

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/279447162>

Proyecto All-gas Cultivo de microalgas con producción de biocombustibles y eliminación de nutrientes

Article · January 2013

CITATIONS

0

READS

1,173

4 authors:



Ignacio de Godos Crespo
Universidad de Valladolid

42 PUBLICATIONS 1,993 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Zouhayr Arbib
FCC aqualia

53 PUBLICATIONS 2,085 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Enrique Lara Corona

7 PUBLICATIONS 124 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Frank Rogalla
aqualia, Madrid

116 PUBLICATIONS 2,045 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



FP7 SWAT: Salsnes Water to Algae Treatment filter technology [View project](#)



REGENERA: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTES A TRAVÉS DEL CULTIVO DE MICROALGAS [View project](#)

Proyecto All-gas

Cultivo de microalgas con producción de biocombustibles y eliminación de nutrientes

Ignacio de Godos¹, Zouhayr Arbib¹, Manuel J. Feria¹, Enrique Lara¹, Jose Ramón Santiago¹, Frank Rogalla¹, Maikel Fernández², M^a Angeles de la Rubia³.
¹aqualia, ²U. Cádiz, ³U. Southampton



INTRODUCCIÓN

El año que viene, el proceso de lodo activado cumple 100 años desde la primera publicación en Manchester en Abril 1914. Nadie contesta el efecto positivo de las miles de plantas de lodo activado en el mundo sobre los recursos acuáticos, pero a cambio de un consumo energético significativo alrededor de 0,5 kwh/m³ – y una producción de fango de 0,1 kg/m³, que tienen sus efectos secundarios sobre el medio ambiente. Este impacto indirecto puede ser cuestionado porque una materia prima con un potencial energético alrededor de 2 kwh/m³ se desaprovecha, y hay alternativas para recuperar más recursos de las aguas residuales.

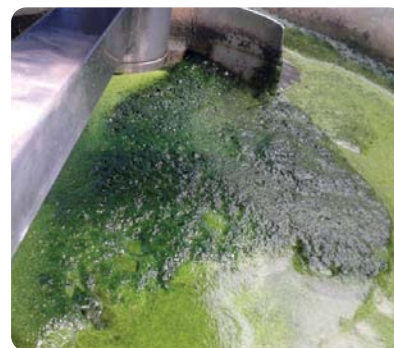
Las microalgas pueden tener un papel fundamental en el futuro de la valorización de aguas residuales.



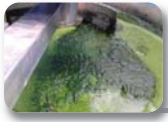
aqualia, consciente de ello, ha desarrollado un proceso de reuso de aguas residuales mediante cultivo de algas-bacterias que tiene las siguientes características:

1. Balance Energético Positivo:

Los tratamientos convencionales de fangos activos consumen una cantidad de energía importante, principalmente en la inyección de oxígeno



no para la degradación de la materia orgánica y eliminación de nutrientes, entre 0,2 y 0,4 kwh/m³. Las microalgas presentes en los cultivos mixotróficos algas-bacterias (fig 1.) pueden producir el oxígeno necesario para que las bacterias degraden la materia orgánica y realicen el proceso de nitrificación, reduciéndose por tanto el consumo energético asociado a la inyección de oxígeno en estos procesos. Para conseguir un balance ener-



gético positivo en el proceso de cultivo con microalgas es importante:

- Utilizar lagunas abiertas de alta eficiencia energética: aqualia ha desarrollado un HRAP (High Rate Algae Process) optimizado, actualmente en proceso de patente, con cultivo mixotrófico de algas-bacterias. Este sistema mejora el paddle wheel convencional (fig.2).

- Cosechado de bajo coste.

- Producción de biocombustibles:

Las algas pueden ser digeridas anaeróbicamente, produciendo biogás.

2. Incorporación de Nitrógeno (N) y Fósforo (P)

Durante su crecimiento fotosintético, las microalgas incorporan los nutrientes contenidos en las aguas residuales, siendo recuperados en el cosechado posterior. (García et al., 2006; Powell et al. 2009; Park and Craggs, 2010). Por otro lado los sistemas de cultivo con microalgas presentan elevados rendimientos de eliminación de N y P, cumpliendo las normativas más estrictas, evitando de esta forma los problemas de eutrofización por presencia de nutrientes en el vertido. Las lagunas facultativas y madurativas utilizadas en depuración de aguas residuales tienen consumos energéticos muy reducidos, pero presentan bajos rendimientos de eliminación de N y P (fig.2).

3. Eliminación de patógenos

Las lagunas proporcionan la mayor eliminación de patógenos de entre todos los sistemas de tratamientos biológicos de aguas residuales (Ruiz-Marin et al., 2010; Schumacher et al., 2003; Wang et al., 2010).

4. Reducción de emisiones CO2

La asimilación por las microalgas

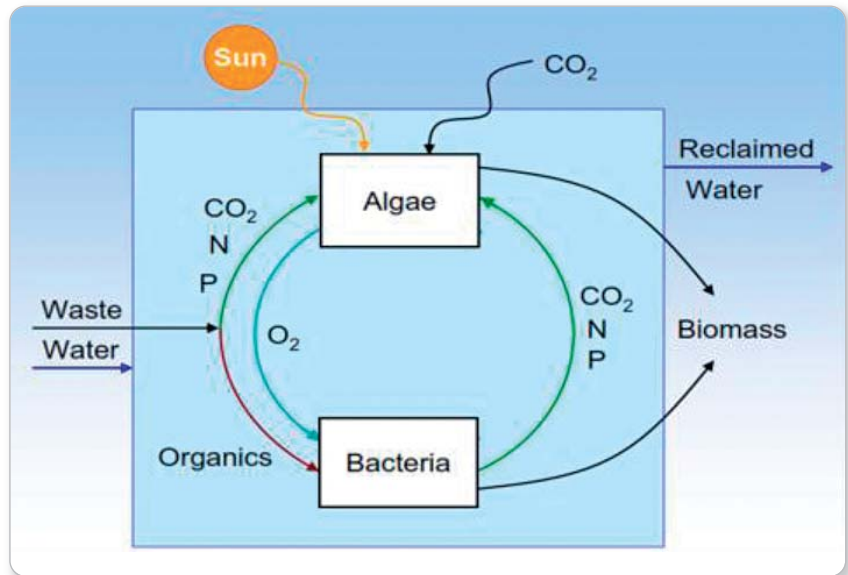


Fig. 1. Cultivo mixotrófico algas-bacterias



Fig. 2. Comparativa lagunas convencionales y HRAP

del CO₂ producido por las bacterias, reduce la emisión de gases invernadero, asociado al tratamiento de aguas residuales. (Oswald et al. 1988).

5. Obtención de biomasa de valor

De las algas se pueden extraer biofertilizantes gracias a la asimilación de los nutrientes de las aguas residuales y el lenta liberación de los mismos en el proceso de fertilización, que ha sido probado consistentemente. (Olguín et al., 2003; de Godos et

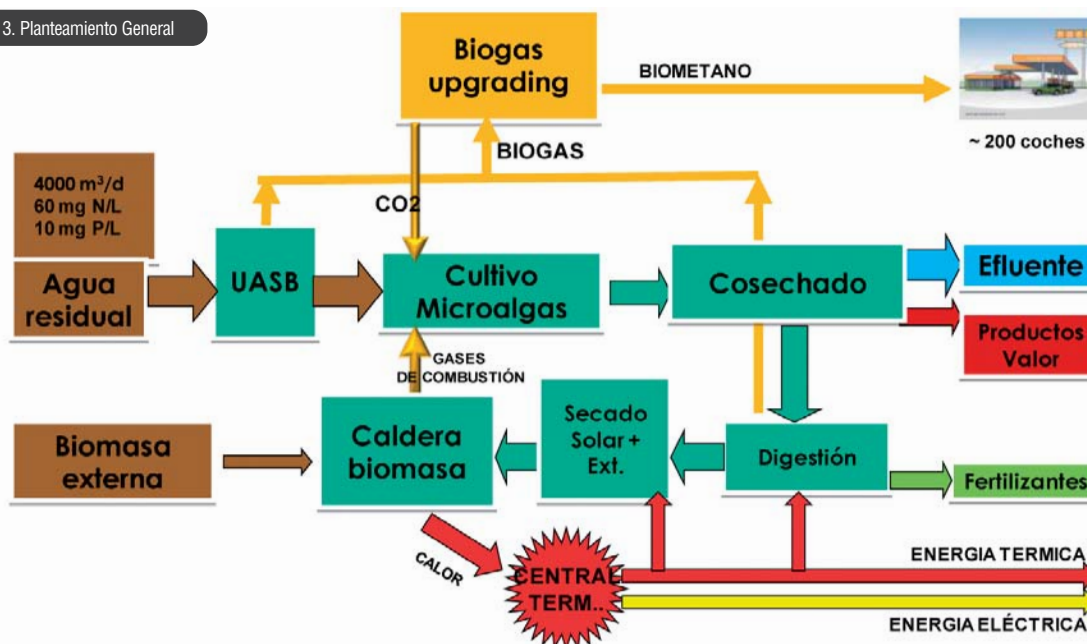
al., 2009; Mulbry et al., 2005). También hay opciones de valorizarlos como fuente de proteína para nutrición animal (Zepka et al., 2010).

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el desarrollo de esta prometedora tecnología de reuso de agua, aqualia ha implementado en la depuradora de El Torno en Chiclana de la Frontera (Cádiz), cinco proyectos de investigación, desarrollo y demostración: FP7 ALL-GAS, CENIT VIDA,



Fig. 3. Planteamiento General



FP7 SWAT, INNACTO DOWSTRE-AM e INNPRONTA ITACA.

El objetivo de los proyectos de algas de aqualia en Chiclana es el de modificar el enfoque tradicional de la depuración, convirtiendo las aguas residuales en un producto con valor a partir de un mero residuo costoso. Dicho de otro modo, estos proyectos se plantean sustituir las tecnología de depuración de lodo activado, de más de 100 años y que cuentan con un elevado consumo energético y producción de fangos, por un nuevo sistema con balance energético positivo y la obtención simultánea de productos de valor a partir de la biomasa generada.

En concreto, el proyecto All-gas (www.all-gas.eu) se enmarca dentro del Séptimo Programa Marco (FP7) de la Comunidad Europea y de la Directiva de Energías Renovables 2009/28, que prevé en la UE un 20 % de reducción en la emisión de Gases Invernadero, por debajo de los niveles de 1990 y que un 20% del consumo de energía en la EU se obtenga de fuentes renovables.

De un total de 14 propuestas presentadas a la convocatoria Biofuels from Algae del FP7 (2 de Alemania, Francia, Israel, 6 de España,...) han sido seleccionados tres proyectos, uno de los cuales es el Proyecto All-gas, liderado por aqualia, que ha obtenido la máxima puntuación de la Comunidad Europea en aspectos como la excelencia científica y tecnológica y sostenibilidad a largo plazo.

El proyecto tiene un presupuesto de 11,8 M€, con 60% de subvención de la EU, y será llevado a cabo por un consorcio formado por 5 empresas que aportan su experiencia en los distintos campos de actuación, de España, Holanda, Austria, Reino Unido y Alemania y un comité de expertos Internacionales (de EEUU, Nueva Zelanda, Reino Unido y la Universidad de Almería en España).

Objetivos del proyecto All-gas:

- Demostrar a escala industrial (10 hectáreas) el cultivo de algas con un balance energético positivo.
- Utilización de los nutrientes del

agua residual para este cultivo de algas, evitándose de esta forma el aporte fertilizantes inorgánicos al cultivo. Habitualmente se estima que un 30% del coste de producción de los biomasa en fotobiorreactores es debido al aporte de fertilizantes al sistema.

- Producción de biocombustibles (biogás) a partir de las aguas residuales: flota de vehículos demostrativa.
- Valorización de las algas no sólo energéticamente, sino con productos de alto valor añadido (biofertilizantes, proteína para nutrición animal, farmacéutico, cosmético, dietético, pigmentos, etc).

Para llevar a cabo los objetivos planteados, se ha realizado un diseño innovador que se presenta en el diagrama de flujo adjunto.

En el diseño a escala industrial, el agua residual procedente de la planta depuradora, tras el desarenado-desengrasado será bombeada a la nueva instalación. Las unidades de proceso son las siguientes:

1. Pretratamiento anaerobio mediante reactores del tipo UASB

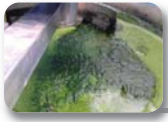


Fig. 4. Planta Piloto

de las aguas residuales, previo al cultivo de algas.

2. Cultivo de algas mediante lagunas abiertas de alto rendimiento (HRAP), con inyección de CO_2 y sistema de agitación.

3. Cosechado de algas.

4. Digestores anaerobios de algas generadas.

5. Deshidratación y posible utilización como biofertilizantes.

6. Secado solar de la biomasa.

7. Caldera de biomasa a partir de biomasa externa limpia como hueso

de aceituna para la generación del CO_2 adicional necesario para el cultivo de algas.

8. Tratamiento del biogás generado, separándolo en sus dos componentes principales (Metano y CO_2) para su uso en una estación de servicio (biometano) y como fuente de carbono para el cultivo de algas (CO_2).

Para garantizar el éxito final del proyecto, previamente a la instalación definitiva a escala industrial, se está realizando un intensivo plan de

investigación, por lo que el proyecto se desarrollará en tres fases:

1) Piloto: investigación a pequeña escala. Durante los dos primeros años, actualmente en curso.

2) Prototipo: investigación a escala real. Durante el tercer año del proyecto. Actualmente en construcción.

3) Planta industrial: desarrollo a escala real. Del año 3 al año 5.

FASES DEL PROYECTO: PILOTO, PROTOTIPO, DEMOSTRACIÓN

a) Planta piloto

Para obtener parámetros básicos de dimensionamiento se ha realizado una planta piloto dentro de la zona de la depuradora El Torno en Chiclana de la Frontera (fig. 4). El agua residual procedente de la planta depuradora de El Torno, tras el desarenado-desengrasado será bombeada a la nueva instalación. El caudal máximo de agua residual es de $78 \text{ m}^3/\text{d}$ que serán pretratadas anaeróbicamente, y de este caudal sólo $3 \text{ m}^3/\text{d}$ se utilizarán para el cultivo de algas en esta fase y el resto

SOLUCIONES EN BIOGAS

Donoso Cortés, 7 bajo
E-33204 Gijón (ESPAÑA)

Tel: (0034) 985 17 59 50
Fax: (0034) 985 35 25 99

Ingeniería y Biogás

EQUIPOS ESPECIALES E INSTALACIONES COMPLETAS DE BIOGAS

Captación y conducción
Antorchas

Estaciones de regulación
Compactos de extracción-combustión

Sistemas de medida y análisis
Valorización energética

Centrales de extracción e impulsión
Adecuación y tratamiento del gas

DE RESIDUO A RECURSO

E-Mail: info@inbiogas.com

www.inbiogas.com

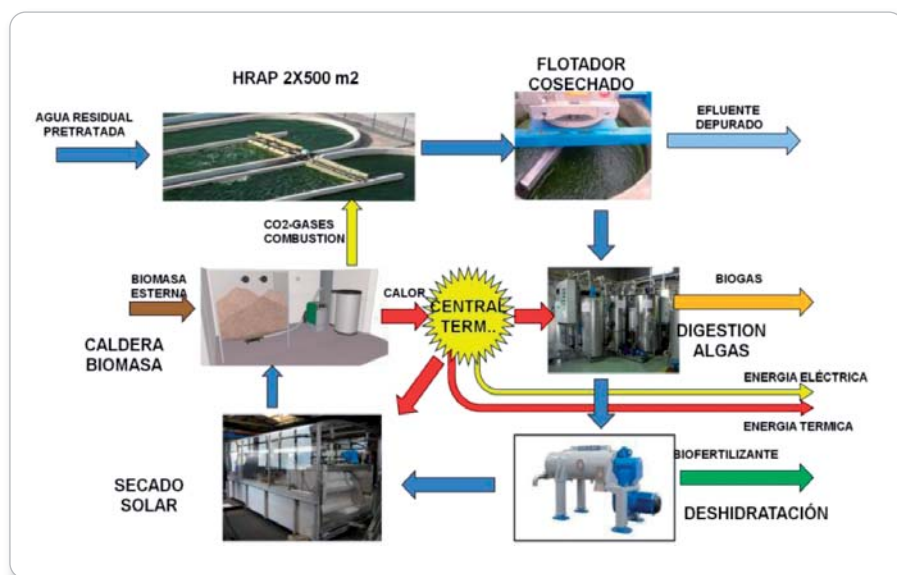


Fig. 5. Planta Prototipo

se utilizarán para el cultivo de la fase prototipo. Consta de las siguientes etapas:

1. Pretratamiento anaerobio de las aguas residuales urbanas, formado por tres reactores del tipo UASB en tanques de 20 m³ de volumen (unidades conjuntas a la fase prototipo).

2. Stripping de metano, disuelto en el efluente del reactor anaerobio UASB.

3. Tratamiento del biogás generado, mediante sistema de eliminación de sulfídrico.

4. Almacenamiento y medida de biogás.

5. Cultivo de algas mediante lagunas de alta productividad, con inyección de CO₂ y sistema de agitación. Se han instalado y operado 6 lagunas de 32 m² de superficie cada una.

6. Separación de algas mediante varias tecnologías en paralelo (decantación, flotación por aire disuelto, filtración).

7. Sistema de inyección de CO₂ y control de pH, mediante botellas de CO₂ puro presurizado y analizadores en continuo.

b) Planta prototipo

Paralelamente a la operación de la fase piloto, se procede a la construcción de una planta prototipo con unidades de tratamiento a un tamaño de escala más próximo al real. Este tamaño permite minimizar el riesgo del escalado hasta la planta industrial demostrativa, gracias a la obtención de parámetros de diseño hidráulicos y energéticos fundamentales (Ver fig. 5).

El agua residual procedente de la planta depuradora de El Torno, tras el desarenado-desengrasado es bombeada a la nueva instalación. Las fases del prototipo son las siguientes:

1. Pretratamiento anaerobio de las aguas residuales, previo al cultivo de algas. Esta fase es conjunta a la fase piloto, con un caudal de tratamiento de 75 m³/día.

2. Cultivo de algas: mediante lagunas abiertas de alto rendimiento, con inyección de CO₂ y sistema de agitación, a realizar en una zona contigua a la depuradora, en dos lagunas de 500 m² cada una.

se prevé una instalación de cosechado en la zona de la salina.

3. Separación de algas: mediante sistema de flotación por aire disuelto, que es el que ha obtenido mejores resultados en la fase piloto.

4. Agua de salida: el agua tras el tratamiento es devuelta a la depuradora de El Torno.

5. Digestor anaerobio de algas generadas.

6. Deshidratación: se estudian distintos sistemas, como filtro prensa, centrifugación y membranas a presión.

7. Secado solar: se instala un secado solar piloto de la casa Huber, bajo invernadero, de 8 m² de superficie.

8. Caldera de biomasa de 40 kw, a partir de biomasa externa limpia como hueso de aceituna para la generación del CO₂ adicional necesario para el cultivo de algas.

c) Planta industrial demostrativa

Finalizada la investigación a escala prototipo se procederá a la construcción de una instalación a escala industrial demostrativa. El objetivo final es la implementación de una depuradora con un cultivo de algas de 10 ha, formada por lagunas con superficie unitaria igual o superior a 4500 m². La instalación así diseñada será capaz de tratar un caudal de entre 3000 y 5000 m³/día de agua residual, equivalente a una depuradora de capacidad entre 15.000 y 25.000 habitantes equivalentes (h.e.), y se evaluará en qué condiciones se alcanzarían los hasta parámetros de vertido según el RD 1620/2007.

Según el objetivo del proyecto FP 7, el biogás generado podrá utilizarse en una estación de servicio para una flota demostrativa de vehículos, y en el futuro también alimentar una cogeneración.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Previo a la instalación de la fase

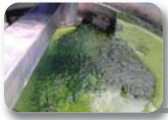


Fig. 6. Reactores UASB prototipo

final demostrativa, se está realizando un trabajo exhaustivo de investigación durante las fases piloto y prototipo. Las líneas de investigación principales son las siguientes:

a) Producción de biogás mediante el pretratamiento de aguas residuales con reactores UASB

El digestor anaerobio UASB que trata el caudal principal de agua residual elimina alrededor de un 60% la materia orgánica, generando biogás, que es la primera fuente de energía obtenida en el proceso. Por otro lado deja pasar la mayor parte de los nutrientes en el agua, convirtiéndose por tanto el agua residual en un medio ideal de cultivo de algas.

Los reactores del tipo UASB han sido ampliamente utilizados en aguas residuales industriales, con temperaturas y concentraciones favorables. También se aplican a larga escala en aguas residuales municipales en países tropicales donde la temperatura se mantiene todo el año por encima de 20°C, como en Brazil,

Asia o Africa (Heffernan, 2011).

El proyecto desarrollado en Chiclana pretende demostrar la viabilidad de emplear esta tecnología en climas del Sur de Europa, donde se pueden obtener en el agua temperaturas inferiores a 20°C durante el invierno, por ejemplo en Chiclana, con $T_{\text{min. agua}} = 17-18^{\circ}\text{C}$.

Durante los meses cálidos de verano se han obtenido los rendimientos de depuración disponibles en la tabla superior.

Estos rendimientos son prometedores, de cara a una optimización

Reactor	RE T-COD (%)	RE S-COD (%)
UASB 1	75.8±11.1	55.5±18.0
UASB 2	75.7±12.8	52.8±15.2
UASB 3	73.1±14.5	--

posterior y a su viabilidad en los meses de invierno, en donde se continuarán los ensayos.

b) Cultivo de algas en aguas residuales con reactores del tipo HRAP optimizado (patente en proceso)

Las lagunas piloto de 32 m² se han alimentado durante prácticamente un año, obteniéndose unos valores de depuración de aguas residuales y de productividad de biomasa elevados de entre 60-70 t/ha/año, en paralelo con una eliminación de NH₄ superiores al 90% gracias a la actividad de las microalgas.

c) Cosechado de algas de bajo coste

Se ha desarrollado una planta compacta flexible que permite la comparación de distintas tecnologías de separación: flotación, decantación, filtración con y sin reactivos de coagulación/floculación.

Finalmente se ha optado por la



Fig. 7. Planta piloto de cultivo de algas

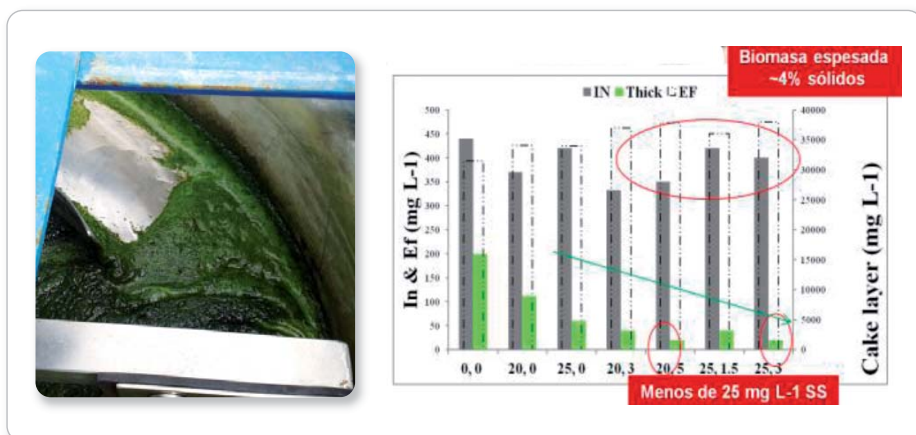


Fig. 8. Planta cosechada de algas con DAF

flotación por aire-disuelto, mediante tecnología DAF optimizada y en proceso de patente, que permite obtener valores de agua clarificada con menos de 25 mg/l, y con escaso consumo de reactivos y energía.

d) Producción de biogás mediante digestión anaerobia de algas

Se han desarrollado distintos ensayos de digestión anaerobia de algas a nivel de laboratorio. Por una parte, en la Universidad de Valladolid, a cargo del proyecto CENIT VIDA, se han realizado estudios de digestión anaerobia con numerosas variantes: condiciones termófilas y mesófilas, distintos pretratamientos: hidrólisis térmica, ultrasonidos, biológicos, codigestión con fangos de depuradoras, y distintas condiciones de conservación (alga liofilizada, congelada, fresca).

En los laboratorios de la Universidad de Southampton y los suministrados en Chiclana, se están realizando distintos estudios con algas frescas producidas en la planta piloto.

e) Valorización térmica de residuos de digestión y aporte de CO₂.

Los residuos procedentes de la digestión de algas serán sometidos a

un proceso de secado y combustión para su valorización térmica. Simultáneamente los gases de combustión serán inyectados en las lagunas de cultivos de algas, que actúan de esta forma como sumidero de CO₂. Esto es debido a que las algas necesitan el CO₂ para su actividad fotosintética. Parte del CO₂ es suminis-



Fig. 9. Digestores anaerobios de algas U. Southampton (Laboratorio de Chiclana)



Fig. 11. Secado solar Huber Baby

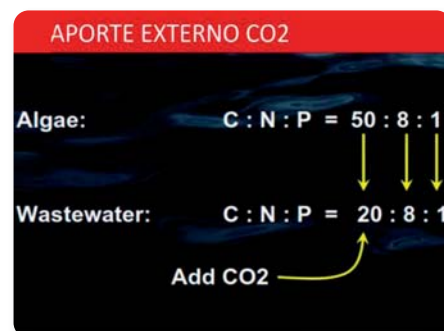


Fig. 10. Balance de C

trado por las bacterias del cultivo mixotrófico, pero como se exporta el biometano en forma de combustible, el proceso global es deficitario en carbono (C). El balance se presenta en la figura 10., por lo que es necesario esta fuente adicional de C.

El proceso de secado elegido ha sido un sistema solar, empezando con una planta piloto de la empresa Huber (fig. 11), consistente en un equipo tipo invernadero con voltaje de fangos y ventiladores de extracción y recirculación de aire. Los residuos secados hasta un 10-80% de sequedad serán suministrados a una caldera de biomasa, mezclados con biomasa agrícola (orujillo o huesos de aceituna).

CONCLUSIÓN

El balance provisional del cultivo de algas, utilizando un pretratamiento anaeróbico y los nutrientes del agua residual, muestra que en vez de consumir entre 0,2 y 0,4 kWh eléctricos/m³ para la oxigenación de aguas residuales, se podría producir una producción de biogás equivalente a 2 kWh térmicos/m³ – lo que permitiría generar una energía neta una vez descontado el auto-consumo de agitación y de separación, cerca de 0,4 kWh de electricidad. Alternativamente, una superficie de cultivo de 10 ha podría alimentar hasta 200 coches con biometano, objetivo que se prevé alcanzar en 2016.

EL RECICLAJE SIMPLE

La perspectiva del reciclaje eficiente

La velocidad y la flexibilidad son las claves para el éxito en el negocio del reciclaje. Por eso, los verdaderos profesionales confían en los especialistas en reciclaje de Terex® Fuchs. Una manipulación apropiada, la mayor potencia, elevadas capacidades de elevación a lo largo de todo el rango de trabajo, ergonomía, sencillez de operación en la cabina elevable verticalmente y una fiabilidad legendaria permiten afrontar cualquier reto! Nuestra razón de ser es cubrir sus necesidades. En Terex® Fuchs, podemos equipar su máquina de acuerdo a sus necesidades. www.terex-fuchs.com

The Terex® Fuchs programme:

- ▶ Máquinas de manipulación de 19 a 90 toneladas. De peso y alcance hasta 22 metros
- ▶ Soluciones completas ajustadas a sus propuestas específicas – cubrimos aplicaciones para chatarra, reciclaje, troncos y puertos
- ▶ Equipamiento especial: Equipamos su máquina de acuerdo a sus necesidades específicas



Biurrarena
SOCIEDAD COOPERATIVA

Donostia Ibilbidea, 28 20115 Astigarraga (Gipuzkoa)
Tel: 943554350 Fax: 943555360
info@biurrarena.com www.biurrarena.com

 **TEREX® | FUCHS**

WORKS FOR YOU.