



LIFE RENATURWAT

Integración de la economía circular y la biodiversidad en tratamientos sostenibles de aguas residuales basados en humedales artificiales

Miguel Martín, Carmen Hernández-Crespo, IIAMA-UPV

Miguel Añó, EMIVASA

(mmartin@hma.upv.es;carhercr@upvnet.upv.es;miaso@globalomnium.com)

The LIFE RENATURWAT project has received funding from the LIFE Programme of the European Union

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- Riqueza biológica.
- Regulación de los flujos hídricos. Inundaciones.
- Mejora de la calidad del agua.
- Provisión de alimento.
- Provisión de biomasa: combustible, construcción, fibras...
- Captura de carbono ↔ Emisión de metano.
- Regulador térmico: captura de humedad-evapotranspiración.
- Bienestar.
- Educación social y ambiental.



Parametrizar matemáticamente la capacidad de:

- Aportar oxígeno.
- Eliminar nutrientes.
- Capturar carbono.
- Facilitar la sedimentación de partículas.
- Eliminar microorganismos patógenos.
- Reducir fitoplancton (eutrofización).
- Incrementar zooplanton.

MODELOS BIOGEOQUÍMICOS

$$\frac{dS}{dt} = - \frac{\mu_m}{Y} \frac{S}{K_S + S} X$$

MODELOS ECOLÓGICOS → MODELOS DEPREDADOR-PRESA

Y conocer los límites de estas representaciones...

Humedales artificiales/construidos/tratamiento: tecnologías extensivas para tratamiento de aguas.

- Aguas residuales pequeñas poblaciones (< 2000 he). Deshidratación de fangos.
- Efluentes industriales, actividades agrícolas (bodegas, granjas).
- Escorrentías urbanas (autopistas, descargas de sistemas unitarios...).
- Aplicaciones ambientales.



Flujo subsuperficial



Flujo superficial



Gravas/arenas



¿CÓMO PODEMOS COMPLEMENTAR ESE CONOCIMIENTO?

LIFE19 ENV/ES/000197



- Mejorando la **capacidad de aireación** pasiva de los humedales artificiales: vaciados/llenados.
- Mejorando la capacidad de **eliminación de fósforo** y contaminantes emergentes: empleando sustratos activos.
- Mejorando la capacidad de **eliminación de nitrógeno**: combinando periodos aerobios y anaerobios en el interior del humedal.
- Evaluando la capacidad de **eliminación de microplásticos** y sus rutas.
- Estudiando los tiempos de permanencia del agua para **evitar eutrofización**.
- Favoreciendo la presencia de anfibios y macroinvertebrados: **morfología de charcas y lagunas**.



¿CÓMO PODEMOS COMPLEMENTAR ESE CONOCIMIENTO?

LIFE19 ENV/ES/000197



- Mejorando la capacidad de **eliminación de fósforo** y contaminantes emergentes: empleando sustratos activos.



CASO ESPECÍFICO DE LA ELIMINACIÓN DE FÓSFORO EN ARU (I)

LIFE19 ENV/ES/000197



- Mecanismos de eliminación de P en humedales de tratamiento:
 - Adsorción en SS y sedimentación Flujo Superficial.
 - Adsorción en material del lecho Flujo Subsuperficial.
 - Precipitación con materiales calizos.
 - Asimilación por las plantas.
 - Biomasa bacteriana.
- Rendimientos insuficientes para alcanzar 1-2 mg P/l a la salida del tratamiento.
 - Superficiales: 27% (Lyu, T. et al., 2024). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122392>
 - Subsuperficiales: 50% (Vymazal, 2010). <https://doi.org/10.3390/w2030530>

- Adsorción/precipitación en material del lecho:
 - Mecanismo sencillo de implementar en humedales subsuperficiales.
 - Buenos resultados de eliminación: 70-97%.
 - Vida útil limitada. Sustitución.
 - Materiales
 - Comerciales: Filtralite®, CATSAN® , apatita, bentonitas, zeolitas...
 - No comerciales: residuos...fangos del proceso de potabilización.



¿CÓMO PODEMOS COMPLEMENTAR ESE CONOCIMIENTO?

LIFE19 ENV/ES/000197

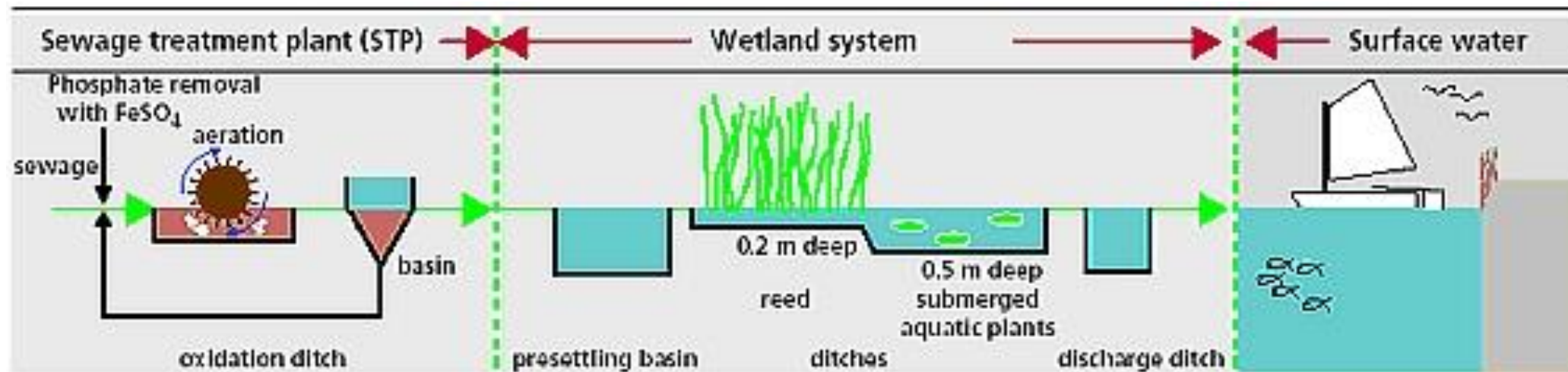


- Estudiando los tiempos de permanencia del agua para **evitar eutrofización**.
- Favoreciendo la presencia de anfibios y macroinvertebrados: **morfología de charcas y lagunas**.

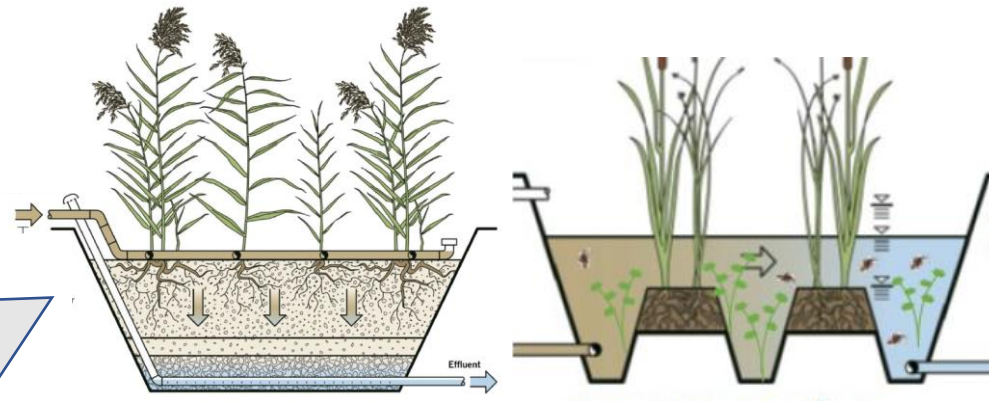
- Puente entre la EDAR y el medio receptor (Claassen, 1996; Ruud Kampf, 2003) .

<http://www.waterharmonica.nl/waterharmonica.htm>

http://www.waterharmonica.nl/publikaties/2003_tenerife_kampf/tenerife_2003.PDF



- El proyecto se dirige a depuradoras de **pequeñas/medianas poblaciones** (<2000 he; < 10000 he).
- Han de tener su tratamiento secundario (tratamiento **adecuado** según DTA, actualmente en revisión).
- Cómo reducir **nutrientes** en estas poblaciones de una forma económica y técnicamente viable.
- Cómo mejorar la **biodiversidad** empleando aguas regeneradas. Usos ambientales. **Renaturalización** del efluente antes del vertido a DPH.
 - Integrar aspectos biológicos, no solo los clásicos F_Q, en los **requisitos de vertido a cauce público**. A nivel cualitativo.



- El material adsorbente ha de ser fácilmente obtenible:
 - Evitar al máximo un preprocesamiento costoso: consumos de energía, reactivos químicos, varias etapas de preproceso...
- Ha de tener buena permeabilidad y no alterar su estructura con la humedad.
- Ha de tener una buena capacidad de adsorción: $> 10 \text{ mg P/g material}$
- Debe poderse recuperar fácilmente tras su agotamiento:
 - Evitar empleo de energía y productos químicos.
- Flexibilidad operativa: funcionamiento continuo o intermitente (“Tidal flow”).
- Instalación sencilla. Mínima automatización. Mínimo consumo energético.
 - Vaciados con electroválvulas temporizadas.
 - Llenados con bombes temporizados.



ESTUDIOS PREVIOS - METODOLOGÍA

LIFE19 ENV/ES/000197



The LIFE RENATURWAT project has received funding from the LIFE Programme of the European Union



ESTUDIOS PREVIOS - HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA BIODIVERSIDAD

LIFE19 ENV/ES/000197



LIFE12 ENV/ES/000685 ALBUFERA



Gestión integrada de tres humedales artificiales en cumplimiento de las Directivas Marco del Agua, Aves y Hábitats

CARRÍCOLA



Población: 100 -150 he.
Economía: agrícola (orgánica).
Servicios: 1 bar, 1 hostel, 1 piscina pública.
EDAR: Humedales artificiales.
Consumo energético nulo.



Recogida selectiva de RSU.
Compostaje.



Urb. LOS MONASTERIOS Puzol



Población: 1500 he.

Economía: zona residencial.

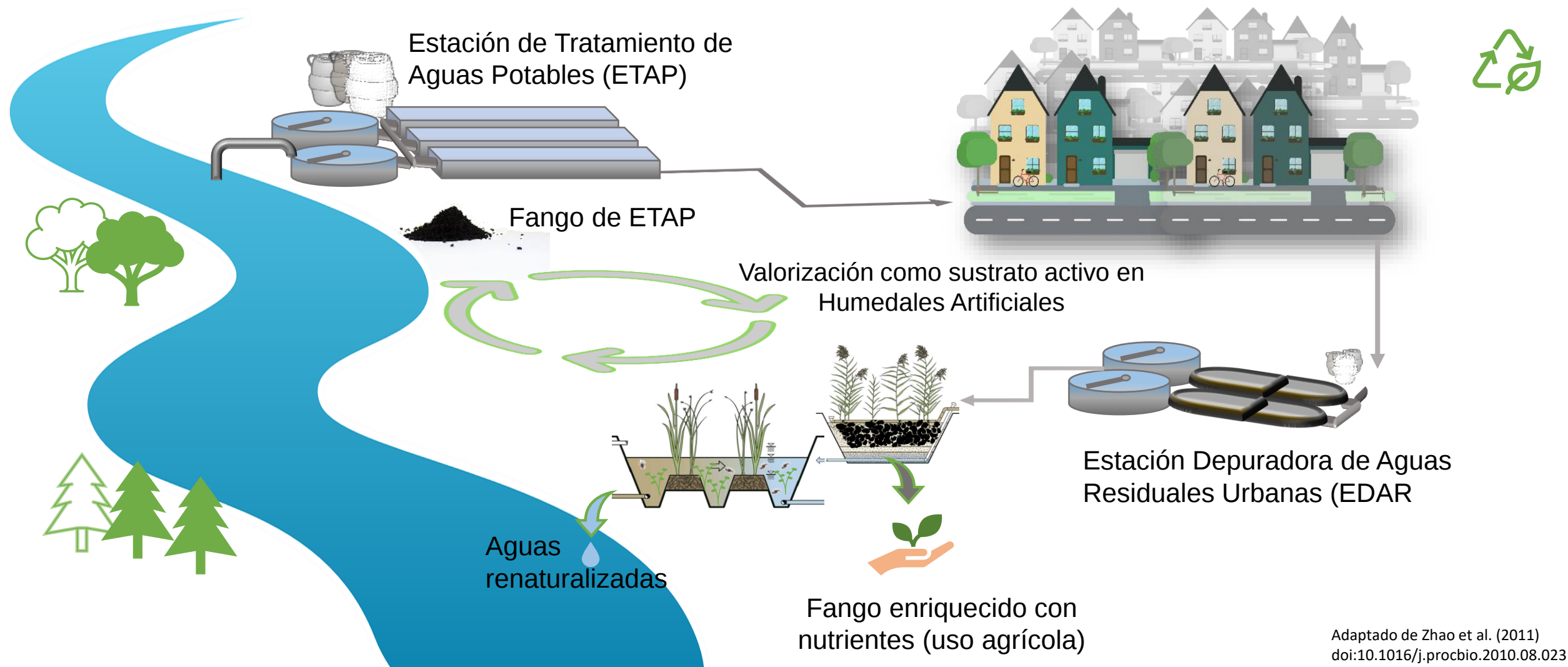
Servicios: club social, varias piscinas.

EDAR: Humedales artificiales aireados + flotantes + subsuperficiales.

Reutilización del agua regenerada.



Comunidad Energética local: instalaciones fotovoltaicas.
Fomento de Mobiliario plástico (rechazo).



Adaptado de Zhao et al. (2011)
doi:10.1016/j.procbio.2010.08.023



Programa LIFE-EU

LIFE19 ENV/ES/000197



- El Programa LIFE es el instrumento financiero de la Unión Europea dedicado, de forma exclusiva al medio ambiente y la Acción Climática.
 - Activo desde 1992.
 - Presupuesto 5432 MM € (2021-2027).
-
- Subprograma “Economía Circular y Calidad de Vida”
 - Contribución financiera del 55% de los costes totales (actualmente 60% mínimo).



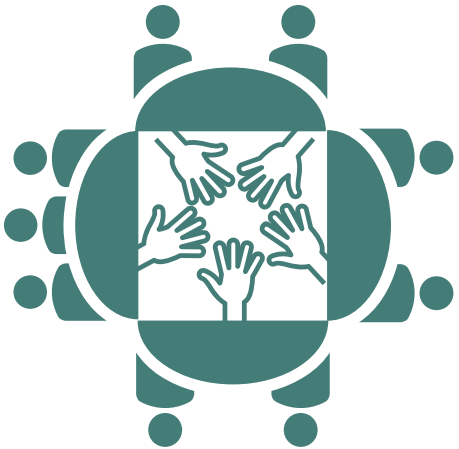


Partenariado multidisciplinar

LIFE19 ENV/ES/000197



Universidades



Empresas



GOMSL



Ayuntamiento y Urbanización



EFE:

ONG

Agencia de comunicación

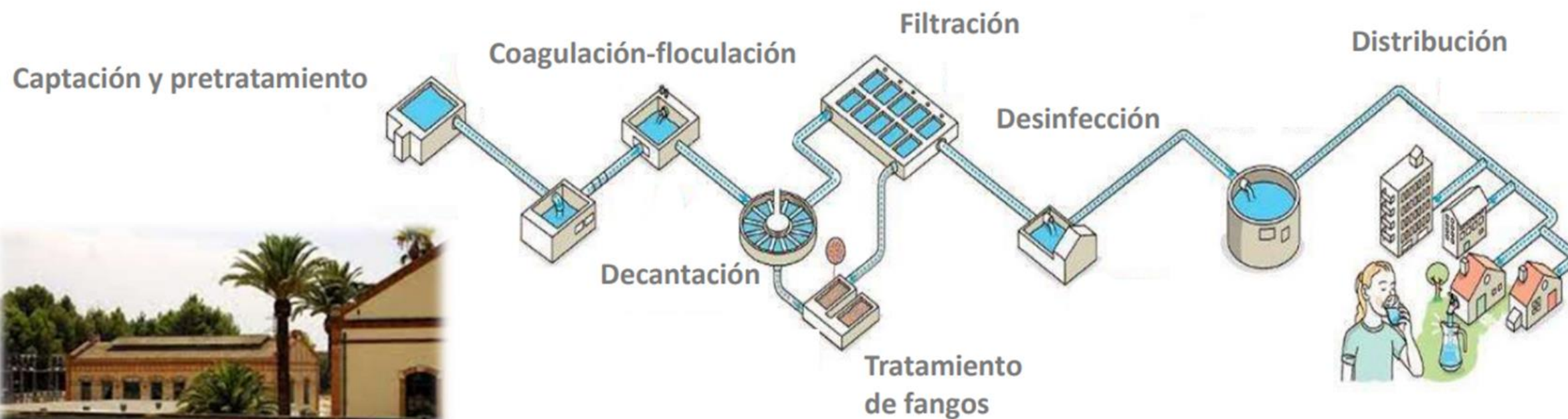


EFE:





Producción, procesamiento y transporte del fango



Parámetros	Resultados	Unidades	Incert.	V.P.	Método Ensayo
# Aluminio total	10.200	mg/Kg Al s.m.s.	15 %		PEE-GA/450
Fósforo total	1.630	mg/Kg P2O5 s.m.s.	31 %		PEE-GA/450

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Materia seca	A-F-PE-0013 Gravimetría	83.6	%
Nitrógeno amoniacal	A-F-PE-0019 Volumetría	0.10	% NH ₄ + m.s.
Nitrógeno total	A-F-PE-0007 Kjeldahl	5.2	g/Kg m.s.
pH	A-F-PE-0012 Electrometría	7.7	U. pH.
Cationes Mayoritarios			
Calcio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	170317	mg CaO/Kg m.s.
Magnesio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	8595	mg MgO/Kg m.s.
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	2320	mg K ₂ O/Kg m.s.
Metales			
Aluminio	A-D-PE-0025 ICP-OES	63531	mg/Kg m.s.
Cadmio	A-D-PE-0025 ICP-OES	< 1.0	mg/Kg m.s.
Cobre	A-D-PE-0025 ICP-OES	19	mg/Kg m.s.
Cromo	A-D-PE-0025 ICP-OES	9	mg/Kg m.s.
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	1600	mg P ₂ O ₅ /Kg m.s.
Hierro	A-D-PE-0025 ICP-OES	5326	mg/Kg m.s.
Mercurio	A-D-PE-0005 Fluorescencia atómica	< 0.20	mg/Kg m.s.
Niquel	A-D-PE-0025 ICP-OES	8	mg/Kg m.s.
Plomo	A-D-PE-0025 ICP-OES	16	mg/Kg m.s.
Zinc	A-D-PE-0025 ICP-OES	61	mg/Kg m.s.
Parámetros agronómicos			
Relación carbono/Nitrógeno	Relación C/N	18.6	—
Carbono orgánico	A-F-PE-0068 Gravimetría	9.6	%m.s.
Materia orgánica	A-F-PE-0068 Gravimetría	16.5	%m.s.
Nitrógeno Kjeldahl	A-F-PE-0007 Kjeldahl	5.2	g/Kg m.s.
Caracteres microbiológicos			
Escherichia coli	A-E-PE-0098	<0.1	NMP/g
Salmonella spp.	UNE-EN ISO 6579:2003/A1:2007	Ausencia	/25 g

- Presentan una alta concentración de aluminio procedente de los procesos de coagulación.
- Entre un 7-16% .
- No presentan demasiada materia orgánica en comparación a los fangos de depuración.
- No presentan metales pesados.
- No presenta patógenos.
- Contienen sulfatos debido a la concentración natural del agua.

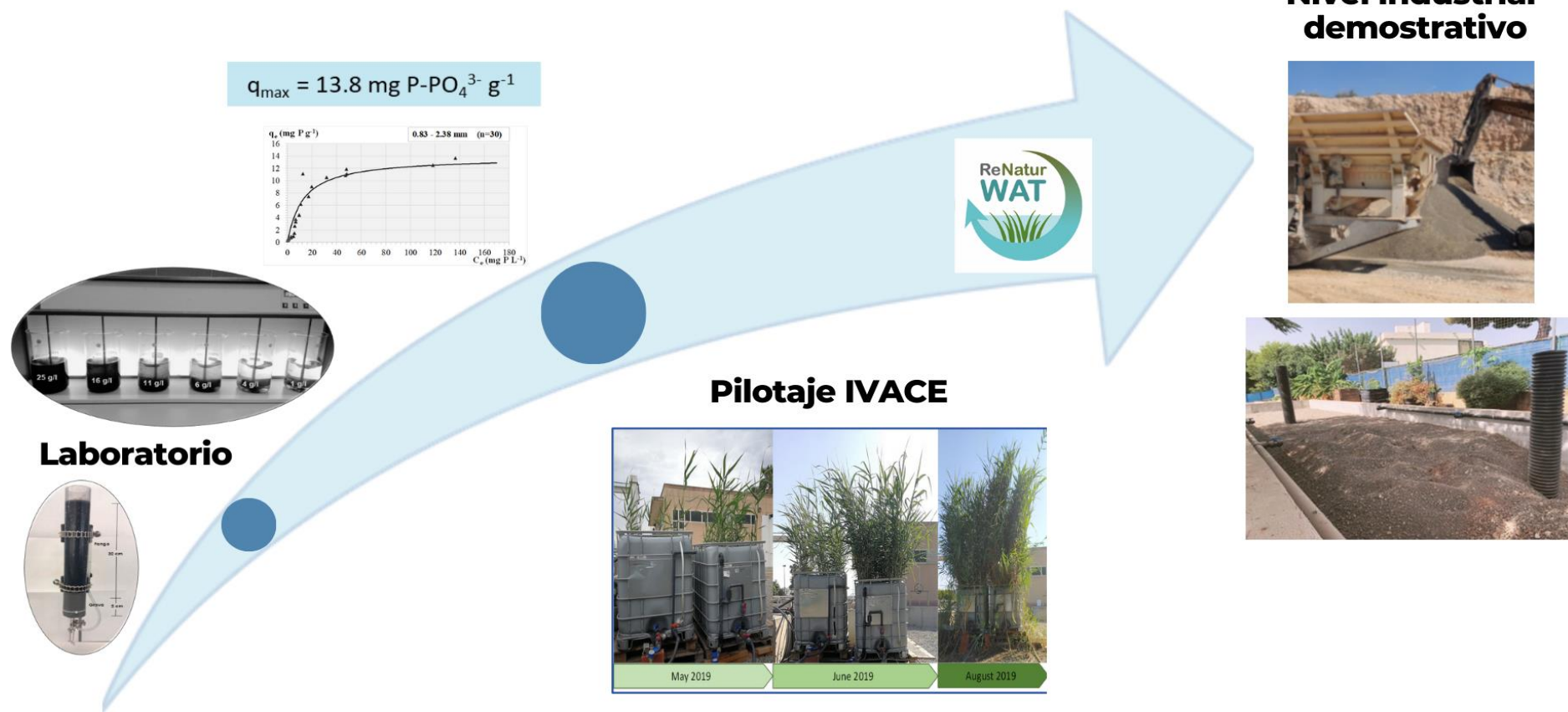
PROBLEMÁTICA DE LOS FANGOS COMO RESIDUO.

Hay una producción global de 10000 Tn/día y se necesitan soluciones eficientes y sostenibles para su gestión.

- **DIRECTIVA 86/278 CEE 12 JUNIO 1986** que se transpone en el RD 1310/1990 para lodos en uso agrícola.
- **LER 190902** Lista de residuos peligrosos.
- **Se trata como residuo no peligroso y normalmente se gestiona en vertedero.**
- **Puede ser enviado como inerte reduciendo costes o utilizado en otros propósitos.**
No deben superar agentes patógenos . Anexo II B o cumplir determinadas concentraciones de inertes , metales pesados y compuestos orgánicos.

Los mayores problemas de los "lodos hidróxidos" para uso agrícola son su baja materia orgánica y el contenido en sílice.

ESCALADO DEL PROYECTO



Silo de fangos 100 Tn



FANGO DESHIDRATADO
AL 25% SEQUEDAD

ERA SECADO

SE EXTIENDE EL MATERIAL
CON 1 METRO DE ALTURA.



Volteo material

EXTENSIÓN

Extensión espesor de
Medio metro de altura



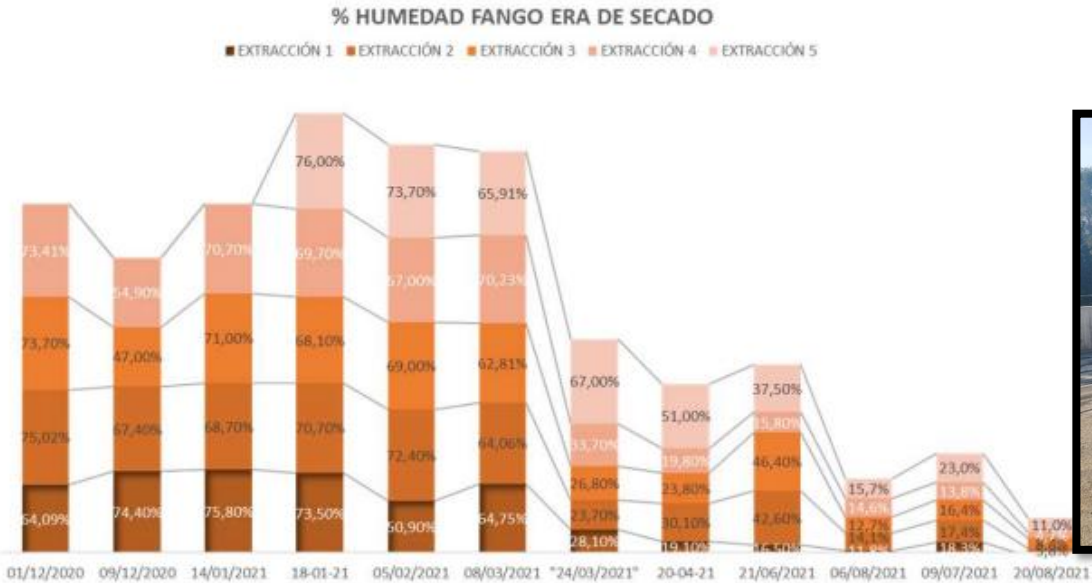
Aprovechamiento del espacio
conforme se va reduciendo el
espesor de la capa de fango
al secarse.



ERA DE SECADO 980 m²



TAMAÑO DE GRANO



ESPACIO ALMACENAMIENTO



Escoger tamaño



100 mm



2-9mm



ALMACENADO



“

- Contenido en aluminio 8-12 %.
- Sin patógenos
- Sin metales pesados

“

El proceso de secado natural tarda de 4 a 6 meses.

Los sólidos totales pasan del 25% al 90 % necesario para molturar.

De 450 Tn de fango deshidratado se obtienen 110 Tn seco y molturado.

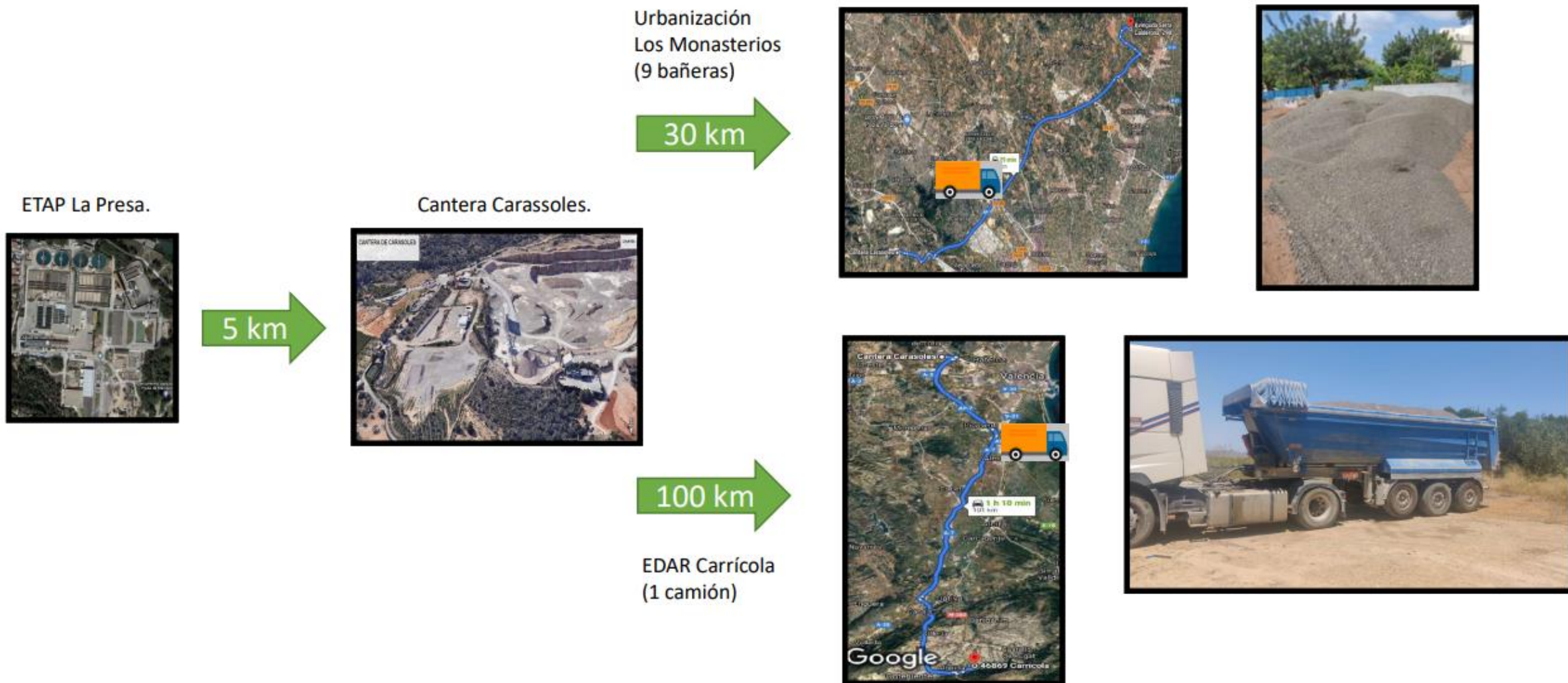


“

Se necesita suficiente superficie de una era de secado y capacidad de volteado.











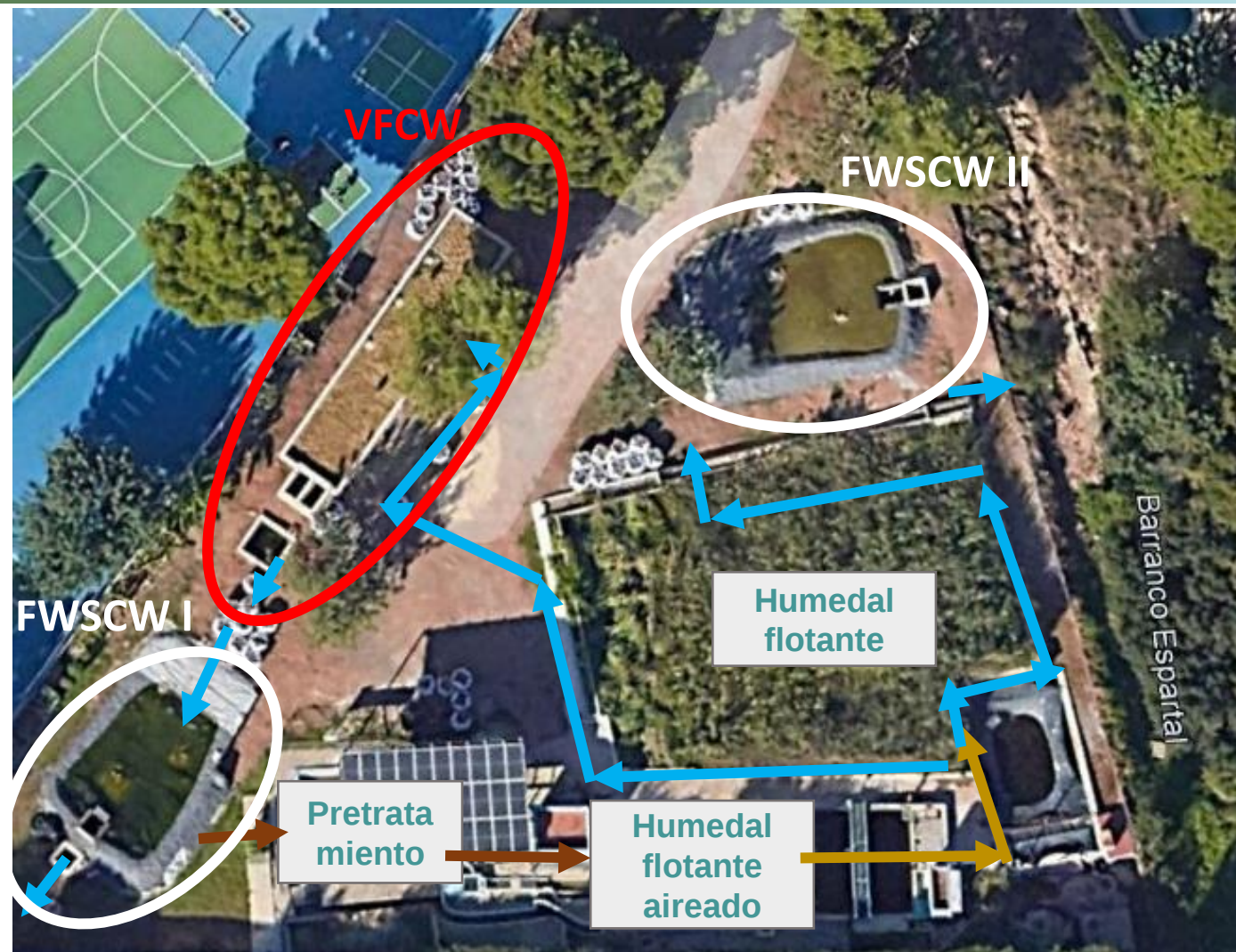
Implementación y resultados

EDAR DE LOS MONASTERIOS

Dos nueva líneas diseñadas:

- I. VFCW (60 m²; 60-120 m³/d, 50-100%) con fango de ETAP seguido de un FWSCW I (50 m²; 15 m³/d) para tratar parte del efluente de VFCW.
- II. FWSCW II (50 m²; 15 m³/d) para tratar parte del efluente secundario del tanque de Aireación Extendida.

VFCW operando en modo continuo o discontinuo con vaciado total o parcial.





Actividad B1. Construcción prototipos, GLOBAL

LIFE19 ENV/ES/000197



EDAR LOS MONASTERIOS

FWSCW II



Fango ETAP

VFCW

FWSCW I



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



iiama



global omnium



emivasa
AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

EFE:



FUNDACIÓN
GLOBAL NATURE



Grupo Economía del Agua
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA



AdP VALOR
Grupo Águas de Portugal



CARRICOLA
ecología, patrimonio, i art a l'Entorn del Ecomuseu



S.C.P. Valle Residencial
LOS MONASTERIOS

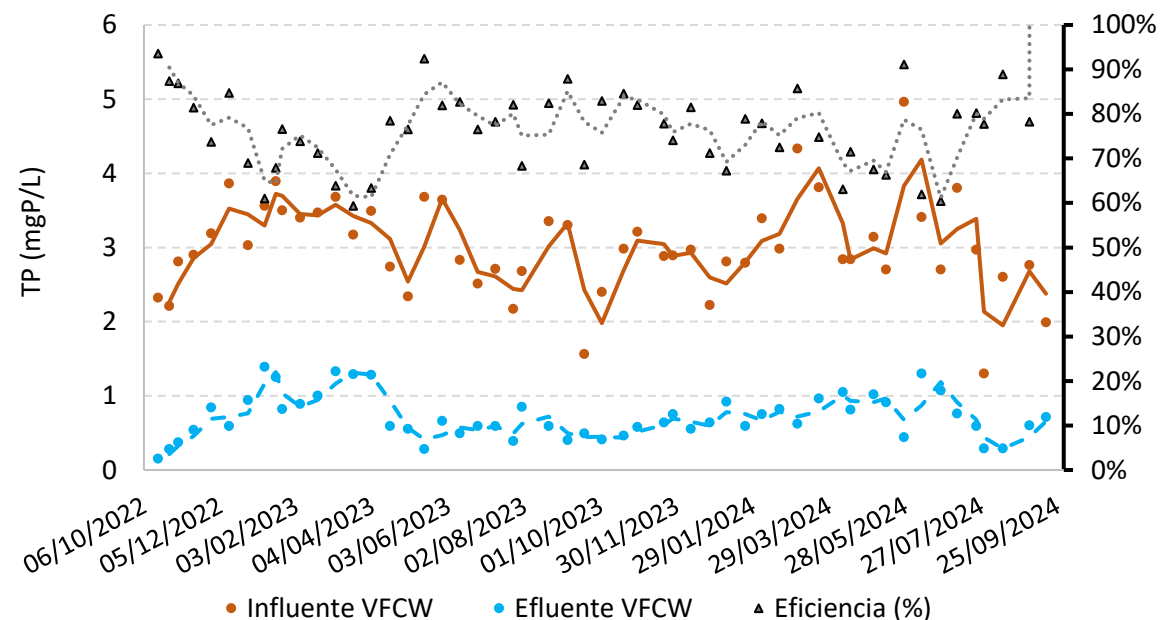
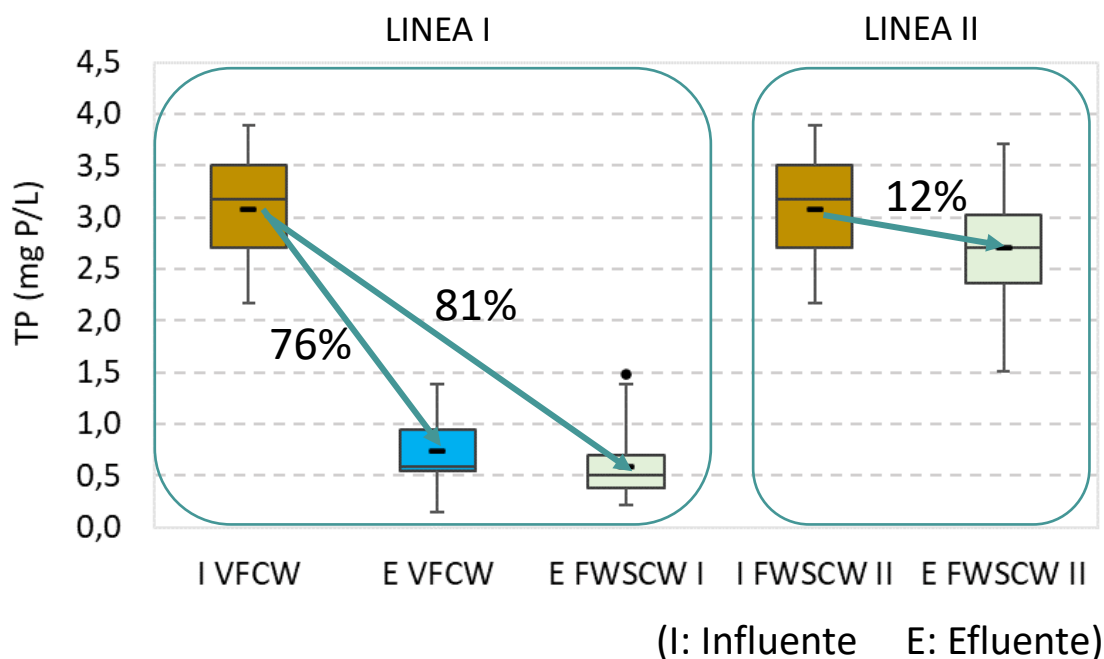


fundació
mediambiental



EDAR LOS MONASTERIOS. RESULTADOS DOS AÑOS MONITORIZACIÓN.

• ELIMINACIÓN DE FÓSFORO



[TP]_{efluente} por debajo de 1.5 mg P/L

VFCW:

CHS = $0,79 \pm 0,42 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$; TRH = 4-5,5 hr.

FWSCW I:

CHS = $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$; TRH = 1,6 d

EDAR CARRÍCOLA

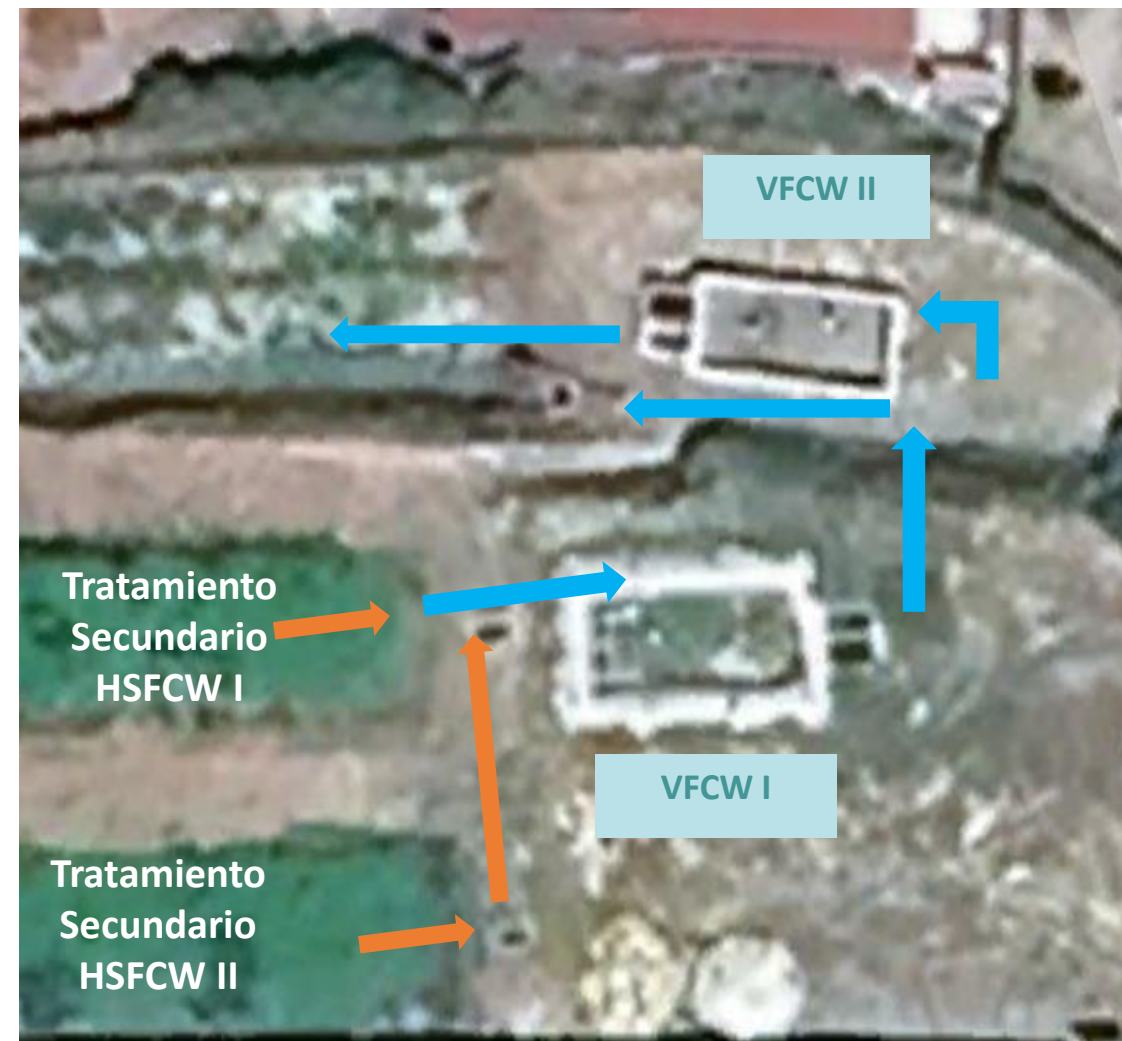
Dos VFCW (20+20 m²) en serie con fango deshidratado como sustrato reactivo para mejorar la calidad del efluente del tratamiento secundario.

Flujo por gravedad. No hay consumo de energía.

Un VFCW puede tratar el caudal diario (1-2 m³/m²/d).

El VFCW II arrancará cuando el VFCW I alcance su agotamiento parcial y su concentración de PT efluente alcance el valor límite objetivo.

Puede funcionar en modo continuo o intermitente con vaciado total o parcial.





Actividad B1. Construcción prototipos, GLOBAL

LIFE19 ENV/ES/000197



EDAR CARRÍCOLA

VFCW I



VFCW II



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



iiama



global omnium



emivasa
AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

EFE:



FUNDACIÓN
GLOBAL NATURE



Grupo Economía del Agua
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA



AdP VALOR
Grupo Águas de Portugal



CARRÍCOLA
ecología, patrimonio, i art a l'entorn del Eneadell



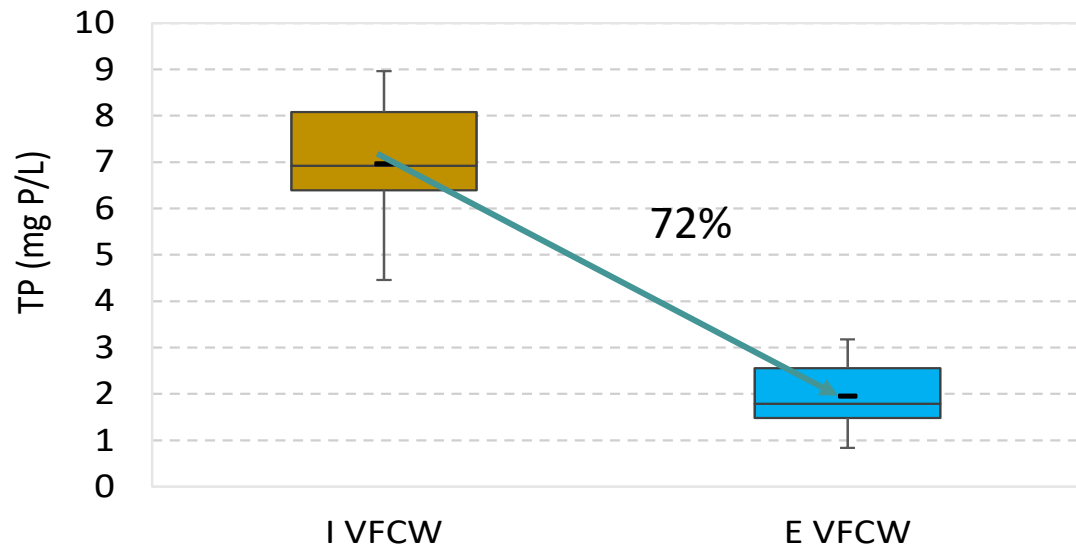
S.C.P. Valle Residencial
LOS MONASTERIOS



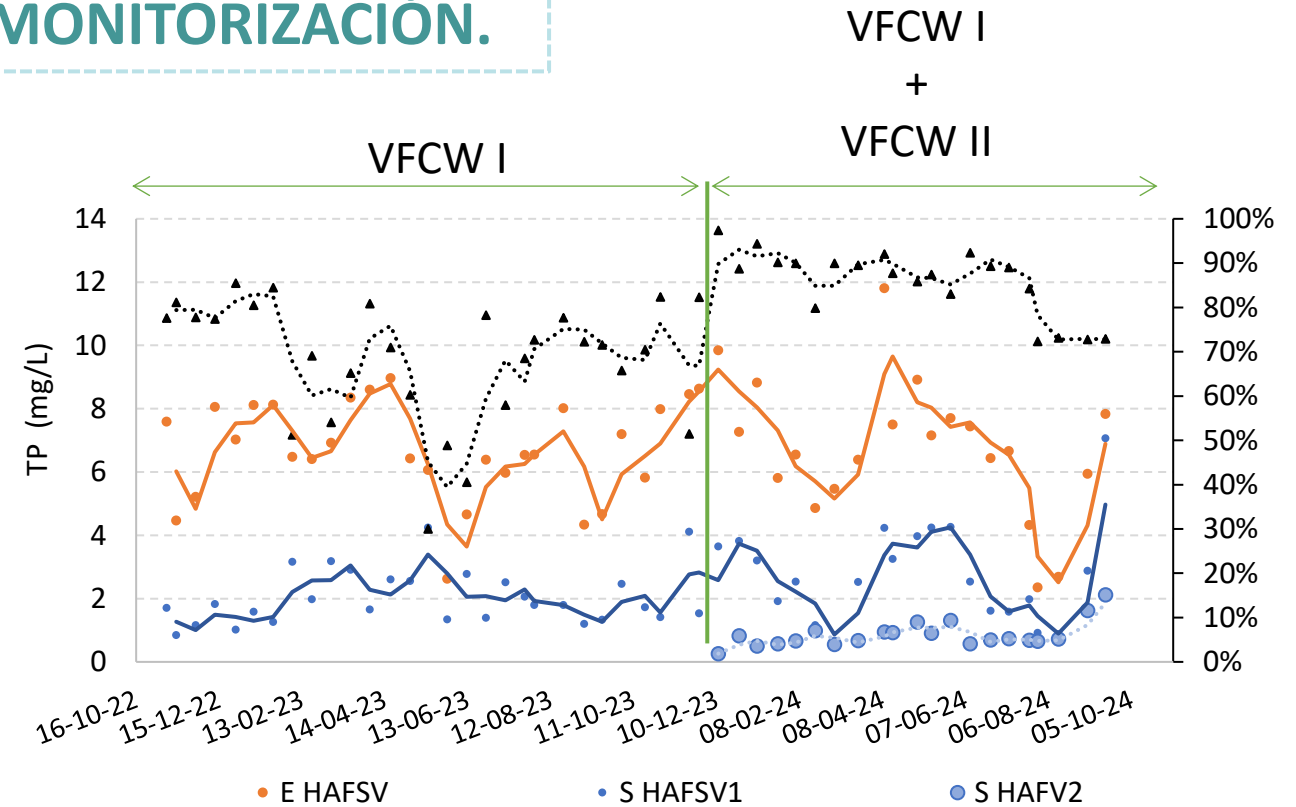
fundació
mediambiental

EDAR CARRÍCOLA. RESULTADOS DOS AÑOS MONITORIZACIÓN.

• ELIMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL



(I: Influyente E: Efluente)



$[TP]_{\text{efl}}$ por debajo de 3 mg P/L

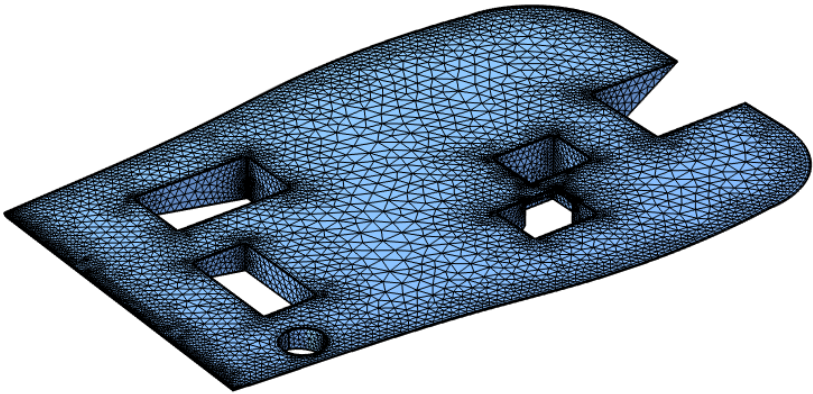
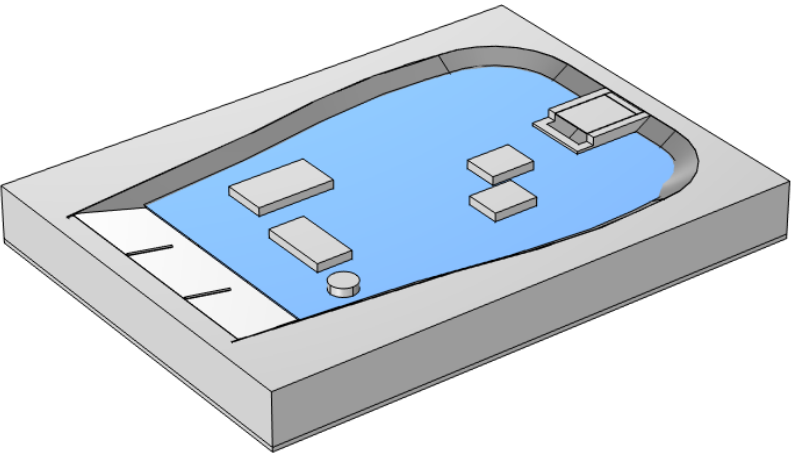
$[TP]_{\text{efl}}$ por debajo de 1 mg P/L



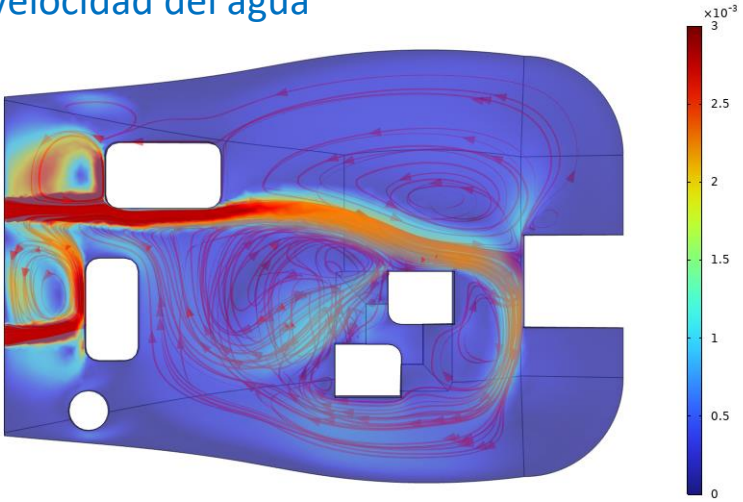
GRADO DE AGOTAMIENTO DEL FANGO EN DOS AÑOS

	Volumen tratado (m³)	Fósforo total eliminado (g P/m³)	Fósforo total eliminado (g P)	Masa de fango (kg)	Máximo P eliminable (g P)	% Agotamiento
VFCW Los Monasterios	35500	2,29	81295	19738	296070	27,45
Carrícola VFCW I	7300	4,65	33945	6579	98690	34,39
Carrícola VFCW II	2700	1,54	4158	6579	98690	4,21

- Modelo de las lagunas de los Monasterios



Velocidad del agua



Concentración de trazador



- Ensayos de trazador y calibración del modelo



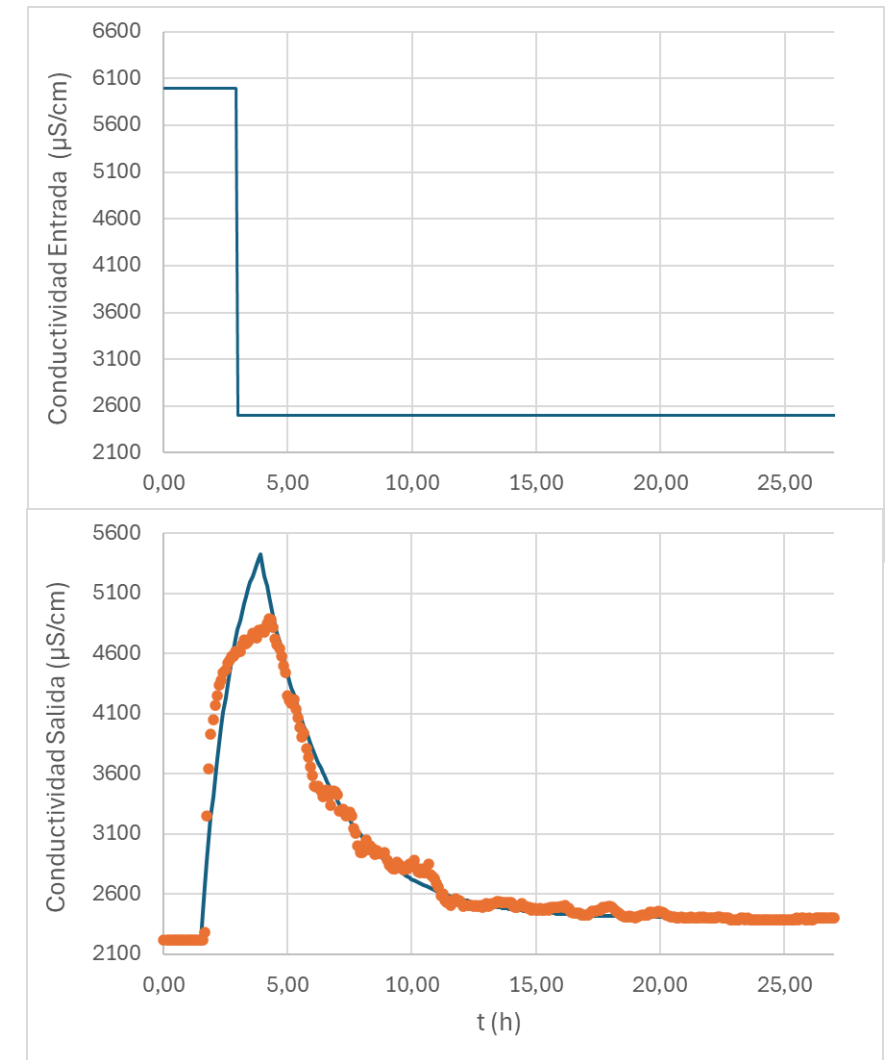
Entrada



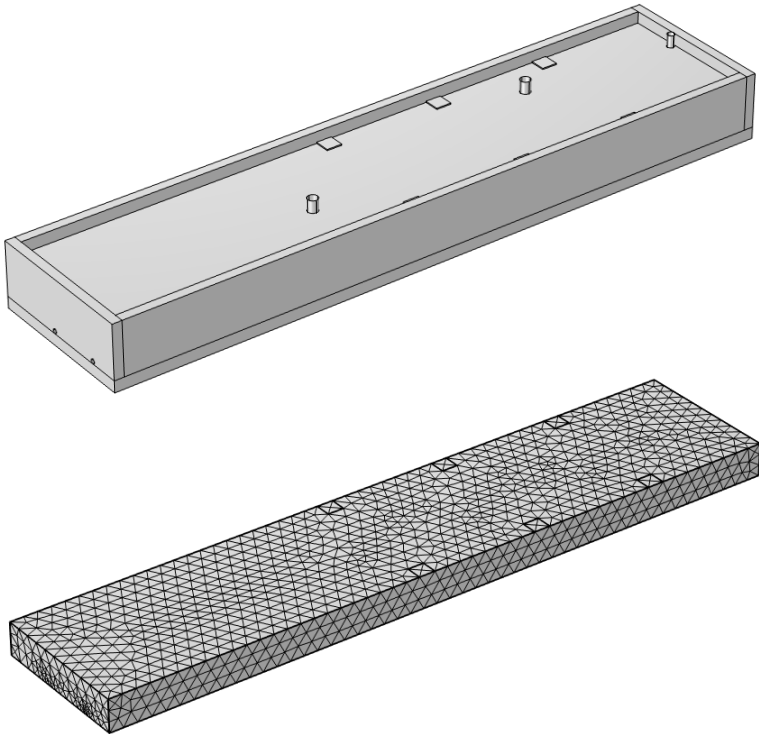
Interior de la laguna



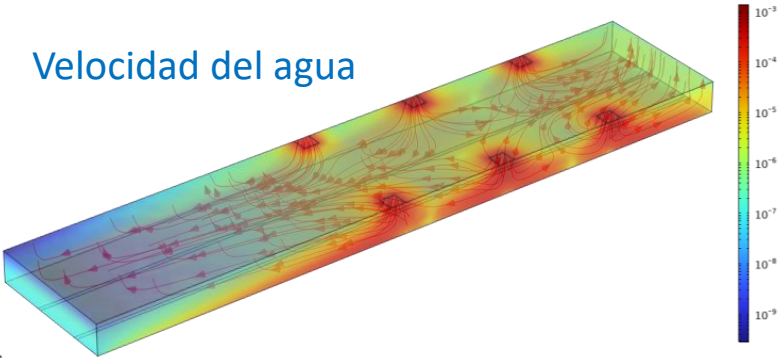
Salida



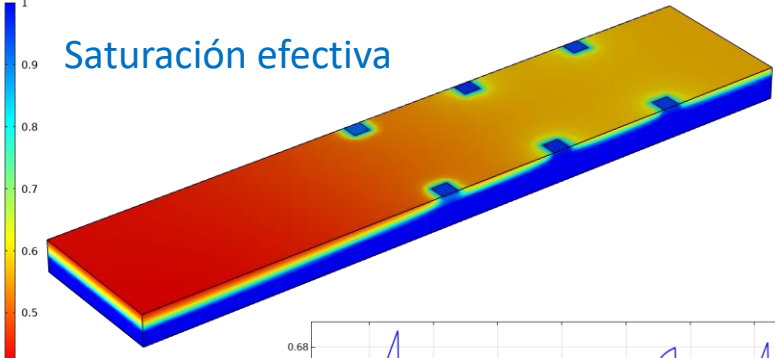
- Modelo del humedal vertical de los Monasterios



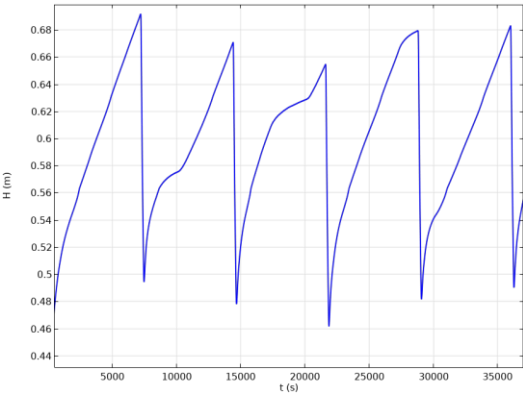
Velocidad del agua



Saturación efectiva



Curvas de llenado-vaciado



EDAR LOS MONASTERIOS

FWSCW1



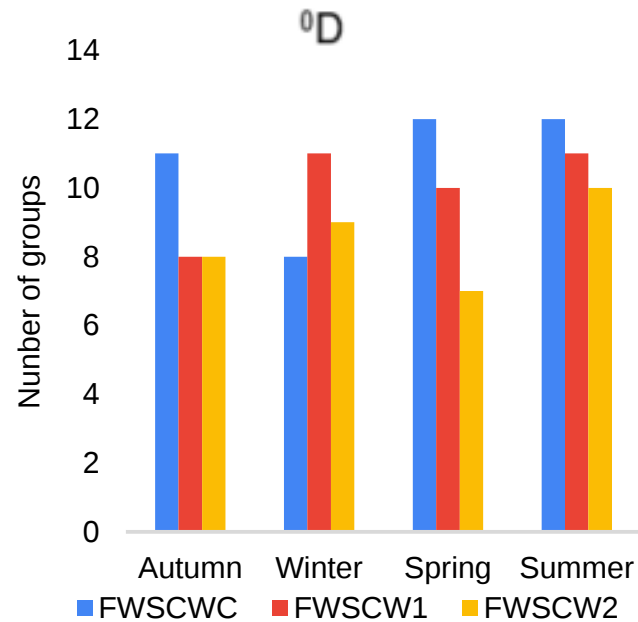
Ephemeroptera, Baetidae

FWSCW2

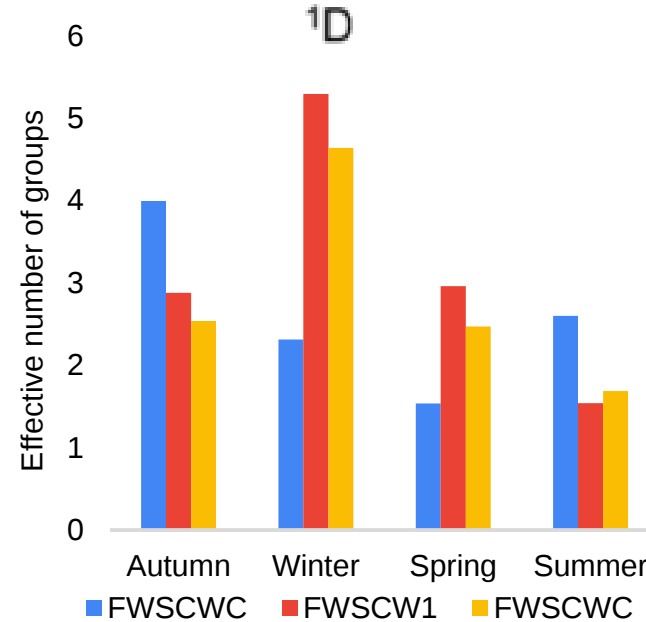


Macroinvertebrados acuáticos

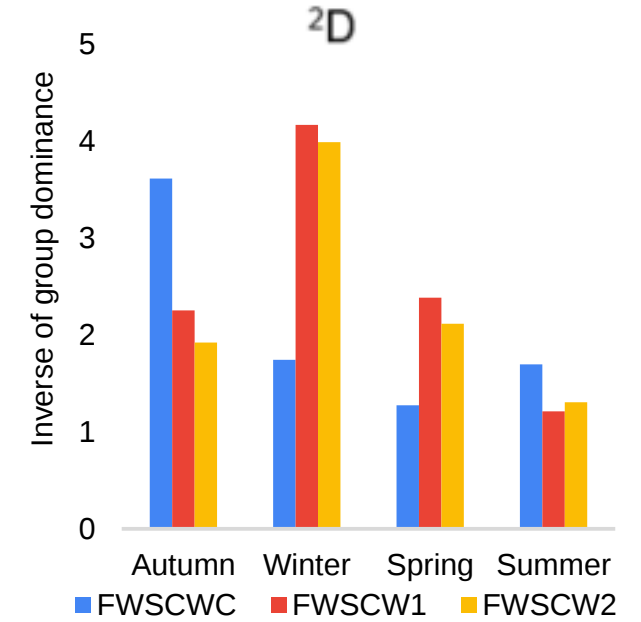
${}^0D = \sum_{i=1}^T p_i^0$ Número de taxones/grupos: todos los taxones/grupos valen 1 sin tener en cuenta su abundancia.



${}^1D = \exp\left(-\sum_{i=1}^T p_i \ln p_i\right)$ Número efectivo de taxones: indica cuántas especies están bien representadas del total de especies.



${}^2D = 1/\sum_{i=1}^T p_i^2$ Inversa de la dominancia: indica cuántas especies son dominantes.



EDAR LOS MONASTERIOS – Integración paisajística-ambiental

- La plantación de aromáticas y plantas con flores crean hábitats para insectos beneficiosos (polinizadores, depredadores y parásitos de plagas).
- Se monitorizan insectos terrestres atrapados en trampas amarillas con pegamento.



- Se han observado 22 (Monasterios) y 25 (Carrícola) especies de aves que emplean el hábitat de los humedales.
- Se confirma como hábitat necesario en periodos de sequía.
- El seguimiento de estos humedales también muestra cómo algunas aves están cambiando sus rutas migratorias debido al cambio climático.



Lavandera boyeral
(*Motacilla flava*)

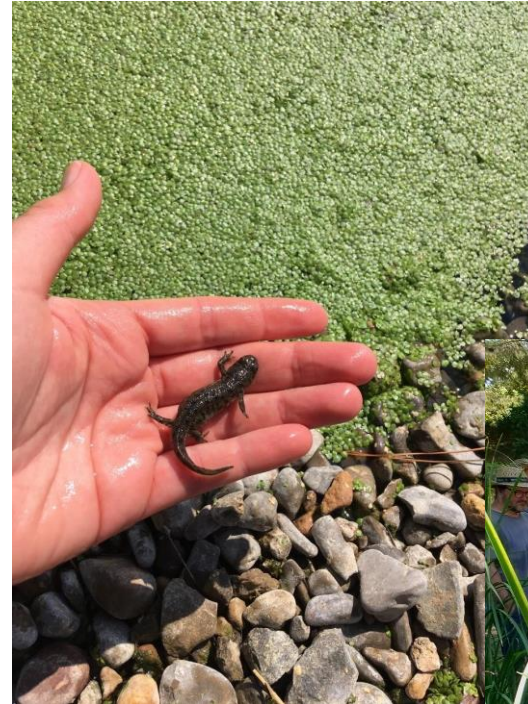


Lavandera blanca
(*Motacilla alba*)



Avión común (*Delichon urbicum*) recogiendo barro para sus nidos.

- Reintroducción de Gallipatos (*Pleurodeles waltl*)*.
- Anfibio cuyo habitat desapareció en esta área geográfica, por lo que los humedales recreados pueden ser su único hábitat.
- Se alimenta de larvas de insectos y otros pequeños animales → Juega un importante papel en el control de la población de mosquitos.



*En colaboración con el Centro para la conservación de especies dulceacuícolas de la Comunidad Valenciana (Generalitat Valenciana) dentro de un programa de recuperación de especies.



Ideas finales.

LIFE19 ENV/ES/000197



- A partir del conocimiento de los procesos en humedales naturales podemos **diseñar** “infraestructuras” basadas en ellos para mejorar la calidad del agua y la biodiversidad.
- Debería empezarse a tener en cuenta **aspectos biológicos en los efluentes** de EDAR.
- La reutilización de residuos sólidos para darles una **segunda vida** es una opción económica a los sustratos adsorbentes comerciales.
- La escala de estos humedales se ajusta al tamaño de la EDAR, pero toda EDAR debería tener humedales de lámina libre para **renaturalizar** una fracción de su efluente.
- Salpicar el territorio de pequeños humedales de lámina libre antes de devolver el agua a los ríos.
- La renaturalización en lagunas con aguas regeneradas dependerá de la calidad de éstas. **QUEDA MUCHO POR TRASLADAR LA INVESTIGACIÓN EN PROCESOS BIOLÓGICOS.**



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

LIFE19 ENV/ES/000197



www.liferenaturwat.com/

<https://www.facebook.com/Renaturwat/>

<https://twitter.com/LifeRenaturwat>

<https://www.linkedin.com/in/life-renaturwat-31b599278/>

The LIFE RENATURWAT project has received funding from the LIFE Programme of the European Union