

Estructura del trabajo

La estructura esquemática de la memoria del proyecto es la siguiente:

- *Introducción*
- *Objetivos*
- *Estado del arte:*
 - *Evolución histórica de la investigación sobre microalgas.*
 - *La biomasa algal (características, su papel en el tratamiento de aguas residuales, producción de energía, digestión anaeróbica y pretratamientos).*
- *Materiales y métodos:*
 - *Planta experimental de microalgas (HRAP) y cianobacterias (FBR).*
 - *Ensayo de digestión anaerobia.*
 - *Métodos analíticos.*
- *Resultados y discusión:*
 - *Selección de la concentración de reactivo químico.*
 - *Ensayo de aplicación de pretratamientos.*
 - *Determinación del potencial de biogás a partir de la digestión anaerobia.*
- *Conclusiones y líneas de futuro.*
- *Referencias.*

1. Introducción

La implementación de las microalgas en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en sistemas de tratamiento terciario es un recurso ampliamente estudiado en los últimos años. Mediante la actividad biológica de la biomasa algal se eliminan los nutrientes inorgánicos, como el nitrógeno o los fosfatos, para hacer frente a la posible eutrofización que puede generar el efluente de agua vertido en el medio. Por otra parte, la producción de biomasa algal puede ser utilizada para la generación de energía. Para mejorar la viabilidad económica y ambiental del proceso para el cultivo de microalgas, actualmente se está integrando la depuración de aguas en los sistemas con este fin, ya que favorece la producción de biomasa.

Se han estudiado diversas técnicas para convertir este tipo de biomasa en biocombustibles, especialmente la digestión anaeróbica es el proceso más aplicado gracias a su simplicidad. Su resultado es la generación de biogás, que puede ser utilizado en la propia estación depuradora para su funcionamiento. No obstante, las microalgas presentan un importante factor limitante en este proceso: la resistencia de su pared celular a ser degradada, lo cual reduce la producción final de biogás. Por este motivo, se están investigando varios pretratamientos y técnicas para mejorar su rentabilidad.

En esta línea de investigación se enmarca el presente trabajo, donde se plantea el empleo de pretratamientos y la digestión de microalgas y cianobacterias con fangos digeridos. Estos últimos tienen una característica inherente importante: la aportación de las bacterias necesarias para realizar el proceso de digestión anaeróbica. Así, se espera que las bacterias encargadas de este proceso, después de ser liberadas, ayuden a garantizar el aumento de la producción energética de las microalgas y las cianobacterias.

2. Objetivos

La hipótesis principal sobre la que trabaja este estudio es la mejora de la solubilización y la producción de metano de las microalgas y las cianobacterias, ambas con fangos digeridos los cuales harán de inóculo; gracias al efecto de los tratamientos previos aplicados a las digestiones de los dos sustratos.

Para poder evaluar la hipótesis planteada, el estudio presenta una serie de objetivos para hacer el análisis correspondiente:

- ✓ Analizar el efecto de los pretratamientos en las microalgas y cianobacterias mezcladas con los fangos digeridos, aplicando tanto el tratamiento térmico como el tratamiento alcalino-térmico. Además, se valorarán las posibles diferencias entre los dos sustratos empleados en la digestión.
- ✓ Estudiar las diferencias de las producciones de metano entre los sustratos y su relación con la solubilización del sustrato debido al uso de cada pretratamiento aplicado previo a la digestión anaeróbica.
- ✓ Comparar las producciones de metano entre digestiones con sustratos pretratados y sin pretratar individualmente.

3. Estado del arte

3.1. La biomasa algal: producción de energía y tratamiento de aguas

Tras años de investigación sobre las microalgas iniciada en los años 70 y con la crisis del petróleo del nuevo milenio, la cual produjo la consecuente subida de precios, se tomó realmente conciencia sobre buscar una alternativa a los combustibles convencionales. Por tanto, la investigación sobre las algas y su recuperación energética se reactivó, marcando la principal línea de investigación en este campo. Paralelamente al potencial de generación de energía identificado en las microalgas, hay otras razones por las que se han convertido en un sustrato interesante para la digestión anaeróbica. En los inicios de la digestión anaeróbica de biomasa, la fuente para la creación de biocombustibles eran plantas de cultivo, valiosos como fuente de alimentación. Consecuentemente, grandes extensiones de terreno aptas para el cultivo alimentario eran sustituidas por el cultivo de biomasa. Adicionalmente, esto suponía la utilización de fertilizantes, sujetos al aumento de precios del petróleo y de los que la disponibilidad de sus componentes era y es escasa.

Las microalgas pueden crecer abundante y fácilmente en lugares con la suficiente cantidad de nutrientes para su crecimiento, condición no muy restrictiva. Adicionalmente, no se necesitan grandes extensiones de terreno y se pueden utilizar aquellos que no son aptos para el cultivo alimentario, todo ello solucionando el derroche de estos y sus terrenos. Además, las microalgas tienen un gran potencial para generar biogás.

En la actualidad, teniendo en cuenta las dos principales razones expuestas sobre las microalgas, el tratamiento de aguas residuales es uno de los procesos idóneos para su utilización. Las microalgas pueden formar parte tanto de un tratamiento secundario como un tratamiento terciario eficiente y eficaz en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). Principalmente permiten la eliminación de los nutrientes causantes de la eutrofización, convirtiéndose así en un sustrato importante para esta finalidad. Así, el tratamiento de aguas residuales reúne las condiciones idóneas para el crecimiento de microalgas y la recuperación de nutrientes y energía.

Además, la digestión anaeróbica es considerada uno de los mejores métodos para la recuperación de estos nutrientes (*Wang et al., 2012*) para la posterior producción de biogás.

3.2. Pretratamientos

La resistencia de la pared celular de las microalgas ante la hidrólisis se ha considerado el principal problema para transformar el potencial de producción de biogás que tienen en producción real. Los pretratamientos actúan sobre las propiedades fisicoquímicas de las microalgas para hacer que los componentes de interés para las bacterias sean mucho más accesibles y fáciles de degradar. Hay una alta diversidad de pretratamientos posibles, que se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Pretratamientos térmicos
- Pretratamientos mecánicos.
- Pretratamientos químicos.
- Pretratamientos con microondas.

Siguiendo esta línea, en el presente trabajo se analiza el efecto de los pretratamientos térmico y termoquímico, este último realizado mediante la adición de dos compuestos químicos alcalinos y aplicando una temperatura elevada, esperando mejorar notablemente la producción y calidad del biogás producido en la digestión anaeróbica de las microalgas y las cianobacterias, ambas con fangos digeridos. Ambos pretratamientos se realizarán a 75 °C de temperatura durante 24 horas, temperatura y tiempo acordes para romper la pared celular de forma notable.

4. Planta experimental de fuente de Microalgas y Cianobacterias

4.1. Lagunas de alta carga (HRAP)

Las HRAP son tanques abiertos completamente oxigenados expuestos directamente a la luz solar. Se caracterizan por una profundidad baja y por un régimen turbulento que garantiza la exposición a la luz de la mayor cantidad de microalgas (*Park et al., 2010*). Unas palas rotatorias proporcionan esta turbulencia por medio de la generación de agitación.

La biomasa de las HRAP está compuesta por bacterias heterotróficas aeróbicas y microalgas. Estas últimas, encargadas de la fotosíntesis, producen oxígeno utilizado por las bacterias aeróbicas, responsables de la degradación de los componentes orgánicos disueltos en el agua para transformarlos en componentes orgánicos en partículas. La particularización de la materia orgánica permite su extracción de las aguas, dando lugar al tratamiento secundario. El resultado de la actividad biológica en las lagunas es una simbiosis entre bacterias y microalgas para conseguir tanto la limpieza de las aguas como la producción de biomasa. La simbiosis tendrá lugar bajo el ratio correcto entre bacterias y microalgas, ya que ambas poblaciones entrarán en competencia por los nutrientes, impidiendo que una de ellas desarrolle su función si se le limita el acceso a su fuente de alimentación (*Kumar et al., 2015*).

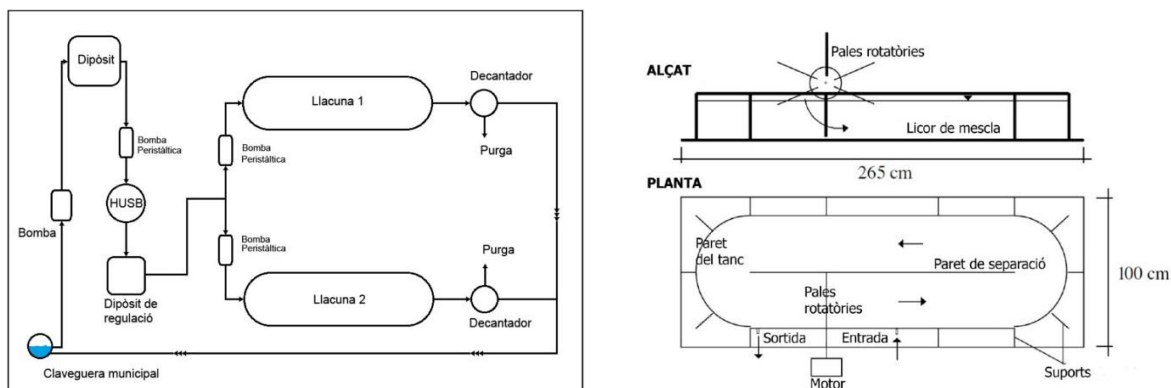


Ilustración 1. Esquemas de las lagunas de alta carga (HRAP).

4.2. Fotobiorreactores (FBR)

Los fotobiorreactores son tanques tubulares que mejoran la eficiencia con que la energía solar es transformada en biomasa, pero sus costes asociados, como el consumo de agua y energía, son elevados. Debido a su alta capacidad para crear cultivos selectivos y su buen mantenimiento, es un sistema muy recomendado para investigaciones. Este reactor se compone de diversos componentes que tienen diversas funciones, desde proporcionar la luz necesaria para su posible fotosíntesis o favorecer el llenado y vaciado del mismo.

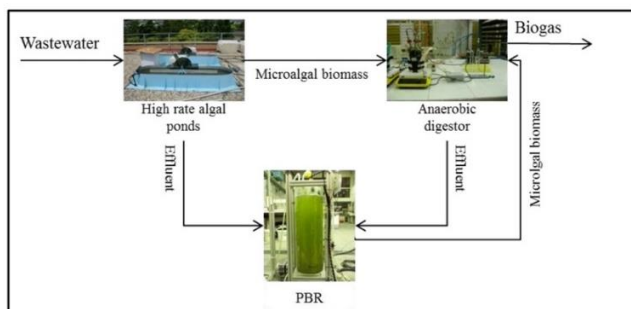


Ilustración 2. Esquema de funcionamiento del fotobiorreactor (FBR).

Comparando ambos sistemas se concluye que las HRAP tienen un diseño y una construcción más simple y un coste de operación y limpieza inferiores. Por estos motivos las HRAP son más utilizadas (Sutherland et al., 2014; Kumar et al., 2015).

5. Resultados y discusión

▪ Caracterización de los sustratos

Primero de todo se caracterizan los dos sustratos empleados en el presente estudio, mostrando su composición en lípidos, carbohidratos y proteínas en la ilustración a continuación:

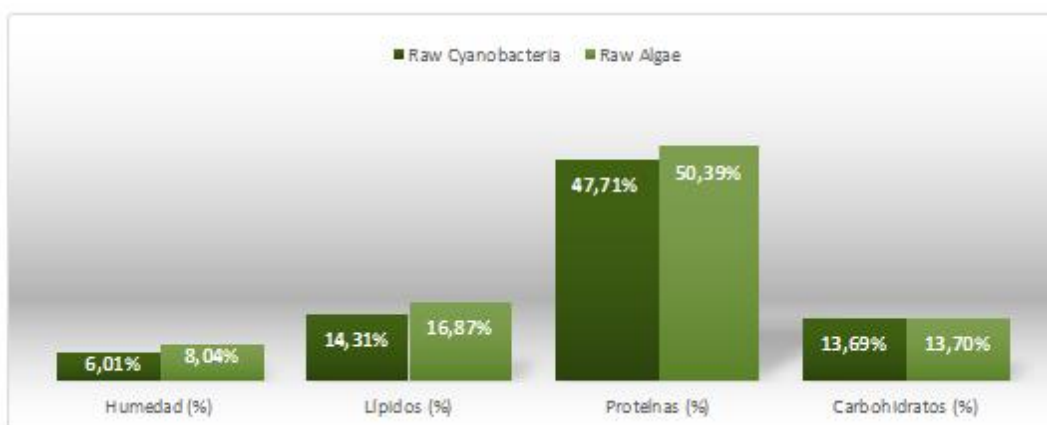


Ilustración 3. Caracterización de la composición de las microalgas y las cianobacterias.

Tal y como se muestra en la figura anterior, la composición de ambos sustratos es bastante similar. Existen pequeñas diferencias que influirán en la producción y composición del biogás obtenido en las digestiones. Se debe destacar que los elementos restantes (hasta 100%) se considera materia inorgánica presente en los sustratos y que por tanto no influyen en la digestión anaeróbica de los mismos.

▪ **Determinación de la cantidad de reactivos CaO y NaOH**

A continuación se determina la cantidad de los compuestos químicos Cal y Sosa que se van a aplicar durante el ensayo sobre los sustratos y que conforman el tratamiento alcalino-térmico. Primero de todo, se realizó un análisis de pH para observar cómo variaba este en función de la proporción de cada componente químico en el sustrato.

Tras este ensayo, se decide realizar los pretratamientos con ambos reactivos químicos a 4% y 10% de concentración en peso. Esto se realiza así para poder realizar una comparación más precisa ya que el comportamiento de la variación del pH en las muestras es bastante distinto en ambos casos.

▪ **Ensayo de aplicación de los pretratamientos térmico y termoquímico**

A continuación, con el fin de entender cuál ha sido el efecto de los pretratamientos una vez aplicados, en el presente apartado se procede a analizar la Demanda Química de Oxígeno soluble (DQOs) y total (DQO), los sólidos volátiles (SV), los sólidos totales (ST), la concentración de carbohidratos (CH) y la concentración de nitrógeno (N) presentes tanto en las muestras pretratadas como en una muestra sin pretratar o control.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que las cianobacterias deberían ser un sustrato más adecuado para realizar la digestión anaerobia ya que presentan una mayor cantidad de materia orgánica oxidable (DQO) y una menor pérdida de la misma al aplicar los pretratamientos. Por otro lado, las microalgas presentan una mayor relación de materia orgánica con respecto a la materia orgánica total (SV/ST). A su vez la cantidad de nitrógeno total y de carbohidratos también es mayor en el caso de las cianobacterias en comparación con las microalgas. No obstante tal y como se ha descrito anteriormente esta mayor concentración de nitrógeno en la muestra puede provocar problemas de inhibición, sobre todo en las primeras fases de la digestión anaerobia como es la hidrólisis.

▪ **Determinación del potencial de biogás a partir de la digestión anaerobia**

Para poder contrastar los valores obtenidos con otros experimentos, se han elaborado las curvas de la tasa de producción acumulada de metano, donde los valores de producción se expresan según la cantidad de sustrato que se ha digerido y que se ha pretratado (gramos de SV). De esta manera, se han obtenido unos valores de referencia comparables con otros, dando una idea del potencial de producción de metano en función del pretratamiento aplicado sobre el sustrato a digerir.

Referente a las microalgas, los valores máximos de producción obtenidos corresponden a los pretratamientos más agresivos (Cal y Sosa al 10%) mientras que los valores mínimos de producción se obtienen en el caso del control. De esta forma el rango de valores para la producción de metano va desde 258 mL CH₄ / g SV correspondiente al pretratamiento con Sosa al 10% hasta 148 mL CH₄ / g SV correspondientes al control de microalgas.

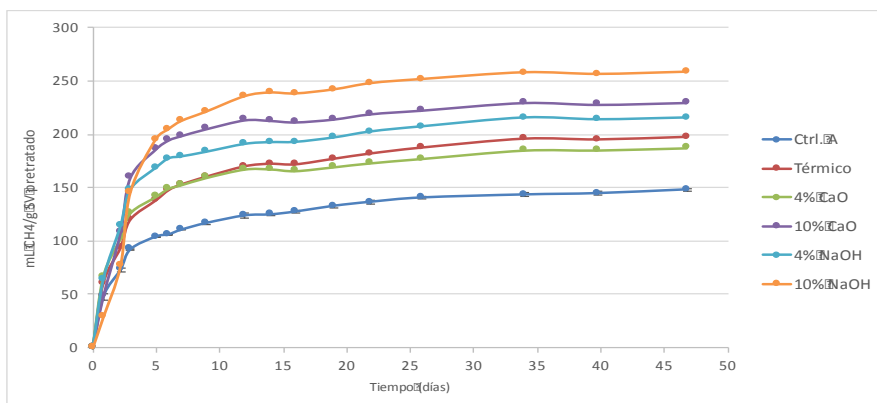


Ilustración 4. Resultados de la producción de metano en mg CH₄/g SV de sustrato pretratado de microalgas.

En el caso de las cianobacterias se observan grandes variaciones con respecto a las microalgas y se observa a su vez que la producción de metano por SV de sustrato es notablemente inferior ya que el valor de producción máxima de las microalgas estaba en torno a 250 mL CH₄/g SV aplicando Sosa al 10% y en este caso se obtienen valores máximos de producción de 161 mL CH₄/g SV para el mismo reactivo químico.

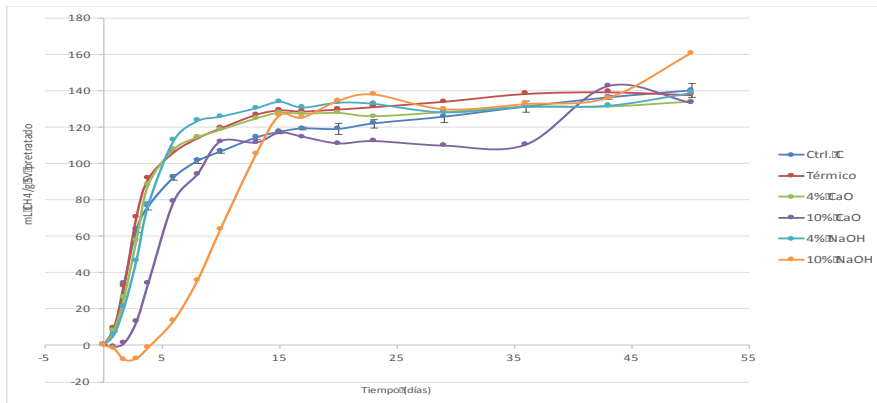


Ilustración 5. Resultados de la producción de metano en mg CH₄/g SV de sustrato pretratado de cianobacterias.

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de realizar un pretratamiento. Tanto las cianobacterias como las microalgas pretratadas aumentan su producción de biogás respecto a sus homólogos no pretratados. A su vez se observa que las microalgas constituyen un sustrato más adecuado para la realización de la digestión anaerobia y para la aplicación de pretratamientos previos a la misma debido a que se obtienen unos resultados más estables y coherentes y los valores de producción de metano obtenidos son notablemente superiores en todos los casos estudiados.

▪ **Determinación del potencial de biogás a partir de la digestión anaerobia**

Conociendo los problemas de inhibición debido a las propiedades inherentes de las cianobacterias, se concluye que el sustrato más adecuado para la realización del proceso de digestión anaerobia son las microalgas.

Para estudiar la relación entre el grado de solubilización del sustrato a digerir y su potencial de producción de metano, se han recogido los datos de incremento de solubilización de cada muestra y las tasas de producción de metano de cada pretratamiento más el control y se ha elaborado el gráfico correspondiente.

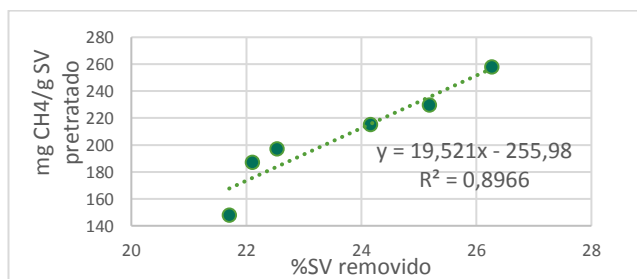


Ilustración 6. Resultados de la producción de metano en mg CH₄/g SV de sustrato pretratado en función de la materia orgánica degradada (% SV removido).

Como se puede observar en las figuras anteriores, la producción de metano mostró una correlación lineal con el grado de pérdida de la materia orgánica: cuanto mayor es la degradabilidad de la biomasa, mayor será la producción de metano. Esto significa, tal y como se explicó anteriormente, que la agresividad del pretratamiento influye notablemente en la solubilización de la materia orgánica y en la producción de metano (mL CH₄ / g SV). Por tanto, los valores más elevados corresponden con los pretratamientos de Sosa y Cal al 10% seguidos de Sosa y Cal al 4% para finalizar con el pretratamiento térmico y, por último, el control.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de realizar un pretratamiento. Tanto en algunos casos de las cianobacterias como las microalgas pretratadas aumentan su producción de biogás respecto a sus homólogos no pretatados.

El tratamiento térmico aplicado no ha producido una buna solubilización de las microalgas. Ante su efecto insignificante sobre la mejora de la solubilización o la producción de metano de las microalgas y cianobacterias no existe una justificación para aplicar este pretratamiento.

Se ha observado que el pretratamiento con el que mejores resultados se han obtenido en cuanto a la producción de biogás es el de Sosa 10% aplicado sobre microalgas como sustrato.

Cabe destacar que debido a las características propias de los sustratos, el ensayo en discontinuo de la digestión anaerobia para producir biogás es más efectivo y productivo en el caso de las microalgas que en el caso de las cianobacterias. Esto puede ser debido al elevado pH en el caso de las segundas antes de comenzar el ensayo o a la elevada concentración de carbohidratos y nitrógeno, lo cual produjo un importante grado de inhibición sobre todo en las etapas iniciales de la digestión.

Reflexión final

Como resumen final, el estudio ha llevado a cabo el análisis de varios pretratamientos entre microalgas y cianobacterias con fangos digeridos aplicando 75 °C de temperatura y dos compuestos químicos: Cal y Sosa, en dos concentraciones diferentes (4% y 10%) para favorecer el proceso de digestión anaerobia y aumentar la producción de biogás y su calidad, incrementando la proporción de metano en el mismo.

Inicialmente se ha llevado a cabo los pretratamientos para favorecer la solubilización de la materia orgánica. Seguidamente, se ha ensayado en discontinuo la digestión anaeróbica para valorar la digestión de los dos sustratos: microalgas y cianobacterias, ambas con fangos digeridos.

Los resultados obtenidos indican que las microalgas se presentan como un buen sustrato para realizar el proceso de digestión anaeróbica y que la agresividad del pretratamiento aplicado sobre los sustratos influye notablemente en la producción de metano, siendo el pretratamiento con Sosa al 10 % el que mejores resultados obtiene en el presente estudio, ofreciendo una producción máxima de metano de 250 mL CH₄/g SV de sustrato, en este caso microalgas.

Por lo tanto, y a la vista de los resultados obtenidos, la aplicación de estos pretratamientos sobre el sustrato microalgal y el uso de fangos digeridos generados durante el proceso de purificación de aguas residuales se presentan como una buena opción para la producción de energía en las estaciones EDAR.