

Congreso Nacional del Medio Ambiente
Madrid del 31 de mayo al 03 de junio de 2021

Proyecto VIOE- Sistema bioelectroquímico para la valorización integral de las aguas residuales y los fangos de EDAR

JAVIER EDUARDO SÁNCHEZ RAMÍREZ
Depuración de Aguas del Mediterráneo (DAM)
ST-34 Agua y Economía Circular
#conama2020



- 01** Introducción
- 02** Objetivos del proyecto
- 03** Innovaciones tecnológicas
- 04** Resultados
- 05** Conclusiones

01 INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

PLAZO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Noviembre 2017 – Febrero 2021

FINANCIACIÓN

Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI, 2017) y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)

COORDINADOR

Depuración de Aguas del Mediterráneo (DAM)

PARTICIPANTES

AINIA Centro tecnológico

ainia

centro tecnológico

FINANCIACIÓN



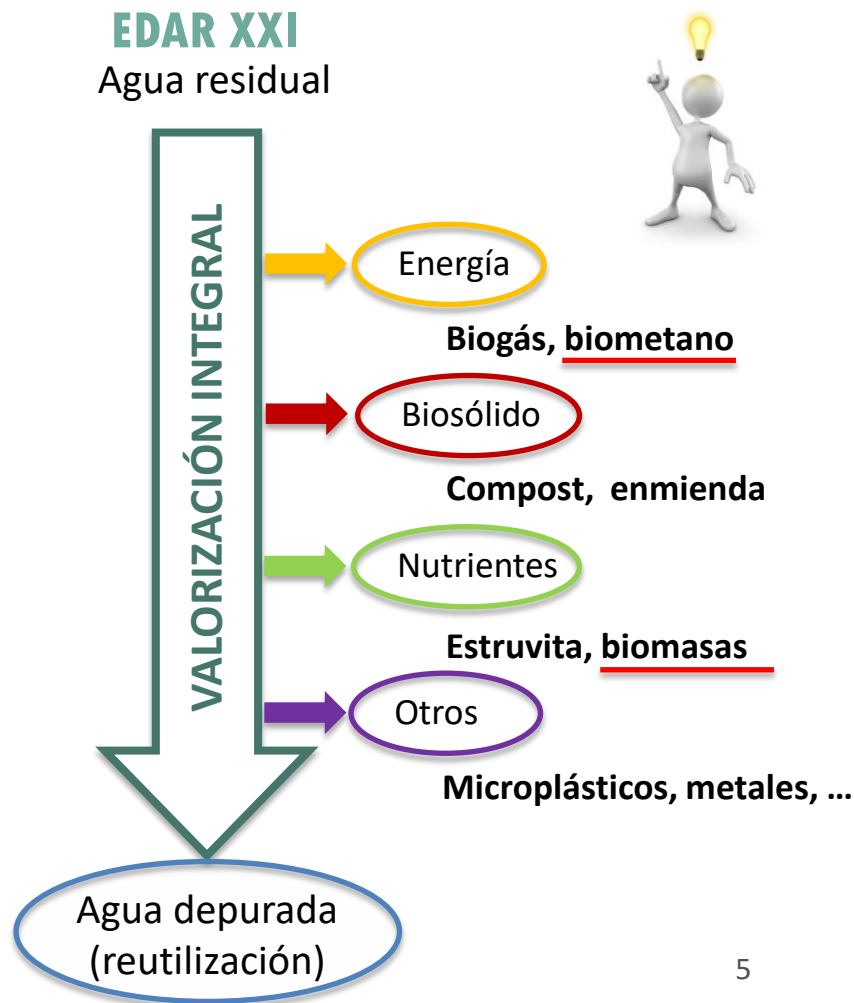
INTRODUCCIÓN

EDAR convencional



1. Elevados consumos de energía en aireación.
2. Elevado consumo de reactivos.
3. Emisiones atmosféricas, ruido, olores.
4. Generación de elevados volúmenes de fangos.

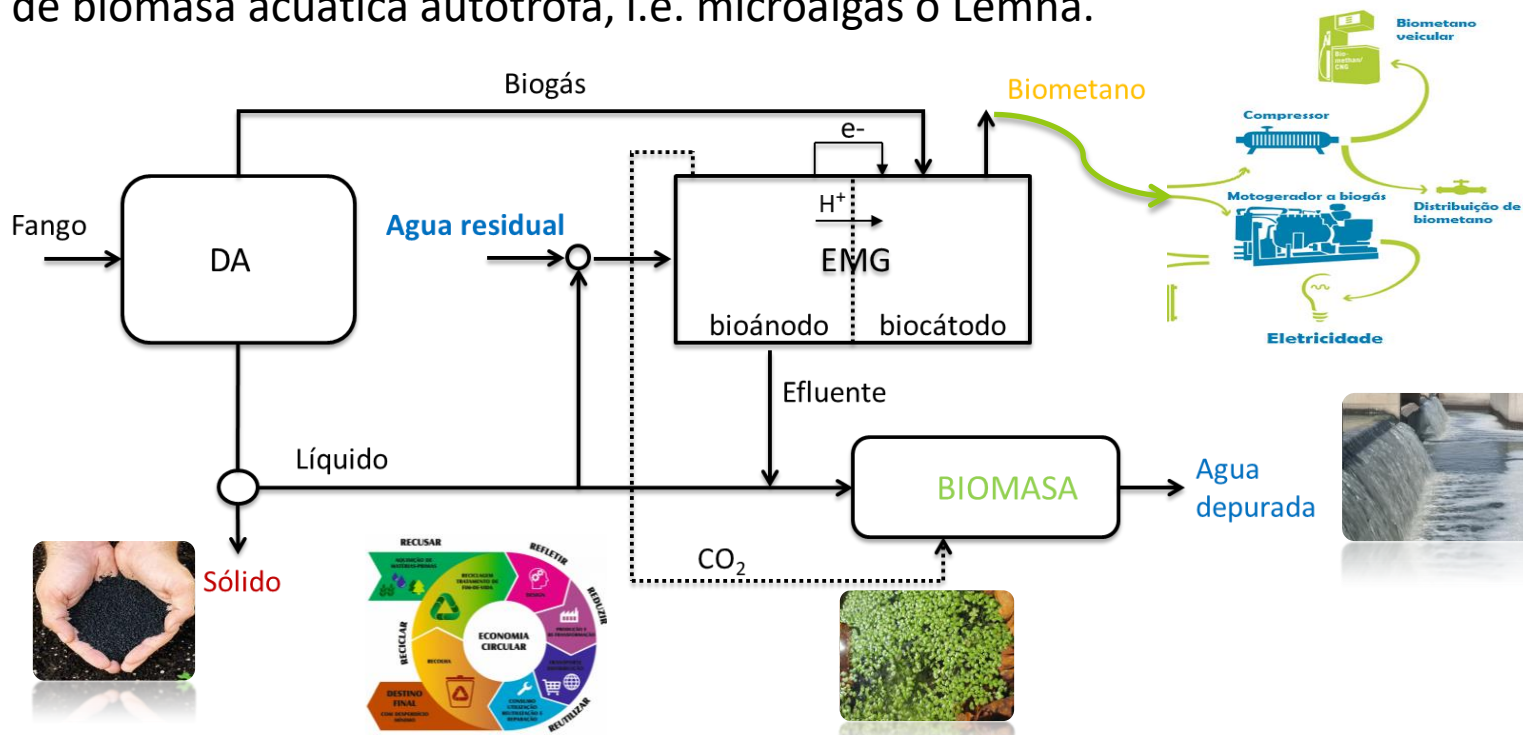
EDAR XXI Agua residual



02 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un proceso innovador para valorizar la materia orgánica y los nutrientes presentes en los fangos y las aguas residuales de EDAR por medio de la integración de la digestión anaerobia (DA) con un proceso bioelectroquímico de tercera generación, la electrometanogénesis (EMG), al que se le acopla un sistema de cultivo de biomasa acuática autótrofa, i.e. microalgas o Lemna.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Valorizar la materia orgánica presente en el agua residual y la fracción líquida del digerido generando electricidad.
- Incrementar el contenido en CH₄ del biogás (upgrading de biogás) obtenido en una digestión anaerobia convencional.
- Acoplar los sistemas de EMG y digestión anaerobia convencional para el tratamiento y la valorización conjunta de la materia orgánica presente en los fangos de depuradora.
- Recuperar nutrientes (N y P) mediante cultivo de BIOMASA autótrofa produciendo microalgas o Lemna.
- Reducir los costes de explotación (energéticos y económicos) asociados al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Disminuir la huella de carbono asociada al tratamiento de los fangos de depuradora mediante la valorización de la materia orgánica.

03

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

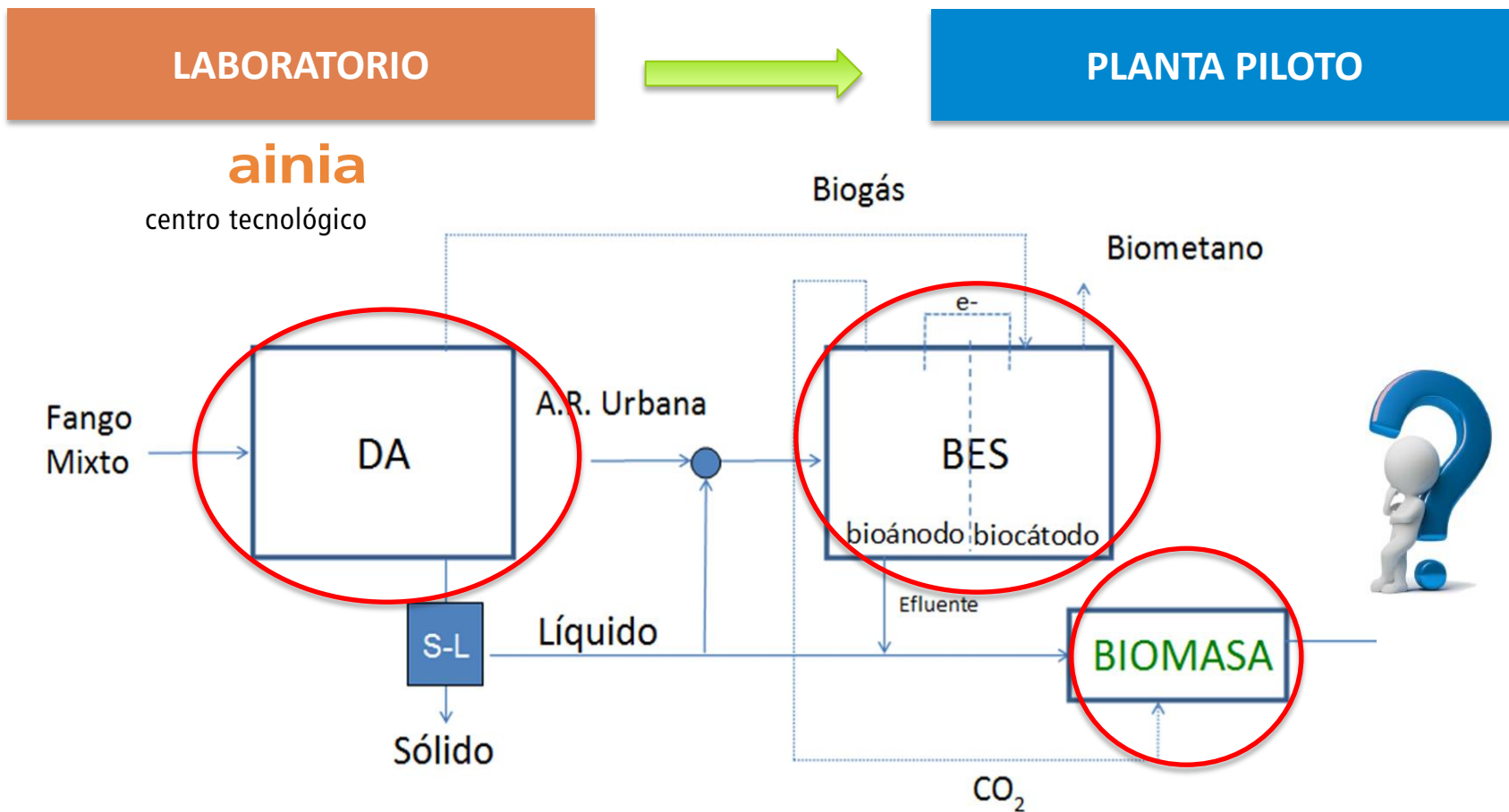
INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

1. **Conversión de las actuales EDAR en plantas de valorización integral (EDAR XXI) de agua residual y fango, dentro de los conceptos de economía circular, aprovechamiento de los recursos y biorrefinerías.**
2. **Integración de 3 tipos de tecnologías que se encuentran en diferentes estado de desarrollo tecnológico e implantación: DA + EMG + BIOMASA ACUATICA**



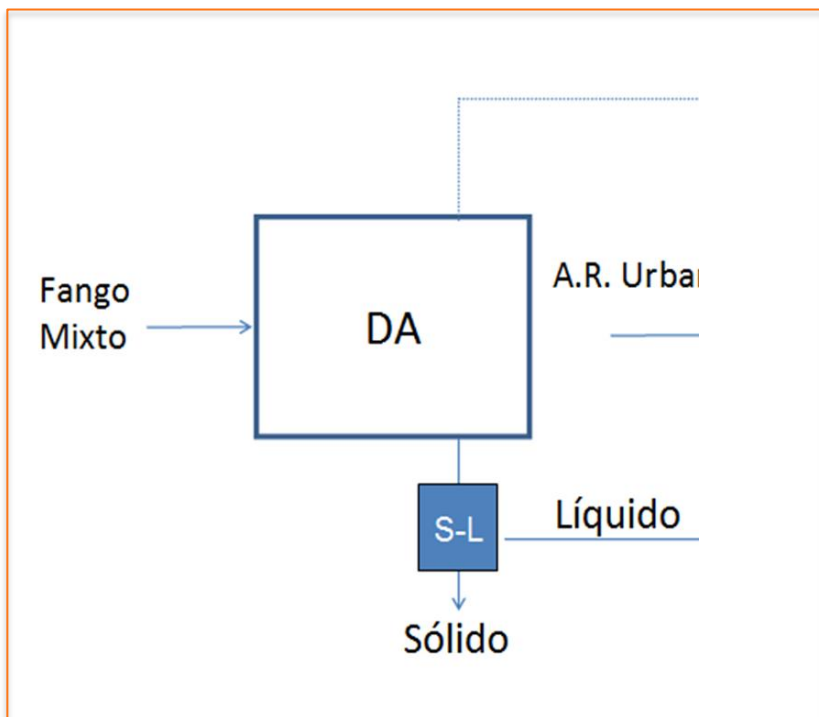
04 RESULTADOS

RESULTADOS



RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Digestión anaerobia (DA)



Caracterización del biogás producido

Parámetro	Valor promedio
CH ₄ (%)	62,2 ± 3,5
CO ₂ (%)	26,8 ± 1,1
O ₂ (%)	1,1 ± 0,8
H ₂ (ppm)	0
H ₂ S (ppm)	114 ± 43



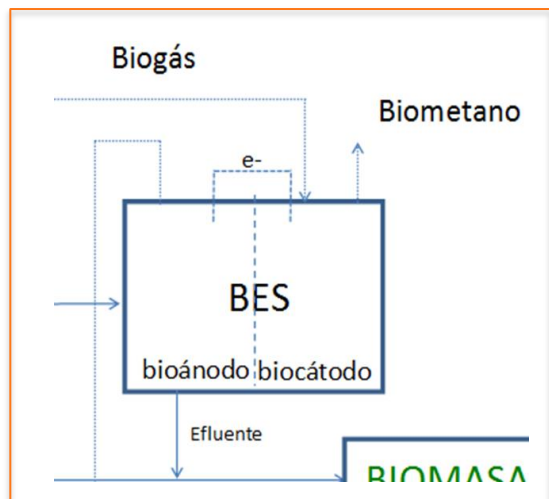
Comparación rendimientos planta piloto vs EDAR Alzira

Parámetro	Planta Piloto	EDAR Alzira
CH ₄ (%)	69	66
CO ₂ (%)	30	34
H ₂ S (ppm)	114	135



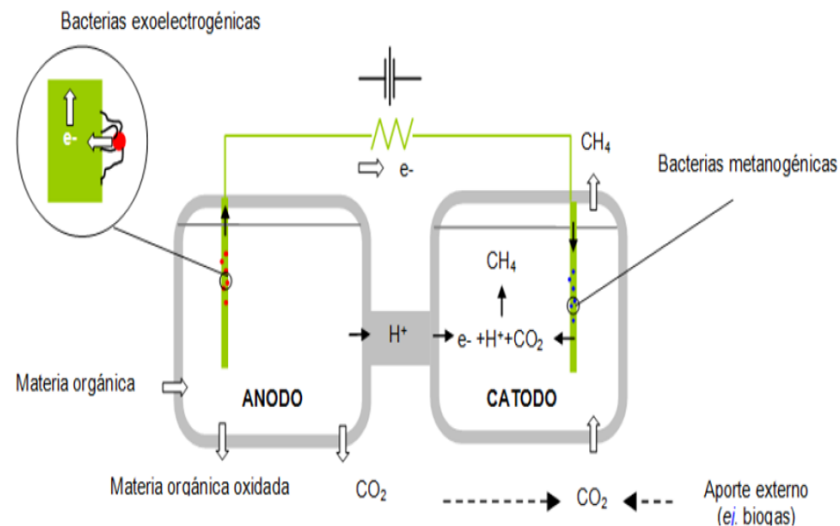
RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Sistema bioelectroquímico (BES)



Electrodos Membrana Configuración de electrodos y arquitectura de la celda

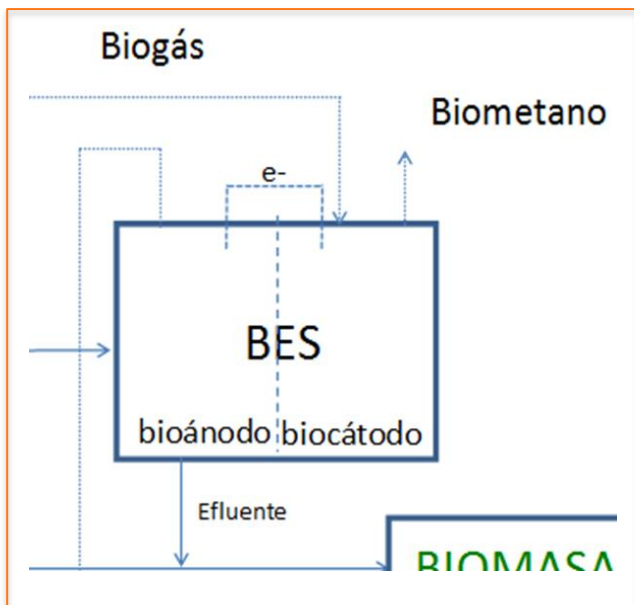
Materiales



Fuente de corriente

RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Sistema bioelectroquímico (BES)



Partes del sistema experimental

- Celda electroquímica
 - Electrodo de trabajo (ánodo y cátodo)
 - Electrodo de referencia (Ag/ClAg)
 - Membrana de intercambio iónico
- Bombas peristálticas
- Difusores para biogás
- Colector biometano
- Ordenador portátil
- Potenciostato
- Tanques alimentación
- Baño termostatzado

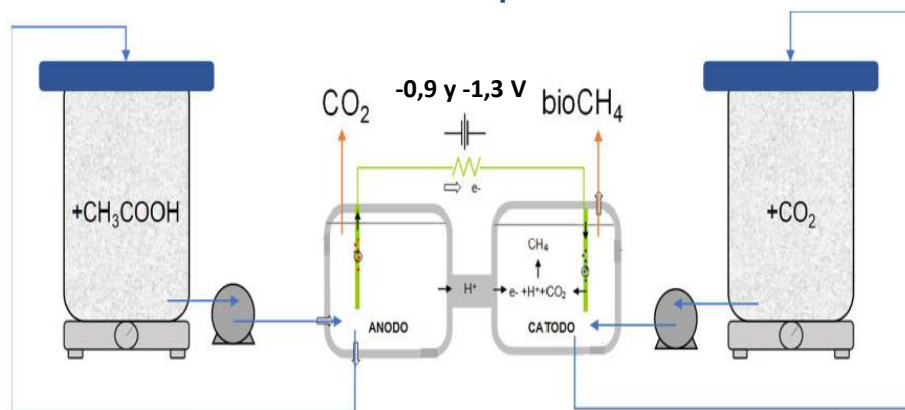
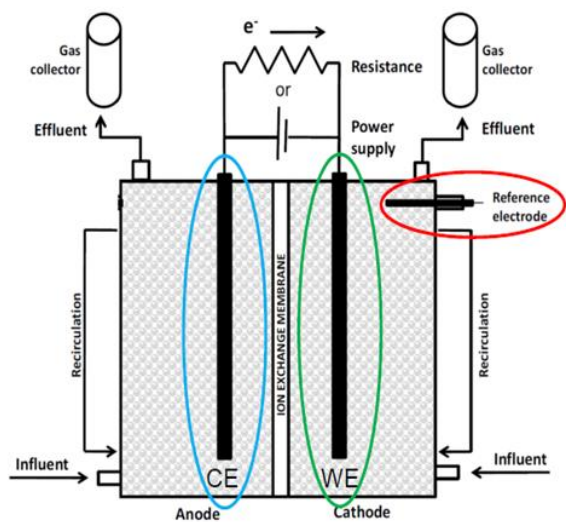
Corazón del sistema: celda bioelectroquímica

Principales características

- Volumen de compartimento de electrodos: 0.6 L
- Tapas y espaciadores de policarbonato
- Espaciadores rejilla facilitar turbulencia
- Membrana de intercambio iónico NAFION
- 2 electrodos de referencia Ag/ClAg
- Electrodo rejilla acero inoxidable
- Juntas de Vitón

RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

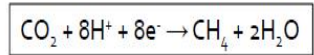
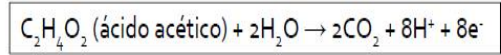
Sistema bioelectroquímico (BES)



Diseño experimental:

Operación en batch de celda (0,5 L) y tanques auxiliares (4,5 L); Potencial = -0,6V vs. Ag/AgCl

- ✓ Enriquecimiento de bacterias acetogénicas (ánodo)
- ✓ Enriquecimiento de arqueas hidrogenotróficas (cátodo)
- ✓ Inoculación: 200 mL digerido/celda; 3 días de fijación en celdas



RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Sistema bioelectroquímico (BES)

Biometano

Parámetro	Valor en ánodo	Valor en cátodo
CH ₄ (%)	0,3 - 1,4	50,2 - 85,0
CO ₂ (%)	50,0 - 85,0	1,0 - 17,0
O ₂ (%)	6,79 - 11,4	1,4 - 16,1
H ₂ (ppm)	45.043	3.311,4
H ₂ S (ppm)	13,2 - 226,0	9,0 - 202

- Potenciostato
- Tanques de alimentación
- Placas agitadoras

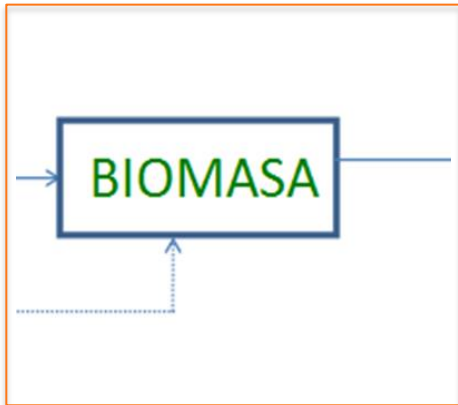


- Ordenador portátil
- Celda EMG
400 cm²
- Bombas de alimentación



RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Biomasa acuática



Ensayo de cultivo en continuo

Tratamientos:

- Efluente EDAR
- Efluente EDAR corregido
- Efluente EDAR corregido + 3% escurrido
- Efluente EDAR corregido + 10% escurrido

Seguimiento de:

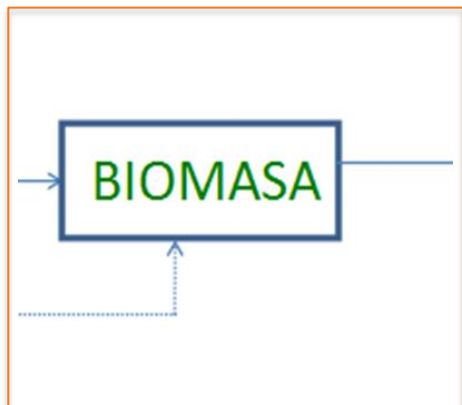
- Producción de biomasa
- Extracción de N y P



RESULTADOS ESCALA LABORATORIO

Biomasa acuática

Cultivo de lemna

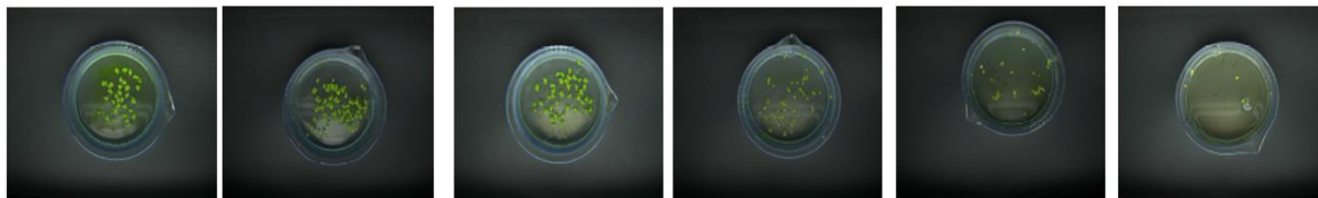


1. Ensayo de inhibición del agua drenaje DA (pendiente datos cuantitativos)

Tratamiento	Porcentaje de drenaje en medio de cultivo
1	1%
2	3%
3	6%
4	10%
5	20%

2. Ensayo de producción y recuperación de nutrientes (en marcha)

Tratamiento	Descripción
1	Efluente EDAR 100%
2	Efluente EDAR corregido
3	Efluente EDAR corregido + 1% drenaje
4	Efluente EDAR corregido + 3% drenaje
5	Efluente EDAR +3% drenaje



0%

1%

3%

6%

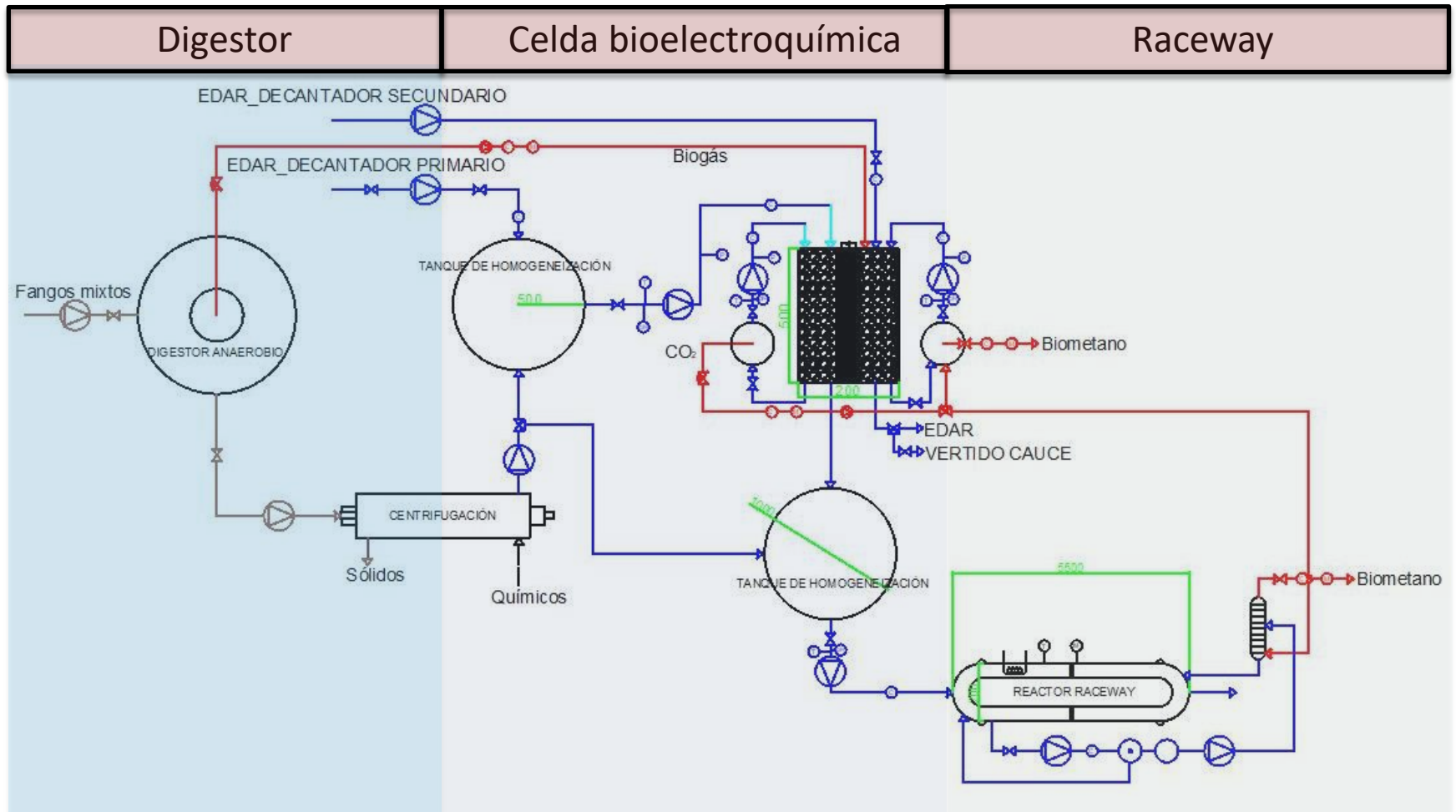
10%

20%

(% agua drenaje en medio de cultivo)

RESULTADOS ESCALA PILOTO

Diseño y construcción del montaje experimental DA+EMG a escala piloto

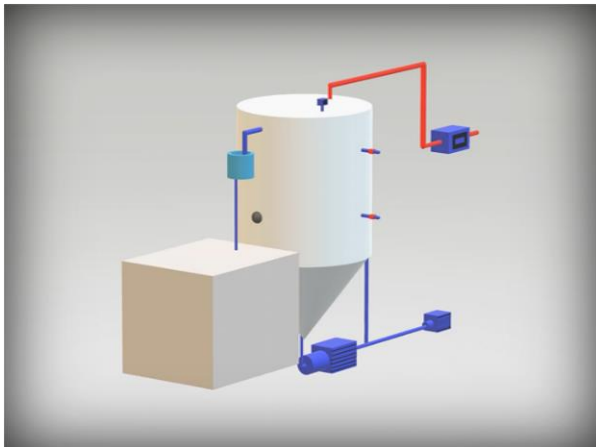


RESULTADOS ESCALA PILOTO



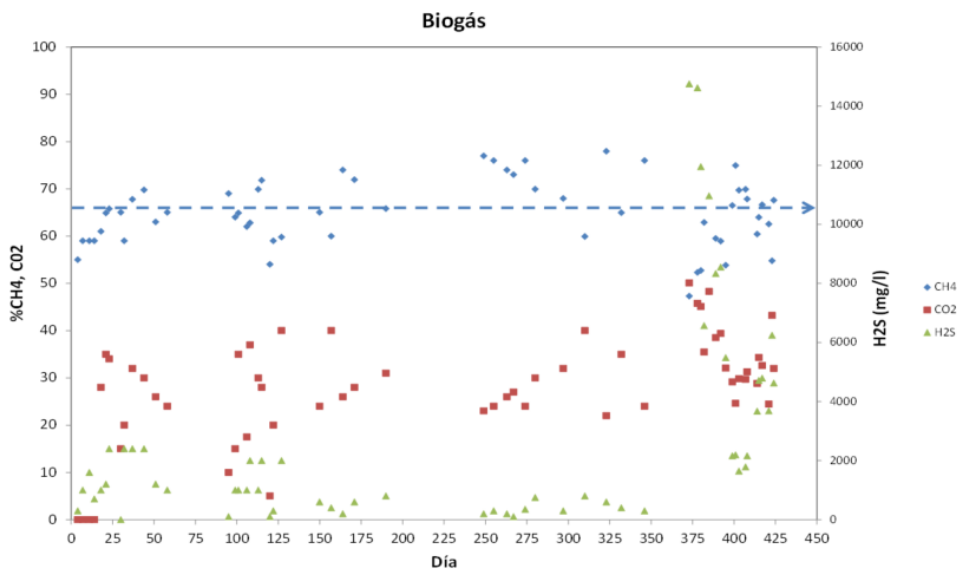
RESULTADOS ESCALA PILOTO

- Volumen digestor: 900 L
- Sondeas de temperatura y presión
- Bomba de recirculación y control de temperatura
- 2-3% en ms en temperatura mesófila
- VCO = 1 kgSV/m³d (70:30 primario:secundario)



RESULTADOS ESCALA PILOTO

TRH=25d	ENTRADA	SALIDA	% eliminado	
	MS%	3,27±1,49	1,74	
	MV%	75,4±7,3	59,5	45-55
	PH	5,9±0,53	7,2±0,96	
	DQO (g/l)	38,1±22	19,8±12	
	PO4 (mg/l)	117±13	33,5±18,1	
	NH4 (mg/l)	257±29	410,9±32	
			%CH4	62,1± 14
		%CO2	31,5±13	
		H2S (ppm)	6038±3900	

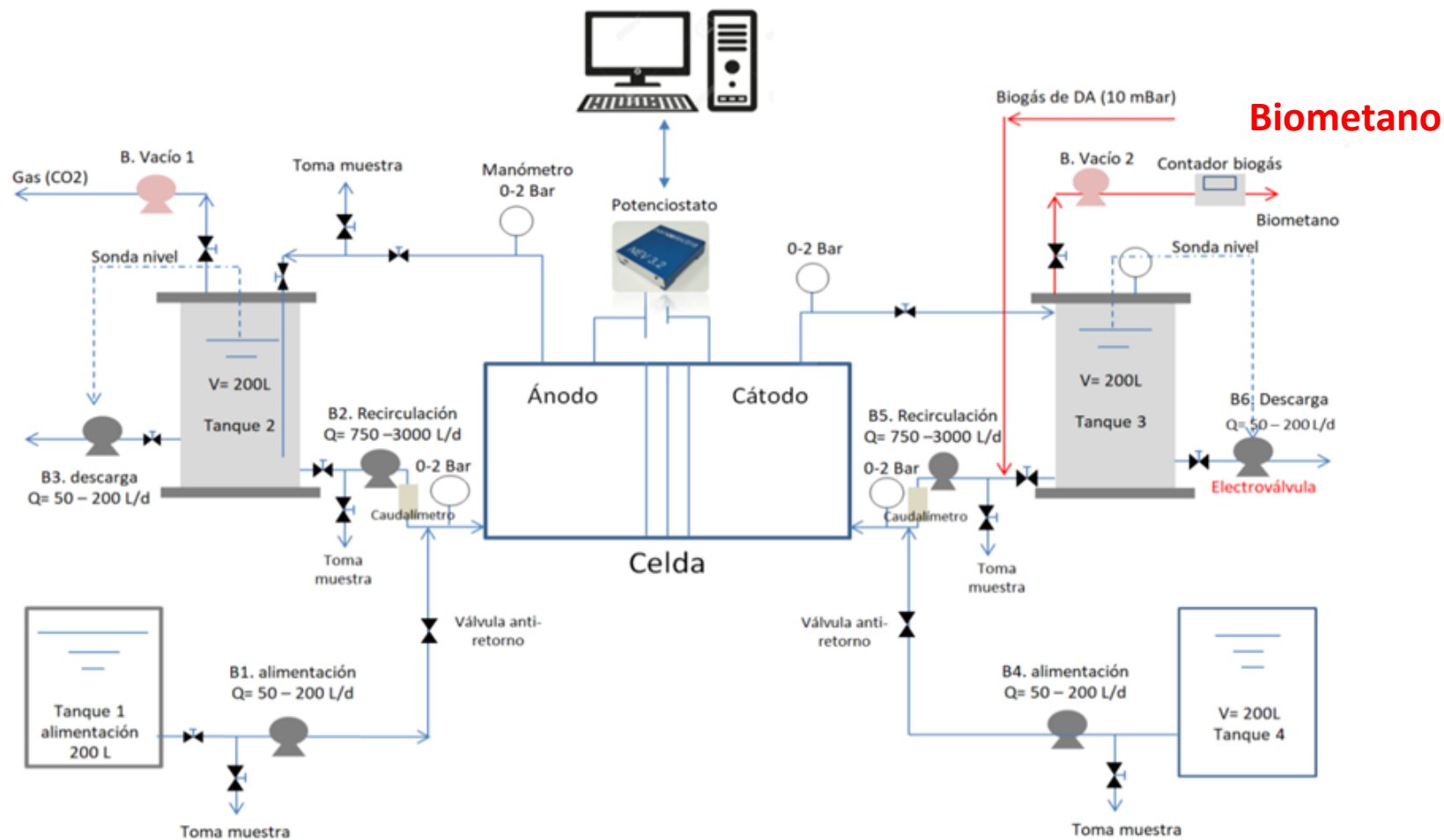


RESULTADOS ESCALA PILOTO



Digestor

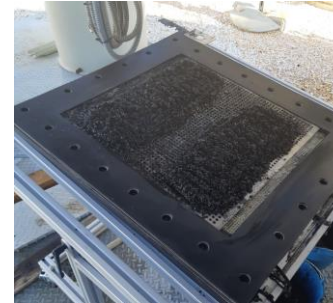
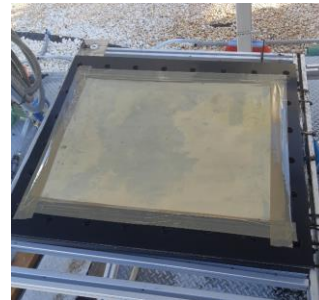
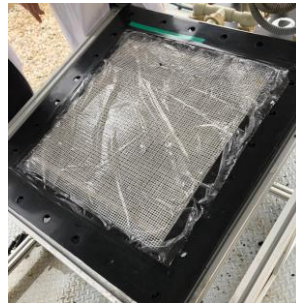
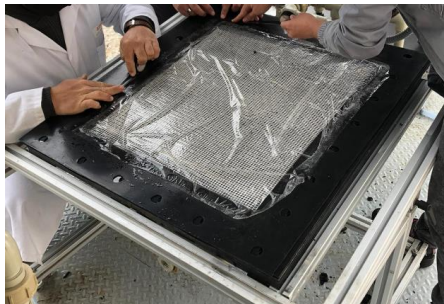
RESULTADOS ESCALA PILOTO



RESULTADOS ESCALA PILOTO



- Celda (100x50x20 cm LxAxH; APRIA Systems)
- Potenciostato (nanoelectra) compatible con software EC-Lab., electrodo de referencia Ag/AgCl.
- membrana de NAFION o CMI-7000 de 0,5 m².
- Tela de carbono con un área efectiva de 0,5 m² (4 unidades), 67,3-88 kg de grafito
- Electrodo de titanio de 0,5 m².






RESULTADOS ESCALA PILOTO



Biocátodo / Bioánodo: 25 L
 Electrodo: 0,5 m²
 Operación semi-continuo (HRT=6h)
 Potencial Cátodo: -0,9 y -1.3V

Tabla 29. Características del alimento o afluente de la celda EMG.

Parámetro	Alimento Ánodo	Alimento Cátodo
Temperatura (°C)	14.2±4.3	14.5±4.2
pH	7.6±0.3	7.7±0.4
DQO total (mg/l)	372.1±193	45.2±23.4
DQO sol (mg/l)	164.5±70.1	47.4±20.6
N-NH ₄ (mg/l)	24.1±13.7	5.6±4.8
P-PO ₄ (mg/l)	3.2±1.8	0.9±1.2
Sólidos susp totales (mg/l)	135.1±52.6	18.8±13.9

 DQOelim:48-55%
 pH: 7.1-7.8
 SST elim: 55-65%

RESULTADOS ESCALA PILOTO

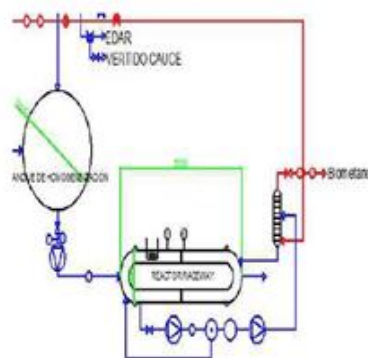
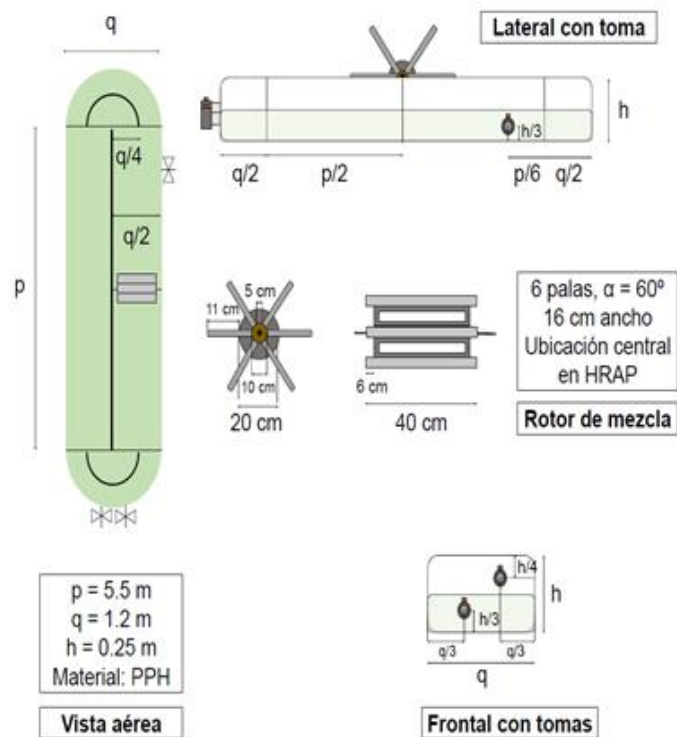
→ **Biometano** CH4: 72.4±9.3 %



Tabla 33. Parámetros de seguimiento de biogás en el cátodo.

Parámetro	Alimento Cátodo	Salida Cátodo	Valor máximo salida
%CH4	62.5±14	72.4±9.39	81.79
%CO2	34.6±9.4	12.4±9.2	
H2S (ppm)	6038±3900	945.4± 135.7	
%O2	0.6±1.3	11.4±6.6	

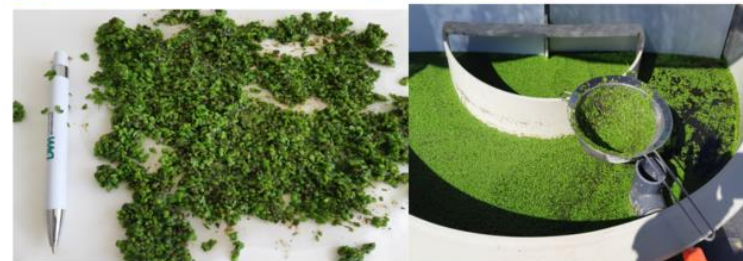
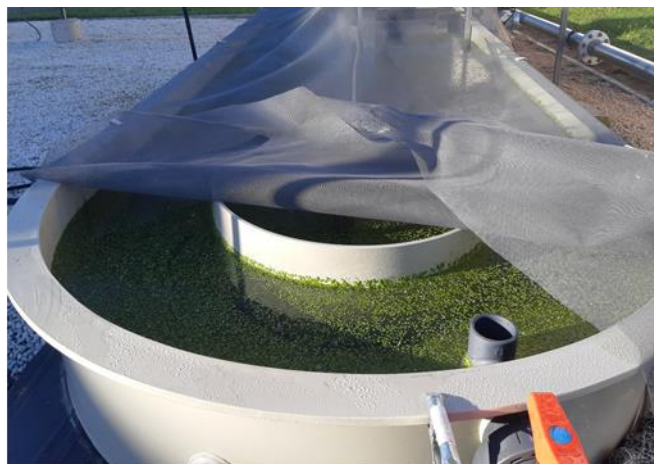
RESULTADOS ESCALA PILOTO



Raceway + Columna

- Reactor Raceway (LxAxH) 5500x1200x250
 - Polipropileno Homopolimero (PPH) de 10 mm de espesor
 - Tabique central y 2 canales curvos de circulación
 - Conjunto de transmisión formado por: motorreductor 230V/50Hz, 10.5 rpm y molino de aspas.
- Columna de absorción gas/líquido (LxD) 3000x160
 - Brida superior desmontable – 2 conexiones corrientes gas
- Rotámetro 1-5 L/min
- Multimetro y sensor de pH/temperatura
- Bombas de impulsión en acero inox 316 y de recirculación 10-25 L/d.
- Resistencia eléctrica, controlador de temperatura

RESULTADOS ESCALA PILOTO



1 - 3% escurrido

RESULTADOS ESCALA PILOTO



Tabla 46. Rendimientos de eliminación de nutrientes.

	Nutrientes	
	N (g)	P(g)
Añadido al reactor	364	37
Extraído por biomasa	338	36,11
	92%	97%
Eliminado	100%	100%

	N (g/m ² -d)	P (g/m ² -d)
Ratio extracción	0,07	0,02
Ratio eliminación	0,18	0,02

Tabla 44. Producción total de biomasa acuática Lemna producida.

Días de ensayo	253	días
Producción total materia húmeda	60,219	Kg
producción total materia seca	2002,3	g
Superficie cultivo	7,8	m ²

Periodo	Productividad	
	g/d	g/m ² -d
5jun-15jul	16,2	2,07692
15Jul-1sept	14,4	1,84615
1sept-17sept	6,6	0,84615
1jul-7ago	23,7	3,03846
7 agost- 31 agosto	14,4	1,84615
31 agost - 17 sept	6,6	0,84615
14 sept - 01 oct	5,72	0,73333
6 oct - 23 oct	4,28	0,54872
23 oct - 9 nov	7,36	0,94359
13 nov - 30 nov	11,1	1,42308
30 nov - 14 dic	9,04	1,15897
15 dic - 12 enero	2,82	0,36154

05 CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos durante la integración del DA con la celda EMG, muestran que es posible operar en continuo una celda bioelectroquímica alimentada con biogás real. La concentración de metano a la salida del biocátodo muestran valores máximos en torno al 82%CH₄, lo que supone una mejora del 30%.
- El estudio de producción de biomasa acuática indicó que es posible alimentar en semicontinuo un reactor raceway empleando un 3% de ecurrido de centrifuga como influente y obtener una productividad 23,7 g/d de Lemna. Un aspecto relevante es la radiación solar, obteniendo mayores rendimientos en los meses de verano y una menor productividad en el periodo de invierno con el descenso de la temperatura.
- El rendimiento en términos de eliminación de nutrientes (N y P) en el reactor Raceway alcanza una eliminación de nitrógeno en torno al 92% y de fósforo del 97%, indicando que durante el crecimiento de la biomasa acuática Lemna existe un reducción importante de estos nutrientes. El ratio de eliminación de nitrógeno de 0.18 g/m²·d es similar a los reportados en otros estudios para este tipo de sistemas.





¡Gracias!

#conama2020



Email: Javier.sanchez@dam-aguas.es

www.dam-aguas.es