



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



INFORME DE EVOLUCIÓN DE PROYECTO

Desarrollo de una técnica de
producción de biogás con
cultivos energéticos (CERGAS).
IMIDTA/2011/538

SAT 299 "GRANJA SAN RAMÓN"

09-P00171

20 Enero 2011

12

Dpto. Calidad y Medio Ambiente

02 Introducción

02 Actividades desarrolladas

12 Conclusiones hasta el momento

Introducción

El presente documento es un resumen de avance de las actividades desarrolladas durante la anualidad 2010 dentro del marco del proyecto CERGAS (IMIDTA/2011/538).

Actividades desarrolladas

Las tareas del año 2010 toman como base los resultados obtenidos durante la anualidad 2009. Durante esta fase del proyecto, planificado para 3 años de duración, se realizaron las siguientes actividades:

TAREA 4. Diseño, montaje y puesta a punto de sistema para cultivo algal en continuo a escala intermedia

Subtarea 4.1. Diseño del sistema para cultivo algal en continuo

En esta subtarea se diseñó y construyó un sistema de bancada para evaluación de cultivos algales en batch o semi continuo. Los planos de dicho sistema se detallan en Fig 1. Para reducir la variabilidad de temperatura e iluminación, se decidió que el sistema fuera diseñado para operar en laboratorio y con iluminación artificial.

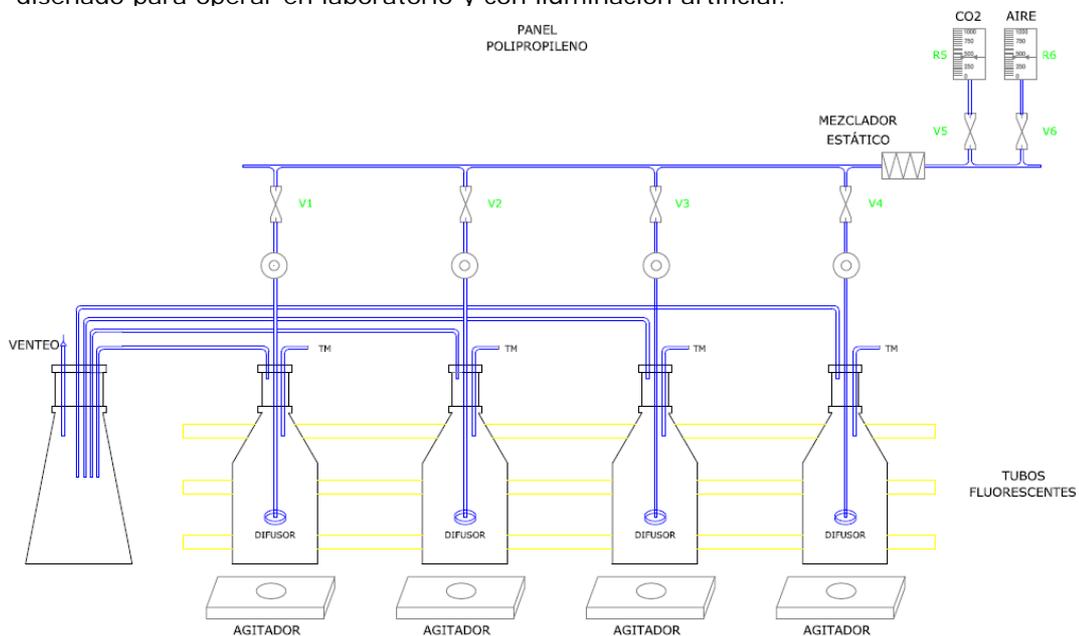


Figura 1. Planos del sistema de bancada para cultivos algales en semi-continuo.

El diseño comprende 4 columnas cilíndricas (de 2 L cada una) construidas en vidrio borosilicatado, iluminadas de forma transversal y normal a su superficie. Cada una de las columnas descritas constituye un reactor independiente en el que pueden ser evaluados cultivos algales independientes. El sistema permite generar diferentes mezclas de CO₂ y aire, e inyectar caudales medidos de dichas mezclas en condiciones estériles sobre cada reactor de los que pueden también obtenerse muestras representativas para el seguimiento de los cultivos.

Debido a que las especies algales mejor adaptadas que fueron aisladas y evaluadas durante el 2009 fueron micro y no macroalgas, se diseñó y construyó un sistema que facilitara la evaluación para dichos microorganismos mediante sistema de cultivo semi-continuo. La hidrodinámica del sistema descrito no contempla recirculación permanente del medio de cultivo, sino remoción periódica de 1/3 de su volumen (para recogida de la biomasa algal) y reincorporación de igual volumen de medio de cultivo fresco (en el caso del presente proyecto digestato acondicionado).

Subtarea 4.2. Montaje y puesta punto

Después de diseñado y construido el sistema, se pusieron a punto diversos aspectos entre los que destacan:

- o Comprobación que la intensidad de irradiación recibida en la superficie de las columnas se encontrara dentro del rango 150-250 $\mu\text{mol foton/m}^2\cdot\text{s}$.
- o Comprobación del correcto funcionamiento de la regulación del fotoperiodo ajustándolo a ciclos diarios 16h luz / 8h oscuridad.
- o Comprobación del adecuado funcionamiento hidrodinámico (agitación) de cada reactor, descartando posibles problemas de atasco durante periodos entre 5-10 días, con diferentes muestras y concentraciones de digestato proveniente de la planta de biogás
- o Comprobación y ajuste del adecuado funcionamiento del sistema de mezcla e inyección de gases de manera que permitiera obtener diferentes proporciones de CO₂ a partir de dicho gas y aire; distribuirlos homogéneamente e inyectarlas de forma controlada (flujómetro de gases) en cada uno de los reactores.

TAREA 5. Cultivos algales en semi-continuo para reducción de N y P sobre digestatos

Subtarea 5.1. Cultivos algales en semi-continuo

Una vez realizada la puesta a punto del sistema, se realizaron cultivos algales preliminares con el fin de evaluar de forma cualitativa, el comportamiento biológico de las microalgas aisladas durante la anualidad 2009 del proyecto (cepas de microalgas M1 y M2).

Se iniciaron cultivos algales en botellas habiendo entre ellos aspectos comunes (iluminación y aporte de CO₂) y aspectos específicos (descritas como A, B y C) como tipo de alga utilizada, volumen inóculo inicial, concentración de digestato utilizado como medio

de cultivo, etc. La descripción de dichas condiciones comunes y específicas de cada cultivo se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de partida de cultivos algales batch.

Condiciones de cada uno de los cultivos algales evaluados				
condiciones específicas	unidades	A	B	C
microalga inoculada		M1	M2	M1
dilución digestato		1/50	1/100	1/200
recuento inóculo (cultivo B18-A)	ufc/ml	2,75E+08	3,10E+07	3,10E+07
condiciones comunes a las 3 condiciones				
vol. Inóculo algal	ml	4	4	4
volumen de cultivo	ml	400	400	400
Iluminación recibida	(ufoton/m2.s)	150-180	150-180	150-180
caudal volumétrico mezcla CO2/aire	(ml/L.min)	0,001	0,001	0,001
proporción de CO2 de la mezcla	%	13	13	13

Los cultivos algales fueron monitorizados durante 8 días en los que se evaluó de forma cualitativa el incremento de biomasa algal. El cambio de aspecto a lo largo del tiempo se observa en la Figura 2.

El análisis visual de los cultivos evidenció un desarrollo más acelerado en la condición B respecto a la C y ambas respecto a la A. Por otra parte, luego de los 8 días de ensayo se apreciaron niveles de pigmentación y densidad celular similares entre las condiciones B y C. Los pellets obtenidos por centrifugación de los cultivos B y C (biomasa algal M1 y M2 respectivamente) fueron analizados respecto a su composición y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

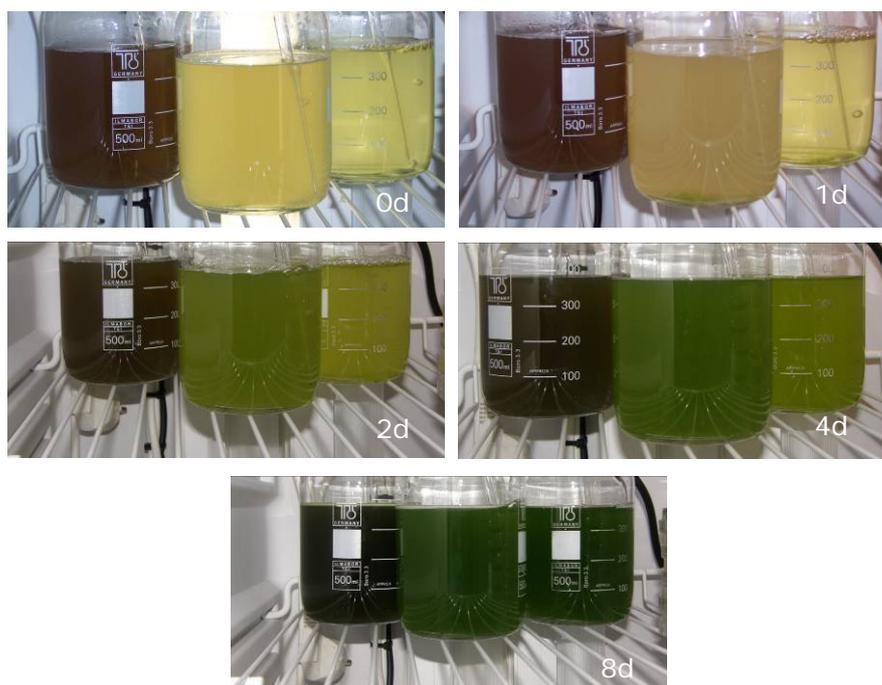


Figura 2. Fotografía de 3 condiciones de cultivos algales Cultivos algales en semi-continuo (d: días de evolución) En todas las fotografías, Izquierda (condición A), centro (condición B), derecha (condición C).

Subtarea 5.2. Análisis de la biomasa algal

De los resultados obtenidos respecto a la composición de la biomasa algal cultivada en los ensayos preliminares, puede comprobarse que a iguales niveles de nutrientes en el medio de cultivo, la cepa M1 mostró mayor contenido en materia orgánica (SV) y una mayor proporción de carbohidratos y lípidos que M2. Estos hechos, supondrían a priori que M1 sería de mayor interés que M2 como sustrato de biometanización, en los que los contenidos en materia orgánica, lípidos y carbohidratos de los sustratos, son relevantemente importantes para la producción de biogás.

Tabla 2. Resultados de la composición de las microalgas M1 y M2 obtenidas de los cultivos preliminares batch (0,5L).

Composición pellets algales ensayos batch			
Parámetros / condiciones	unidades	B	C
alga		M1	M2
Carbohidratos	g/100 g sms	52,05	22,17
Lípidos	g/100 g sms	16,78	8,02
Proteínas	g/100 g sms	28,77	61,32
Cenizas	g/100 g sms	2,40	8,49
Sólidos totales	g/100 g smh	29,20	21,20
Sólidos volátiles	g/100 g sms	97,60	91,51

TAREA 6. Valorización energética de la biomasa algal

El objetivo de esta tarea fue evaluar el potencial de la biomasa algal para la generación de biogás y, a la luz de los resultados obtenidos, estimar el potencial energético derivado de la combustión en co-generadores habitualmente utilizados en plantas de biogás agroindustrial de las características de la Granja San Ramón.

Subtarea 6.1. Ensayos de potencial de biometanización de algas

El objetivo de esta sub-tarea fue evaluar el potencial de biometanización (PBM) de biomasa microalgal mediante ensayos de digestión anaeróbica de dicha biomasa en digestores batch de 2L. Ainia cuenta en sus instalaciones con una unidad de biometanización de 2L (UBIMET B2) en donde se evalúa el PBM de diversos sustratos y donde se realizaron los ensayos descritos para microalgas (Figura 3).

Los ensayos de evaluación de PBM consisten en la digestión anaeróbica de la materia orgánica que se desea evaluar y en la evaluación de los gases y los digestatos generados. Cada condición de ensayo se evalúa por triplicado siguiendo el procedimiento VDI4630. Los digestores se disponen dentro de estufas para mantener condiciones controladas de temperatura y el biogás generado es evaluado de forma automatizada respecto a su volumen y composición.



Figura 3. Detalle de planta piloto empleada para evaluar el potencial de biometanización de sustratos.

El sistema para cultivos algales descrito en la T4 está diseñado para evaluar condiciones de cultivo algal y consumo de nutrientes, pero no para obtener grandes producciones de biomasa. Debido a esto y para evitar retrasos en la obtención de suficiente biomasa para los ensayos de PBM, se decidió adquirir biomasa microalgal liofilizada como sustrato para la realización de los ensayos de evaluación del PBM. Dicha biomasa correspondió a la microalga *Scenedesmus almeriensis* y su composición se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos de composición de la microalga *Scenedesmus almeriensis* utilizada como fuente de biomasa para los ensayos de PBM descritos.

Composición del sustrato: <i>S. almeriensis</i> liofilizada		
Hidratos de carbono	20,41	g/100 g MS
Grasas	6,94	g/100 g MS
Proteínas	43,48	g/100 g MS
Sólidos totales	93,6	g/100 g MH
Sólidos volátiles	70,83	g/100 g MS
C/N	0,74	

Respecto a la composición de la biomasa algal, destacó su relación C/N inferior a 1, muy por debajo del óptimo recomendado de 20-35 para evitar posibles inhibiciones del proceso debidas al amoníaco generado. También cabe resaltar el bajo contenido en grasa y en sólidos volátiles (70,83 % sms).

El ensayo consistió en la digestión anaeróbica de muestra algal liofilizada (*Scenedesmus almeriensis*) utilizando como inóculo o iniciador del proceso, digestatos provenientes de otros procesos de DA activos. La muestra fue digerida durante 45 días hasta que la producción de biogás diaria registrada fue inferior al 1% de la cantidad total de biogás acumulada hasta ese momento y cuando se dio por finalizado el ensayo (aproximadamente luego de 18 días de iniciado). El volumen de biogás generado se midió de forma constante, y el análisis de la composición del biogás (CH₄, CO₂, O₂, H₂, H₂S) se realizó cada 4 L de producción. Los resultados obtenidos se normalizaron expresándolos como producción de biogás por kg de sólido volátil introducido en el digestor. Los resultados del ensayo se muestran la Figura 4 y se resumen en la Tabla 4.

El análisis de las gráficas de dichos resultados, indica que el sustrato digerido alcanzó una productividad máxima de metano de 228 L CH₄/kg SV (correspondiente a un nivel medio-bajo comparable al que puede obtenerse por la biometanización de un purín de cerdo tipo). El porcentaje de metano promedio registrado durante el ensayo fue de 67,45% lo que se considera relativamente alto al compararlo con valores habituales de otros sustratos como el purín (entre 50-65%). La biodegradabilidad de la biomasa biometanizada fue de 51,84 %, relativamente baja comparada con otros sustratos (50-80%), lo que indica que luego de detenida la producción de biogás, persiste en los digestores un remanente de biomasa algal no completamente mineralizada.

Tabla 4. Resumen de los datos obtenidos de la evaluación del potencial de biometanización de *S. almeriensis*. T₈₀ (tiempo necesario para alcanzar el 80% de la producción de biogás).

Ensayo de potencial de biometanización		
Producción específica de CH ₄	228	L / kg SV
Proporción de CH ₄	67,45	%
Biodegradabilidad	51,84	% elimin. SV
T ₈₀	11	días

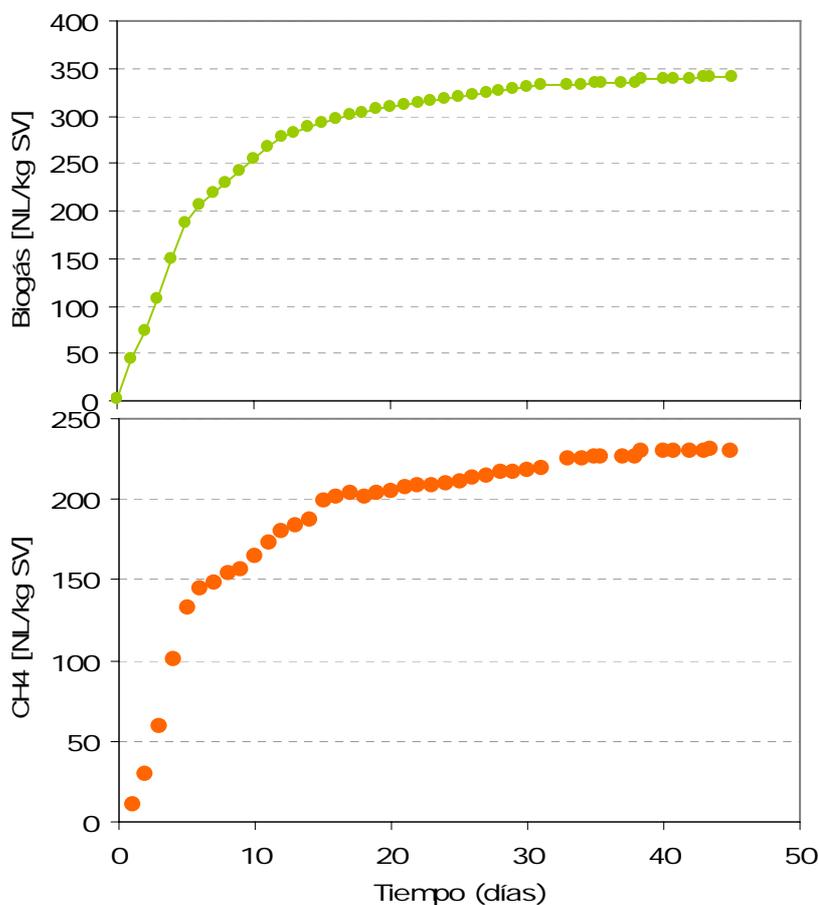


Figura 4. Curvas de productividad específica acumulada respecto a la biometanización de microalga *S. almeriensis* expresada como: biogás (arriba) CH4 (abajo).

Subtarea 6.2. Evaluación del potencial de valorización energética de la biomasa algal

El objetivo de esta subtarea fue estimar el incremento de productividad de biogás por la digestión anaeróbica de la biomasa algal potencialmente generable a partir de las corrientes residuales (CO₂ de combustión de biogás y digestato) provenientes de la misma planta de biogás.

Para ello se partió de una serie de consideraciones de partida en cuanto a planta de biogás, sistema de cultivo algal de bajo coste y potencial de biometanización de la biomasa algal; que permitieran acotar las conclusiones obtenidas en este informe y que pudieran ser ampliadas con los resultados obtenidos en el siguiente año de evolución del proyecto.

Las consideraciones de partida establecidas se detallan a continuación:

- o Planta tipo de biogás agroindustrial en funcionamiento: con una potencia instalada de 500 kW, una producción anual de 33.985.000 L de digestato y una producción de CO₂ post-combustión biogás de 1.279.144 kg CO₂/a.
- o Se supone el aprovechamiento de todo el CO₂ post-combustión (el propio presente en el biogás y el derivado de la combustión de metano en el co-generador de planta de biogás).
- o Teniendo en cuenta toda la masa anual de CO₂ generada por los gases post-combustión de la planta de biogás, los nutrientes anuales presentes en los digestatos, en ausencia de limitación de luz y bajo condiciones ideales de temperatura (30°C); la masa de disponible CO₂ es el factor limitante para la producción de biomasa algal.
- o Se consideran producciones algales en sistemas abiertos de bajo coste (tipo race way) en los que se consumen 1,83 kg CO₂ por cada kg de alga seca generada y con datos de productividad descritos en la literatura.. (Chisti 2007).
- o No se consideran procesos de enfriamiento y/o acondicionamiento de gases post-combustión que pudieran ser o no requeridos.
- o No se consideran procesos de acondicionamientos de digestatos (decantación para remoción de sólidos, higienización, etc.).
- o No se consideran los procesos de cosechado algal.
- o Cálculos de biometanización de la biomasa algal potencialmente generada, realizados a partir de los datos obtenidos de PBM de *S. almeriensis* (st 6.1).

Teniendo en cuenta todos estos supuestos se estimaron:

- o La productividad algal teórica potencialmente obtenible a partir del CO₂ post-combustión y digestatos de una planta tipo de biogás agroindustrial.
- o La productividad de biogás teórica proveniente exclusivamente a la biometanización de las algas.
- o La productividad energética eléctrica teórica exclusivamente debida a la combustión del biogás potencialmente generado por las algas.

Los datos cuantitativos de los cálculos realizados se describen en la (Tabla 5).

Tabla 5. Cálculos de los principales parámetros vinculados a la valorización energética de biomasa algal.

ESPECIFICACIONES PLANTA BIOGAS AGROINDUSTRIAL TIPO (SIN ALGAS)		
POT. ELECTRICA GENERADOR	500,00	kw
TIEMPO OPERACION MOTOR ANUAL	8.000	h
EFICIENCIA ELECTRICA MOTOR	40%	%
poder calorífico CH4	9,450	kWh/m3
ENERGIA ELECTRICA ANUAL	4.000.000	KWh/a
PRODUCTIVIDAD METANO ANUAL REQUERIDA	423.280	m3/a
CH4 en biogás	65%	%
CO2 en biogás	35%	%
PRODUCTIVIDAD ANUAL BIOGAS	651.201	m3/a
PRODUCTIVIDAD CO2 PRE-COMBUSTION	227.920	m3/a
F. RECUPERACION CO2 POR PURIFICACION GAS COMBUSTION	100%	%
PRODUCTIVIDAD CO2 (POST-COMBUSTION BIOGAS)	1.279.144	kg/a
PRODUCCION ANUAL DIGESTATO CRUDO	33.985	m3/a
ESPECIFICACIONES SISTEMA DE PRODUCCION ALGAL		
REQUERIMIENTO CO2 PURO POR UNIDAD MASA ALGAL	1,830	kg/kg ms
FACTOR APROVECHAMIENTO CO2 POR INYECCIÓN	90%	%
MASA ANUAL CO2 DISUELTA EN RW	1.151.230	kg/a
CONSUMO N	0,010	kg/m3.d
REQUERIMIENTO DAC (en base a N)	2.225	m3/a
PRODUCCION ALGAL ANUAL	629.087	kg MS/a
SV	70%	g/100 gMS
PRODUCCION ALGAL ANUAL VOLATIL	442.248	kg SV/a
REQUERIMIENTO SUPERFICIAL POR UNIDAD DE MASA AGAL	0,078	m2/kg MS
REQUERIMIENTO SUPERFICIAL DE SISTEMA PRODUCCION ALGAL	49.245	m2
PRODUCTIVIDAD ADICIONAL BIOGAS POR BIOMETANIZACION ALGAS		
PBM <i>S. almeriensis</i>	360,0	L/kg SV
PRODUCCION ADICIONAL BIOGAS POR ALGAS	159.209,4	m3 biogás/a
PRODUCCION ADICIONAL CH4 POR ALGAS	103.486	m3 CH4/a
PRODUCTIVIDAD ELECTRICA ANUAL POR ALGAS	391.178	Kwh/a
TARIFA POTENCIA < 500 KW	0,140	€/Kw
INGRESOS POR VENTA ELECRCIDAD BIOGAS ALGAL	54.765	€/a

Conclusiones obtenidas hasta el momento

El análisis de la Tabla 5 permite obtener una serie de conclusiones de los trabajos realizados hasta el momento en el proyecto, válidas en el marco de las condiciones de partida descritas:

- o Se han aislado 4 cepas microalgales a partir de medios residuales de las que 2 (M1 y M2) mostraron buena capacidad de desarrollo y reducción de nutrientes.
- o La estimación de producción algal anual a partir de las corrientes residuales de una planta de biogás agroindustrial tipo, permitiría obtener 629.087 kg MS anual.
- o La digestión anaeróbica (batch) de la microalga *Scenedesmus almeriensis* aportó una productividad máxima de metano de 228 L CH₄/kg SV. Dicho proceso transcurrió relativamente rápido (80% del biogás se generó antes de los 11 días de digestión) aunque su biodegradación no superó el 51,84%.
- o En condiciones ideales y teniendo en cuenta que el alga producida en los sistemas race way propuestos, tuviera una composición similar a la de *Scenedesmus almeriensis*, la productividad anual de biogás exclusivamente debida a la biometanización algal sería de 159.209 m³ con un 67,45 % de metano, lo que en una planta de biogás como la definida, permitiría obtener unos ingresos por venta eléctrica de 54.765 €/a.