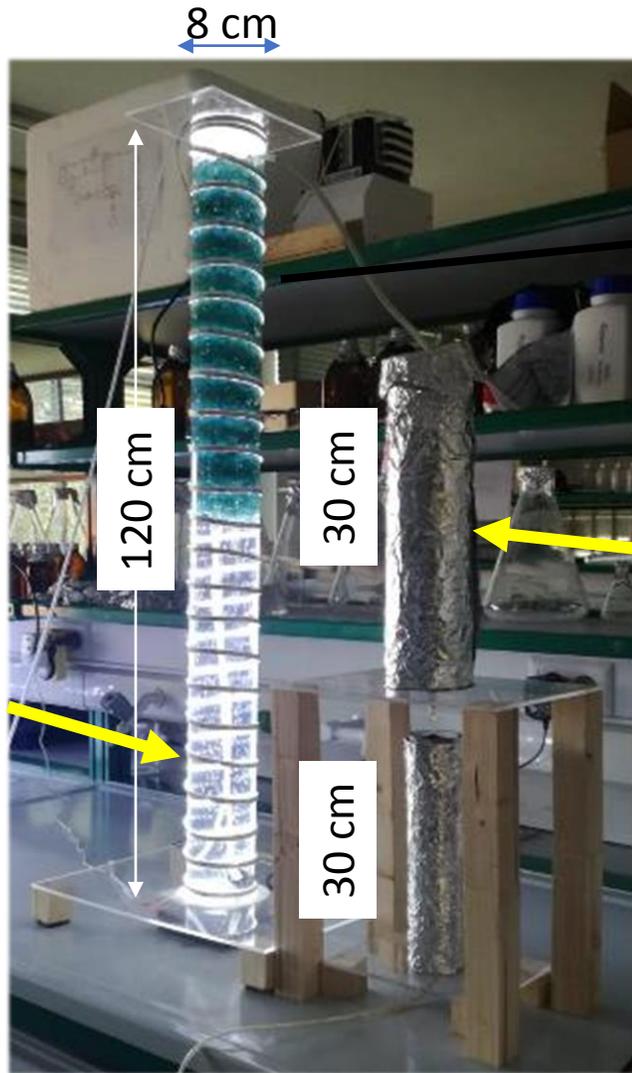


**Torre Marimón (instalaciones IRTA)**



**Nitratos:** 400-700 mg/L  
**Pesticidas:** Atrazina, dietil atrazina y carbamato (SWEP).  
**Antibióticos:** sulfametazina, ciprofloxacina y enrofloxacin (ng/L)  
**GsRA :** int y Sul 1

**Nitratos:** 3.7 mg/L  
**Pesticidas:** Atrazina  
**Antibióticos:** no detectados  
**GsRA :** no detectados

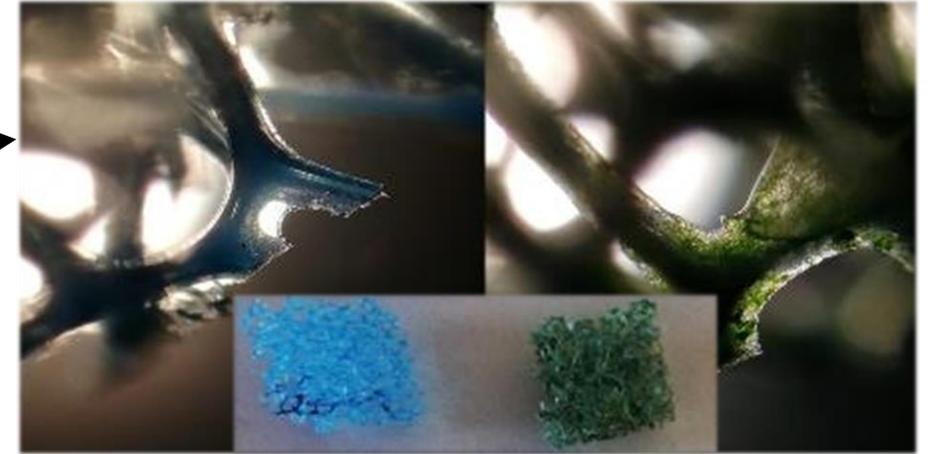


Espuma (1 cm, 1 mm poros)

Filtro corcho (1-2 mm)

Día 0

Día 60

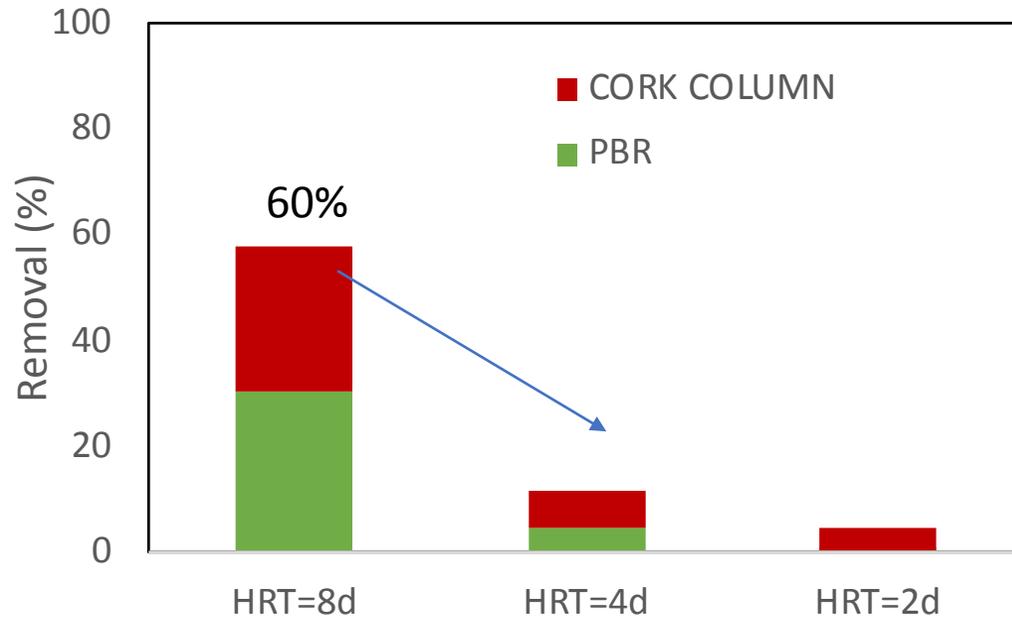


Fotobioreactor PBR

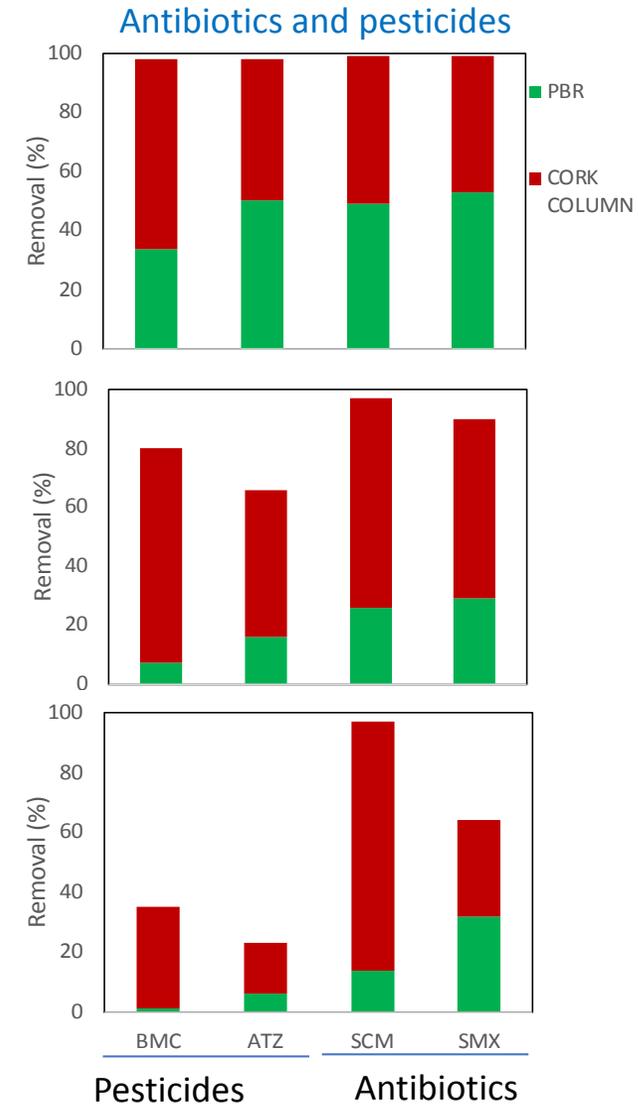
- Agua freática + nitratos añadidos (**200 mg/L**).
- HRT: 8, 4 y 2 días
- Después de operar 60 días, se añadieron pesticidas y antibióticos al sistema.

## Estudios en laboratorio (90 días)

### Nitratos (200 mg/L)



La atenuación de nitratos y pesticidas en el fotobioreactor + filtro de corcho depende del tiempo de residencia (HRT).



Atrazina, Bromacil,  
Sulfametoxazol,  
Sulfacetamida

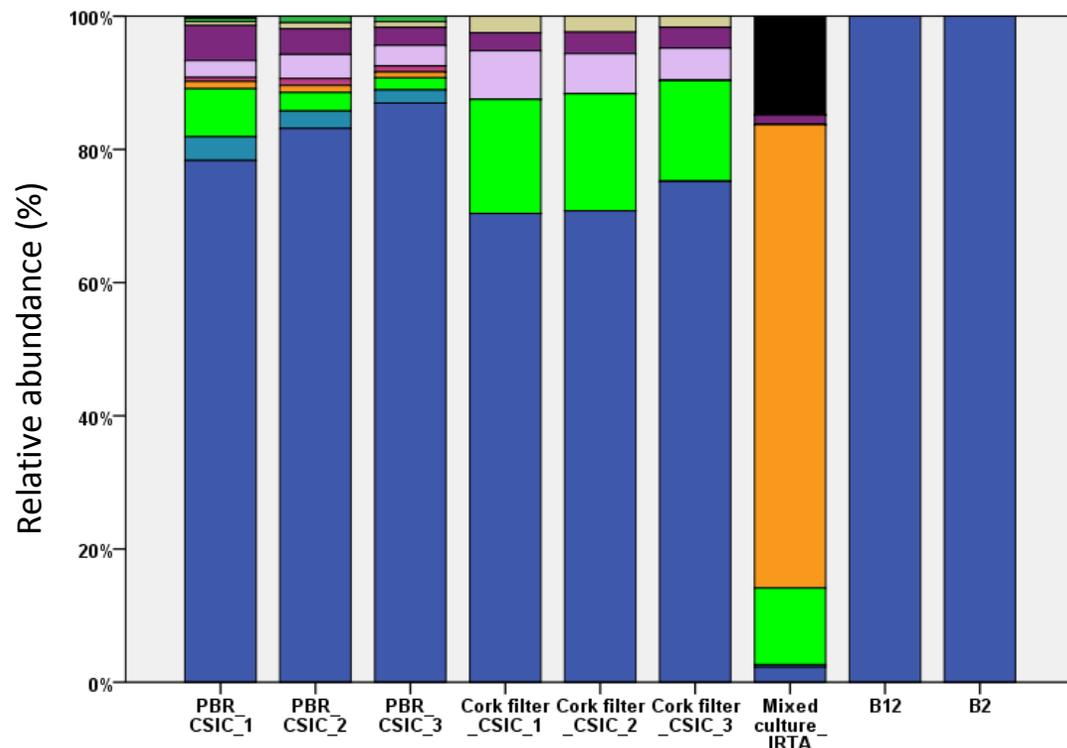
HRT=8d  
(98%)

HRT=4d  
(83%)

HRT=2d  
(55%)

Microscopio a 100 aumentos (Nikon eclipse 90I)

## MiSeq-18S-microalga



Grumo de microalgas verdes



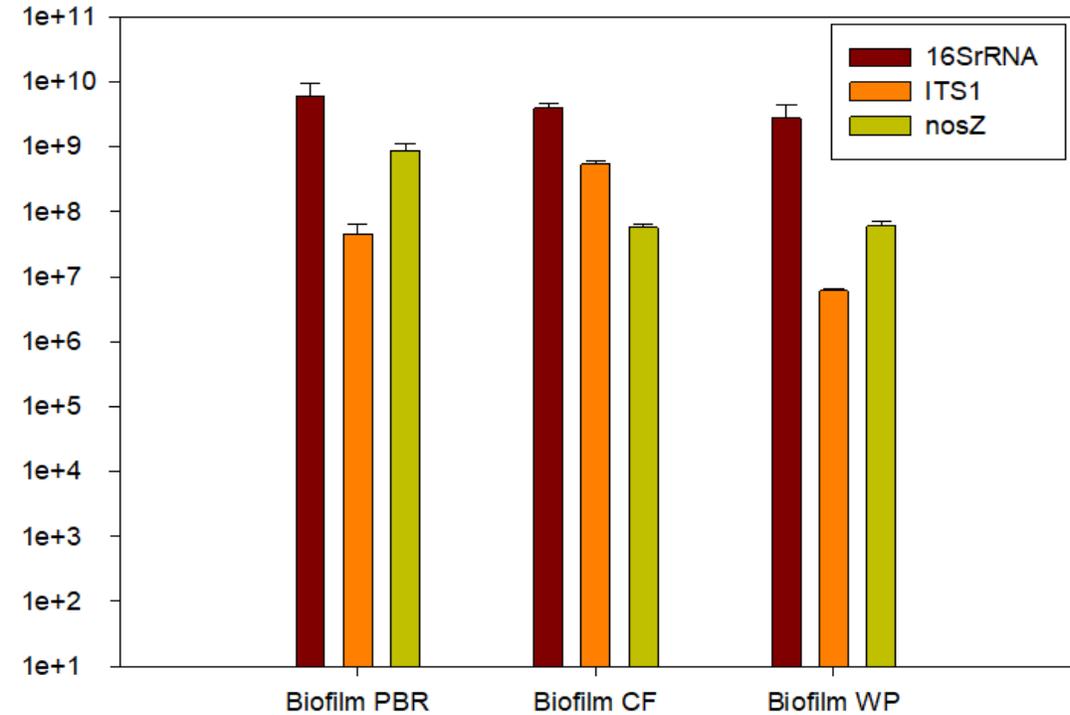
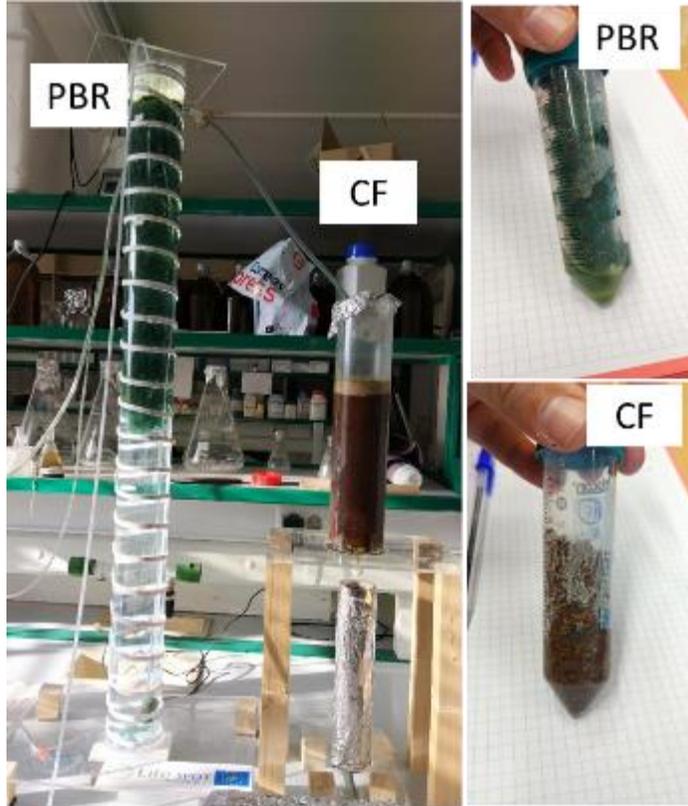
Grumo de microalgas verdes y una diatomea (Sellaphora sp. - flecha).



Presencia de filamentos de cianobacteria -flecha

- *Micractinium pusillum*
- *Desmodesmus cf. intermedius*
- *Desmodesmus sp.*
- *Coelastrella cf. aeroterrestica\_all*
- *Coelastrella tenuithecra*
- *Coelastrella cf. terrestris*
- *Kalenyinia gelatinosa\_all*
- *Chlorella sorokiniana\_all*
- *Tetradasmus sp.*
- *Tetradasmus obliquus\_all*

## Cuantificación de poblaciones microbianas claves por qPCR



Bacterias Totales (*16S rRNA*), hongos (*ITS1*) y bacterias desnitrificantes (*nosZ*)

Contenido alto de bacterias desnitrificantes (>14%),  $10^{+9}$  nosZ copias.g<sup>-1</sup> espuma



Prototipo laboratorio



Fotobioreactor PBR



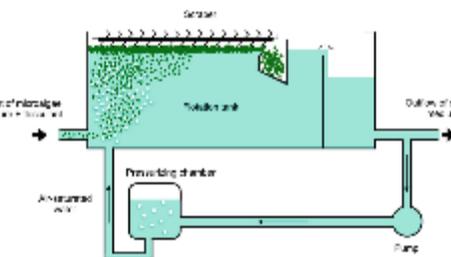
HRT 8-4 días

Inyección CO<sub>2</sub>

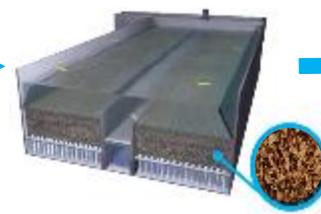


Adición Fosfato

Unidad de flotación por aire (DAF)



Filtro de Corcho/pellet madera

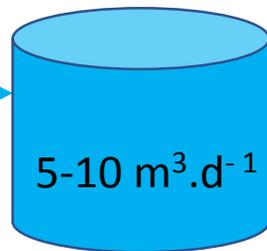


Filtro



Desinfección si es necesario: cloración

Agua limpia



5-10 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>

Usuario Final

Fango de Algas

Valorización biomasa de algas

Compost



Biogás



Agua pozo con ↑ [Nitratos]

Recuperación del fósforo



**50-500 mL (batch)**  
Consorcio del FBR del  
laboratorio del CSIC



**Inóculo Starter**



**5L-20L (batch)**



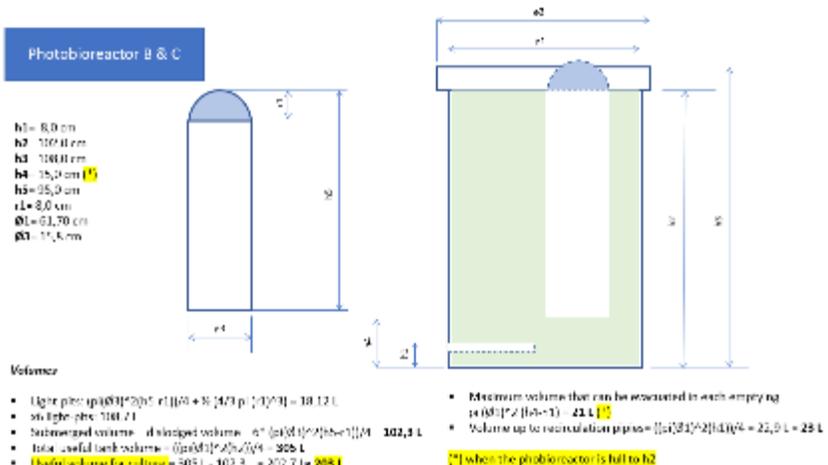


200L



## Light-pits “nenuphar”

Columnas flotantes que permiten que la luz llegue a 1 m de profundidad



Inóculo Starter en PBR (200 L) funcionando en discontinuo y en continuo

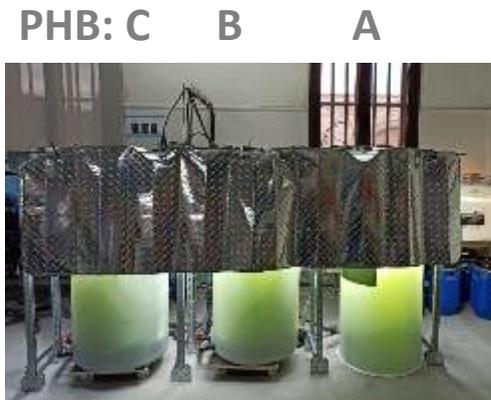
Las luces aportan radiación similar a la luz solar

Con aireación 4 veces al día

Inyección de CO<sub>2</sub> 4 veces al día, 2 minutos a 1.5 bar



# Ensayos en fotobioreactores con microalgas con agua real (alto contenido en nitrato)

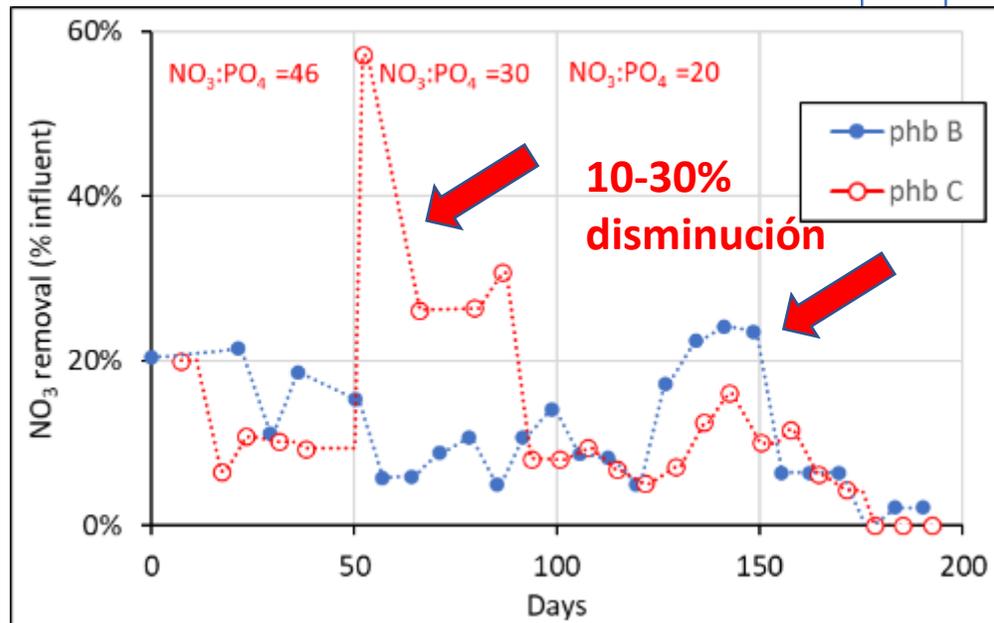
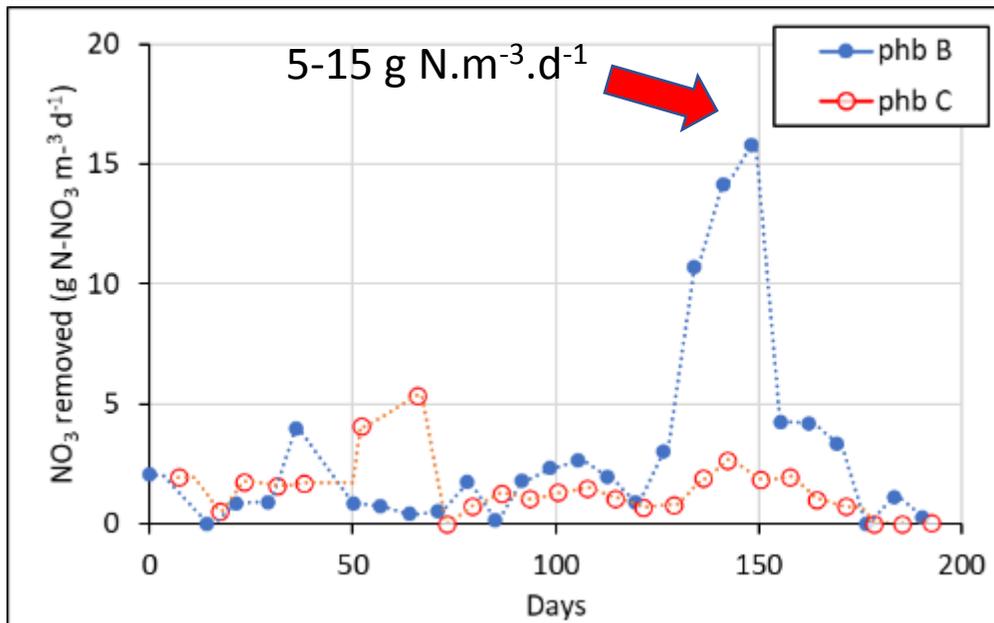
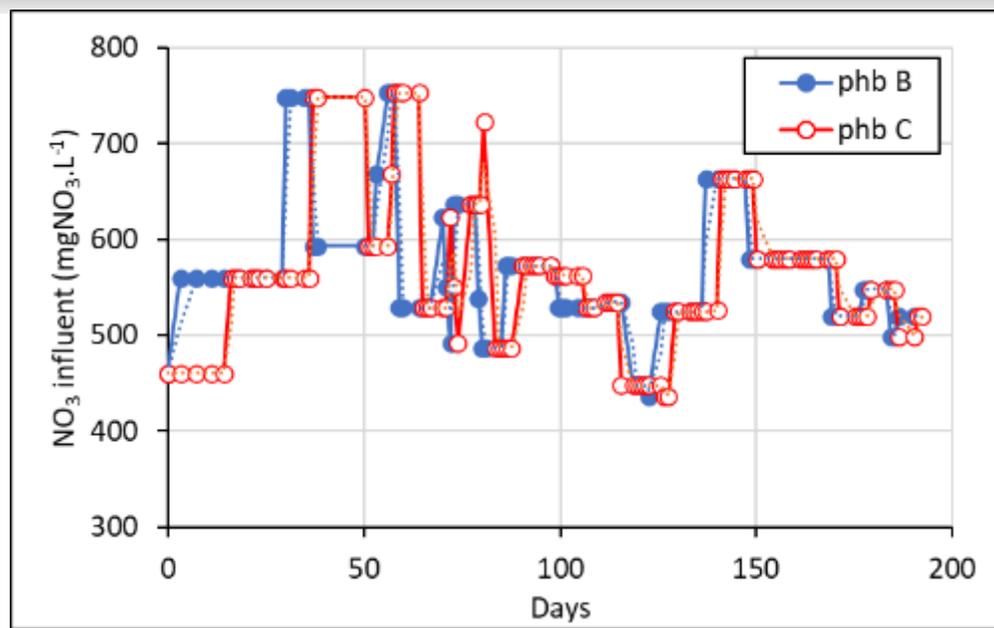
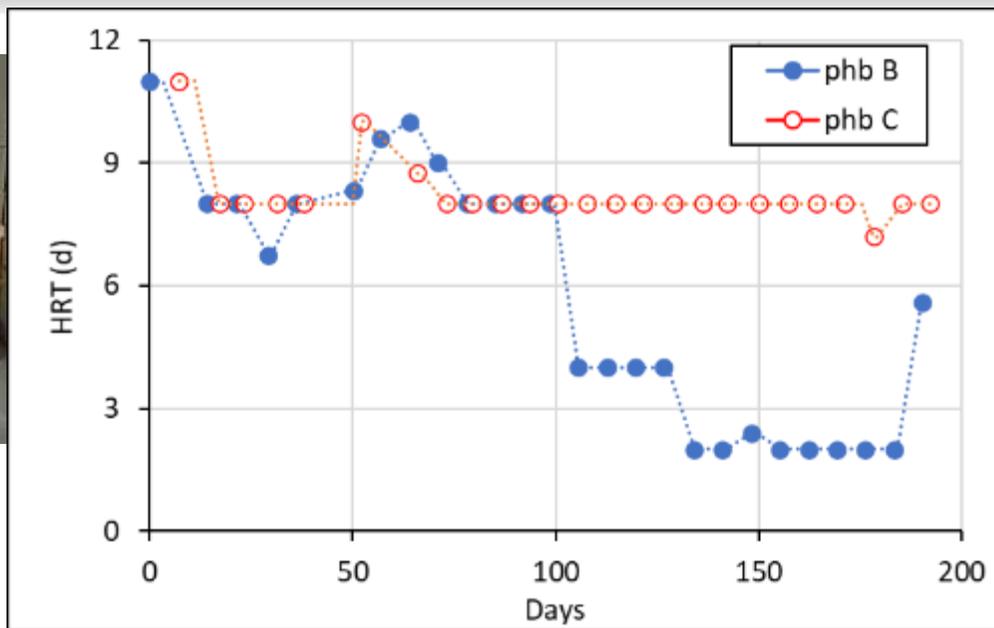


Ensayos en paralelo con 2 FBR (200L) operando en modo continuo

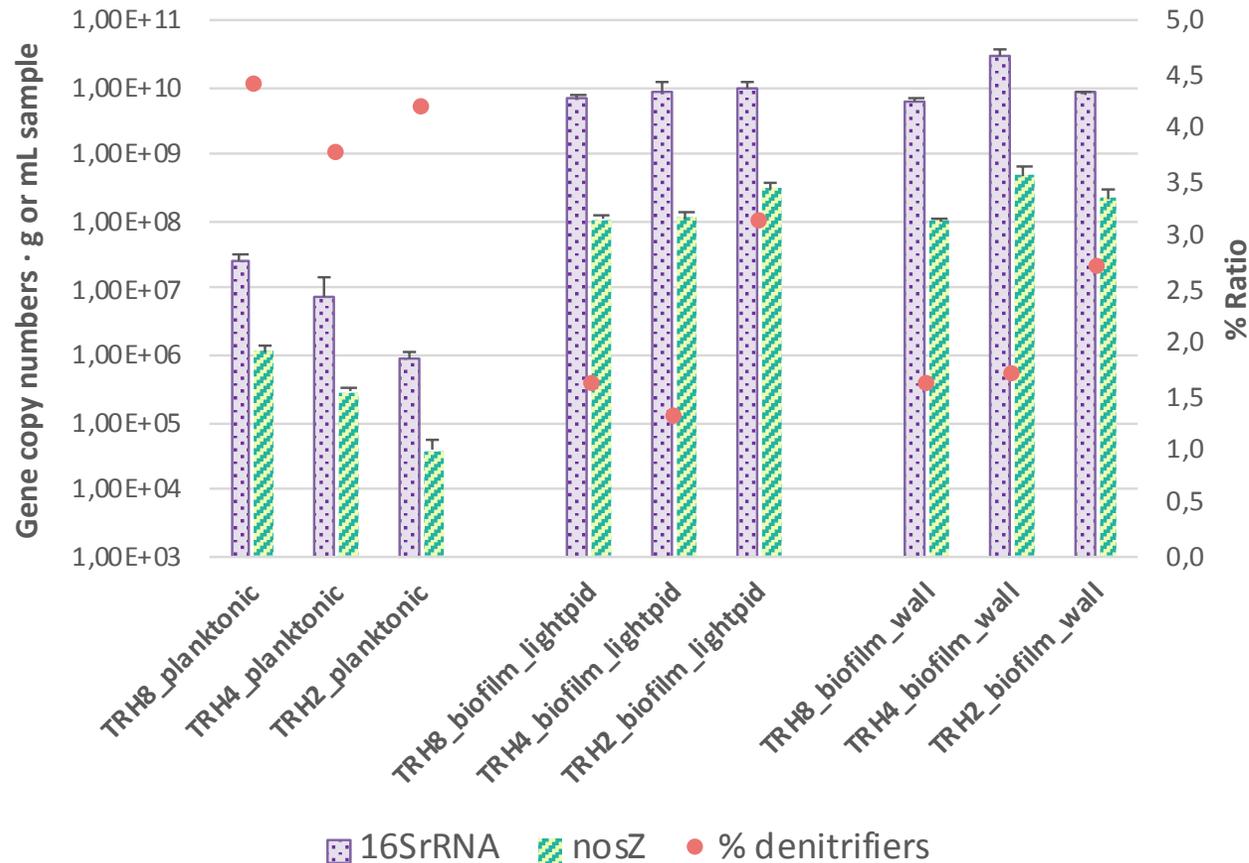
En fbr-B, la variable es el tiempo de residencia.

En fbr-C, la variable es el ajuste de fosfato

Duración 6 meses.



## Población total de bacterias (16S rRNA) y bacterias desnitrificantes (nosZ) en pbr-B en diferentes HRT



La mayoría de bacterias totales y desnitrificantes están en el **Biofilm** en vez de la fase planctónica.

- Las poblaciones desnitrificantes representan un 1.5% en biofilms y 4.5% en las células suspendidas.

Reduciendo el tiempo de residencia de 8 a 2 días, disminuye x1.5 log la cantidad de bacterias desnitrificantes en la fase planctónica.

El potencial desnitrificante en el biofilm se mantiene en todos los tiempos de residencia.

### Los procesos de disminución de N en los PBRs podrían ser:

- Durante el periodo de luz: crecimiento de las algas.
- Periodo oscuridad: principalmente desnitrificación por las bacterias presentes en el biofilm.

**Para detectar y cuantificar la presencia potencial de cianobacterias se llevan a cabo diferentes estrategias de metodologías:**

## 1- Métodos de cribado rápido para el monitoreo de las plantas piloto

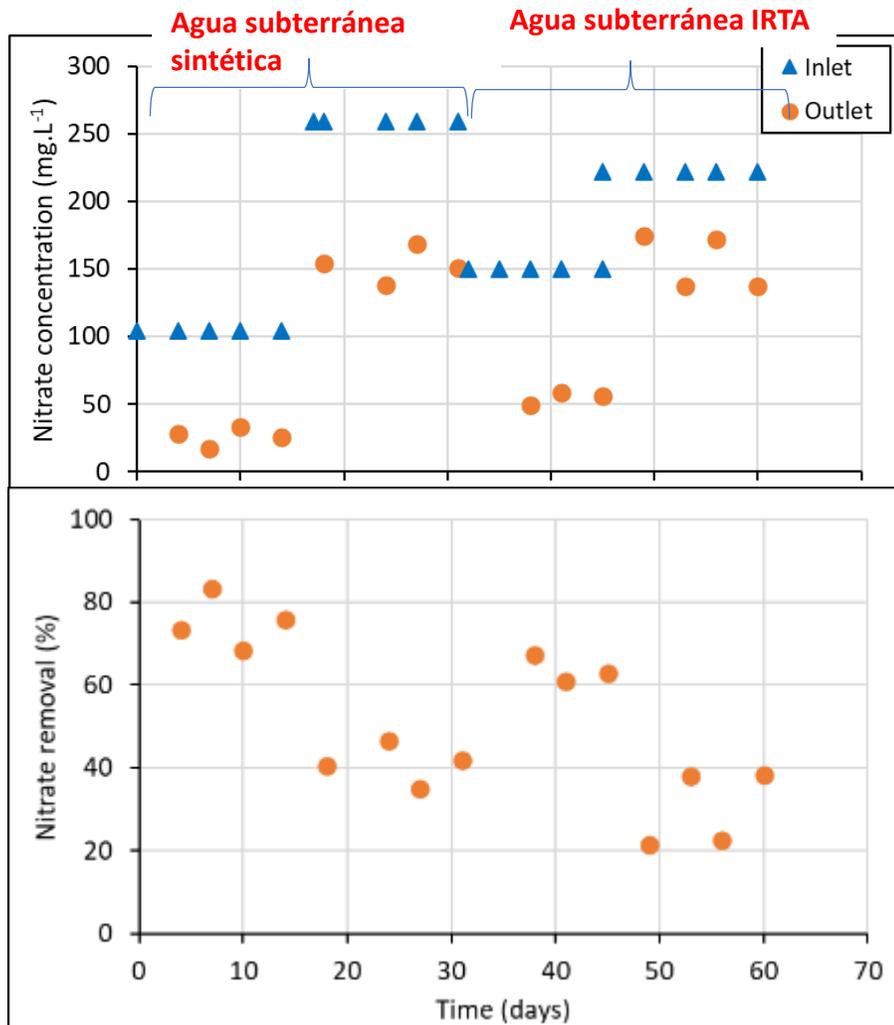
- Examen rutinario al microscopio óptico para una identificación rápida de presencia y abundancia de cianobacterias en las muestras de agua y biofilm.
- Ensayo basado en la inhibición de la proteína fosfatasa → probado pero no viable debido a la falta de la enzima adecuada.
- Actualmente se está desarrollando un ensayo inmunológico (basado en anticuerpos contra las cianotoxinas) – buenos resultados preliminares

## 2- Identificación de las principales cianobacterias, bacterias y microalgas por Next Generation Sequency (MiSeq 18S-16S. (resultados pendientes)

## 3- Confirmación de la identificación y cuantificación de cianotoxinas por espectrometria de masas mediante LC-HRMS (análisis puntuales).

## Experimentos de degradación de los nitratos

La capacidad del filtro de corcho de eliminar los nitratos depende de la concentración de nitratos.



El corcho no tiene capacidad de sorción abiótica de los nitratos



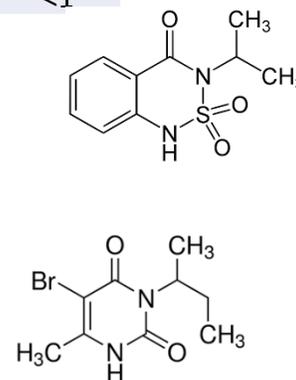
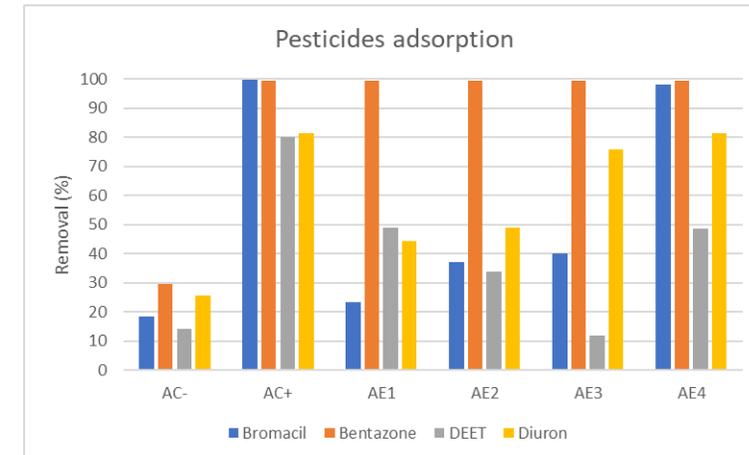
**Eliminación constante de los nitratos a una tasa alrededor de 50 g N/ m<sup>3</sup> · d  
Esta es x3-10 veces mayor que la observada en el PBR**

## Ensayos de adsorción de pesticidas

Objetivo: determinar la capacidad de adsorción y desorción de pesticidas por el corcho (caudal de filtración 4.13 m.h<sup>-1</sup>):

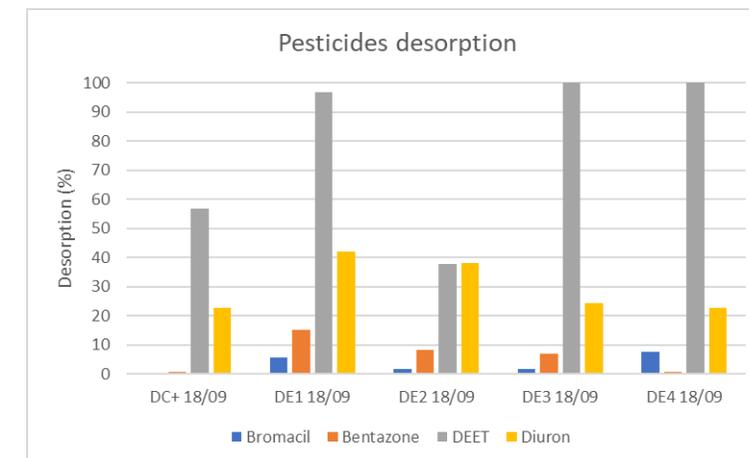


	Condiciones experimentales		Concentración pesticidas (ng/L)			
	Adsorbente	Adsorbente (g/L)	Bromacil	Bentazone	DEET	Diuron
Agua pozo			287	135	8	5
Control negativo	NO	-	234	95	7	4
Control positivo	Carbon activo	0,1	<1	<1	2	<1
Experimento 1	Corcho	0,01	220	<1	4	3
Experimento 2	Corcho	0,1	180	<1	5	3
Experimento 3	Corcho	1	172	<1	7	1
Experimento 4	Corcho	10	5	<1	4	<1



Eliminación alta de:

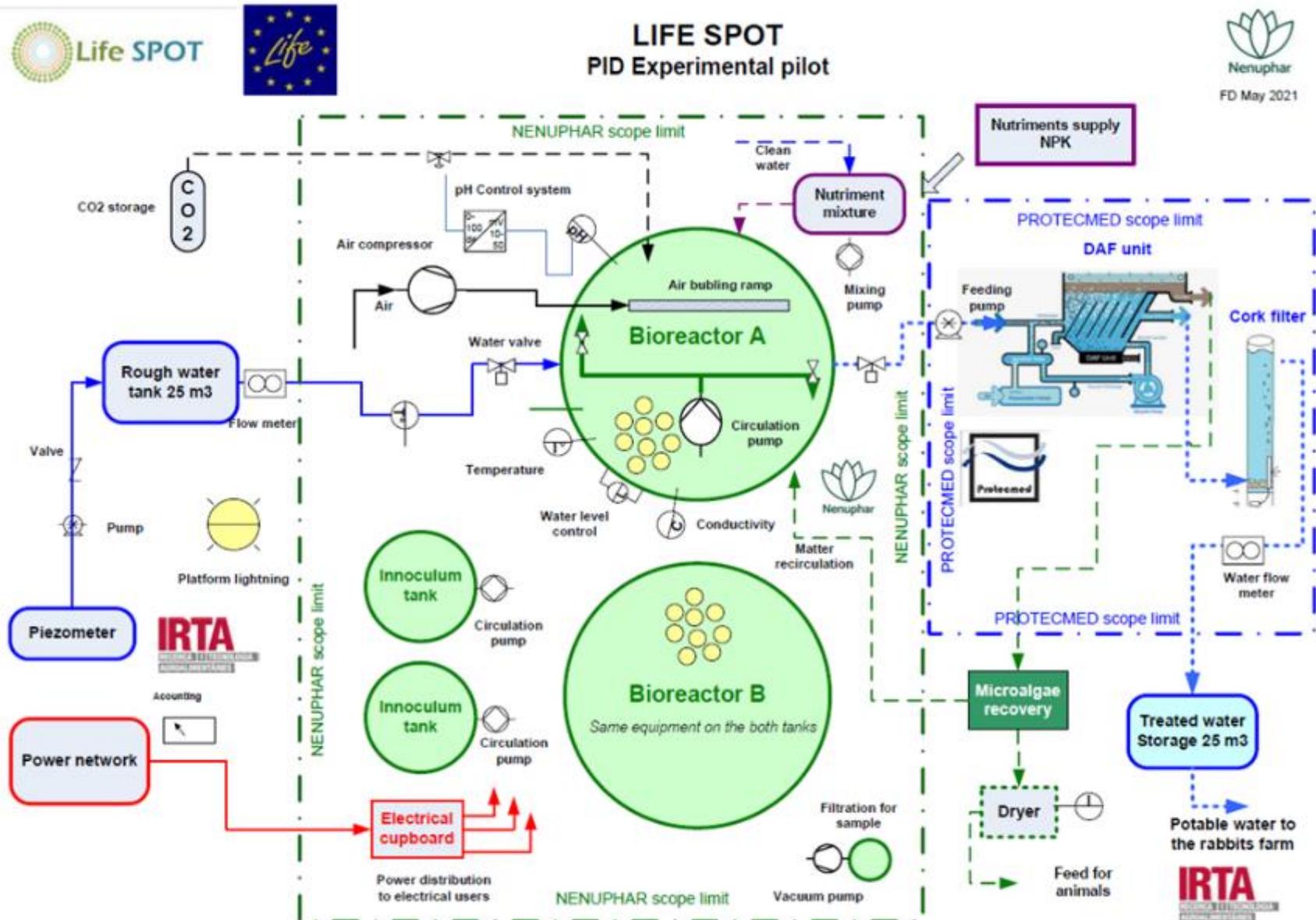
- bentazona (100% eliminación por sorción y baja desorción)
- bromacil (eliminación en proporción a la concentración de corcho y negligible desorción)



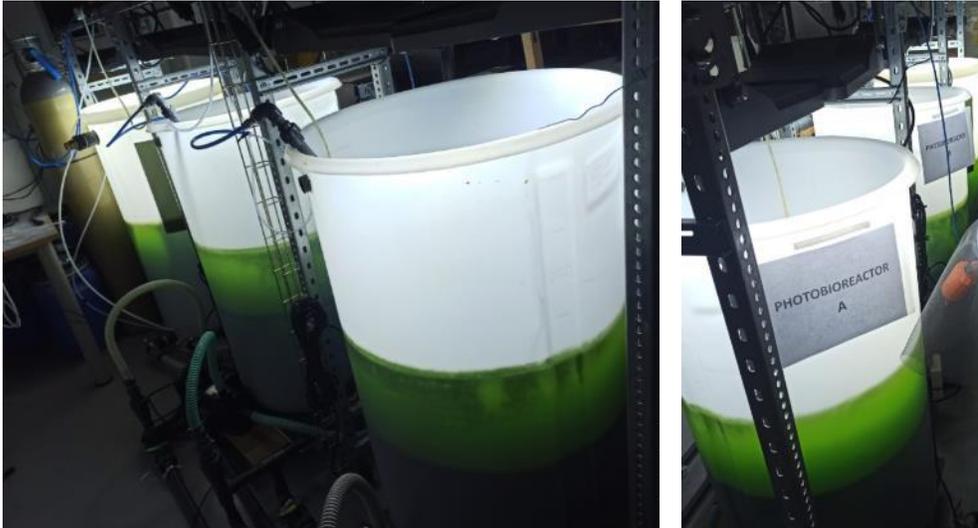
- La tasa de eliminación de nitratos en los PBR fue de 5-15 g N/m<sup>3</sup>·d que era x3-10 veces menor que el observado en el filtro de corcho.
- Los microcontaminantes se eliminaron tanto en el PBR como en el filtro de corcho.
- La composición microbiana en el PBR no fue constante, ya que se vio afectado por el pH, y la concentración de fosfato y nitratos.
- La aparición de cianobacterias y la presencia de cianotoxinas ha de ser monitorizado a lo largo del tiempo.
- El valor añadido del FBR es la eliminación de nitratos y microcontaminantes en el agua subterránea y la reducción de la huella de carbono debido al secuestro de carbono por las algas y la recuperación de nutrientes.

# Localización piloto en Torre Marimon





## Producción de inóculo de microalgas para inocular los fotobiorreactores



### Fotobiorreactores (FBR)

- Cada fotobiorreactor tiene:
  - 200 L de cultivo.
  - Una bomba de recirculación de 70W.
  - Una lámpara LED de 200W (PPFD: 1700  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ).
  - Inyección de aire y CO<sub>2</sub>.

### Condiciones de trabajo

- Inyección de CO<sub>2</sub>: 4 veces/día a 1 bar durante 2 minutos.
- Inyección de aire: 24 h/día.
- Temperatura media dentro de FBR: 24 °C.
- PPFD: 1700  $\mu\text{mol/s/m}^2$ .
- pH: 7.0 - 8.5.

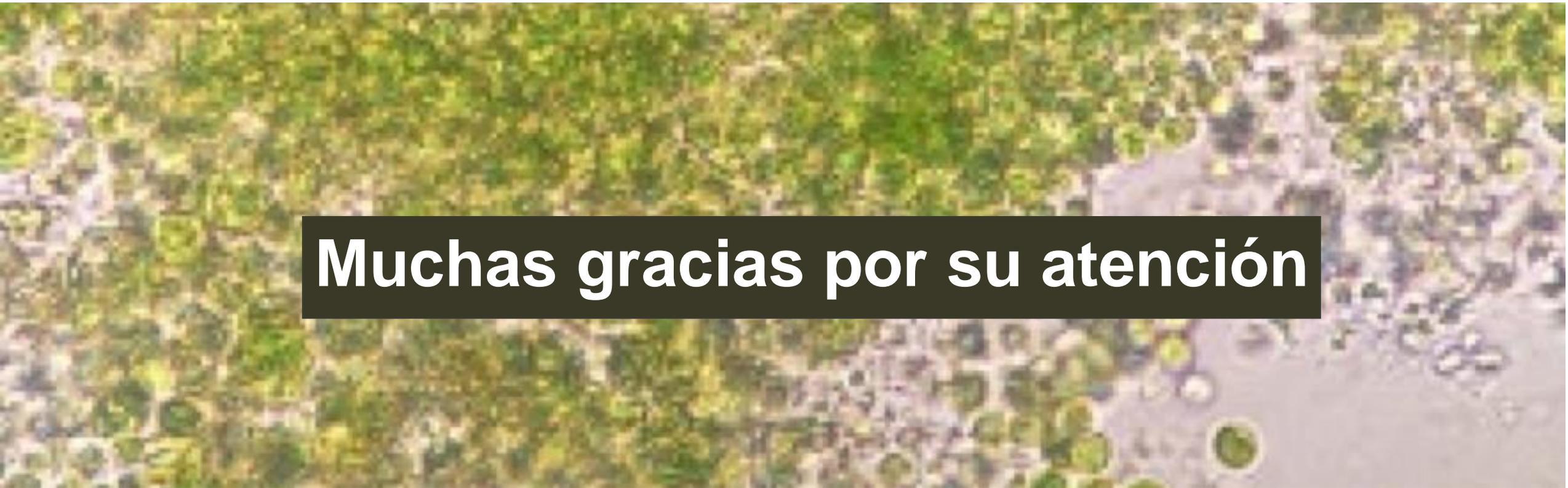
### Caracterización fisicoquímica

- Sólidos en suspensión totales (g/L).
- Turbidez (at 600 nm).
- Clorofila a ( $\mu\text{g/ml}$ ).
- Demanda química de oxígeno (mg/L).
- Nitratos (mg/L).
- Fosfatos (mg/L).

Contenedor con

- DAF
- Filtro
- Cloración





**Muchas gracias por su atención**

[www.lifespotproject.eu](http://www.lifespotproject.eu)



@Lifespot2



LIFE18 ENV/ES/000199

[Carmen.biel@irta.cat](mailto:Carmen.biel@irta.cat)