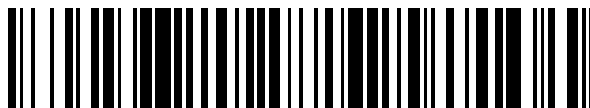


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 054**

21 Número de solicitud: 201531942

51 Int. Cl.:

C12N 1/12 (2006.01)

C12N 1/02 (2006.01)

C12M 3/06 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

30.12.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.06.2017

71 Solicitantes:

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (50.0%)

Avda. Blasco Ibañez, 13

46010 Valencia ES y

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

(50.0%)

72 Inventor/es:

BOUZAS BLANCO, Alberto;

VIRUELA NAVARRO, Alexandre;

RUIZ MARTÍNEZ, Ana;

ROBLES MARTÍNEZ, Ángel;

SECO TORRECILLAS, Aurora;

DURÁN PINZÓN, Freddy;

FERRER POLO, José;

RIBES BERTOMEU, Josep;

RUANO GARCÍA, María Victoria y

GÓMEZ GIL, Tao Antonio

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

54 Título: **MÉTODOS Y SISTEMAS PARA EL CULTIVO Y PRE-COSECHADO DE BIOMASA ALGAL**

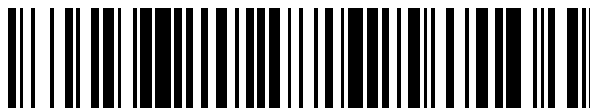
ES 2 621 054 A1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 054**

21 Número de solicitud: 201531942

57 Resumen:

Se describe un método para el cultivo y pre-cosechado de biomasa algal que comprende las siguientes etapas:

- a) introducir en un fotobioreactor un medio de cultivo que forma una biomasa algal;
- b) promover el crecimiento de la biomasa;
- c) separar una fracción del cultivo que contiene biomasa y recircularla a través de unos primeros medios de filtración en continuo, obteniéndose una fracción de cultivo permeada y una fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada;
- d) separar una parte de la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada, y
- e) hacer pasar la totalidad de la parte de la fracción del cultivo de rechazo pre-concentrada resultante de la etapa d) a través de unos segundos medios de filtración.

Se describe también un sistema para llevar a cabo el método indicado, que comprende:

- un fotobioreactor (2);
- unos primeros medios de filtración en continuo (3); y
- unos segundos medios de filtración (4).

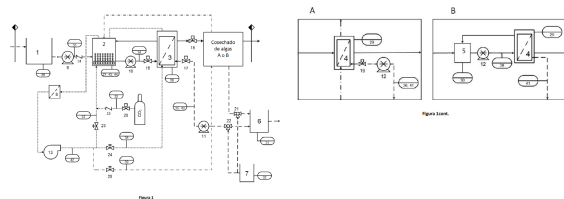


Figura 1

Figura 2

DESCRIPCIÓN

Métodos y sistemas para el cultivo y pre-cosechado de biomasa algal

Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un método para el cultivo de microalgas y el pre-cosechado de las mismas, así como a un sistema adecuado para llevar a cabo el citado método.

Antecedentes de la Invención

La disminución de las reservas petrolíferas y la contaminación causada por la quema de combustibles fósiles plantea el reto de cubrir la creciente demanda de energía de forma segura y sostenible, de modo que las nuevas fuentes de recursos puedan reemplazar a las actualmente existentes.

El principal objetivo del desarrollo sostenible es el desarrollo de proyectos viables que permitan la reconciliación de aspectos económicos, sociales y ambientales, basándose en la existencia de unos recursos limitados y susceptibles de agotarse, y teniendo en cuenta que la creciente actividad industrial genera graves problemas medioambientales que pueden llegar a ser irreversibles.

Una alternativa prometedora a los combustibles fósiles convencionales son los biocombustibles, que son combustibles potencialmente renovables que se pueden utilizar para generar calor y electricidad, dado su potencial para mitigar la mayoría de los problemas medioambientales asociados al sector energético, tales como, por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero.

En los últimos años, uno de los métodos de obtención de biocombustibles que está atrayendo una gran atención es a través del cultivo y cosechado de microalgas. Una vez cultivadas y cosechadas, mediante una serie de procesos químicos es posible convertir la biomasa obtenida en biocombustibles de una manera limpia, reproducible y sostenible. Una de las ventajas de obtención de combustibles a través del cultivo de microalgas es el hecho de que se requeriría tan solo un 1% del área requerida para tierras de cultivo convencionales. En concreto, se calcula que la producción de microalgas estimada en un área de 121.000 hectáreas para el caso de estanques abiertos o de 58.000 hectáreas para fotobioreactores cerrados permitiría alcanzar la demanda teórica anual de gasolina ("Biodiesel from microalgae", Yusuf Chisti, Biotechnology Advances, páginas 294-306, 2007). Por otro lado, la gran capacidad de las algas para combatir el efecto invernadero (p. ej captación de CO₂ atmosférico y eliminación de CO₂ de corrientes gaseosas industriales), para el tratamiento de aguas residuales (recuperación de nutrientes), para la obtención de productos de valor añadido, tales como productos destinados a la nutrición y a la industria farmacéutica, y como

fuentes alternativas de energía, han hecho que el cultivo de las mismas acapare un interés creciente (“Biodiesel from microalgae”, Yusuf Chisti, *Biotechnology Advances*, páginas 294-306, 2007).

Las algas son consideradas una de las formas de vida más antiguas de la naturaleza. Existen algas procariotas y eucariotas, y pueden ser autótrofas o heterótrofas. Son predominantemente organismos acuáticos fotosintéticos, los cuales representan hasta el 50% de los procesos fotosintéticos que se llevan a cabo en la tierra. En lo que respecta a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, de los tres tipos de mecanismos de fijación de CO₂ conocidos en organismos fotosintéticos, dos de ellos son realizados por el género algal (Moroney and Ynalvez, “Algal Photosynthesis” in *Encyclopedia of Life Sciences*, 2009). Además, diferentes estudios inciden en que el rendimiento de fijación de CO₂ de la biomasa algal es dos veces superior al rendimiento de fijación de las plantas terrestres (Wang et al., “CO₂ Bio-mitigation Using Microalgae” *Appl. Microbiol. Biotechnol* 79, 707-718, 2008). Por lo tanto, las algas juegan un papel decisivo en el ciclo global de carbono y, por tanto, en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero mediante la captación de CO₂ del medio ambiente. Además, su capacidad para convertir eficazmente la energía solar en energía química hace que constituyan una prometedora fuente de biocombustibles.

En los sistemas conocidos hasta la fecha, el cultivo de las microalgas se lleva a cabo principalmente o bien en estanques abiertos, o en fotobioreactores cerrados. Las principales ventajas de los estanques abiertos son su fácil operación y bajo coste de inversión y operación, pero son muy sensibles a la contaminación y tienen baja capacidad de automatización. Los fotobioreactores, por el contrario, presentan costes de inversión elevados, pero resuelven los problemas asociados a la contaminación y al control automático de los mismos (Bilad et al., “Membrane Technology in Microalgae Cultivation and Harvesting: A review, *Biotechnology advances* 32, 12783-13000, 2014).

De manera general, las microalgas se introducen en los fotobioreactores en un medio de cultivo adecuado, donde se reproducen durante un tiempo determinado de modo que la biomasa algal experimenta un crecimiento sustancial. A partir del licor mezcla que se genera, la biomasa es posteriormente concentrada y finalmente sometida a secado, extracción u otros métodos de tratamiento, antes de ser procesada mediante los procesos químicos necesarios para convertirla en biocombustibles o para otros fines.

El cosechado de las microalgas se puede llevar a cabo mediante diversas técnicas, como centrifugación, coagulación-floculación, sedimentación, flotación, electroforesis y filtración, siendo la filtración la principal alternativa para la retención, concentración y recolección de microalgas para operaciones en continuo y a gran escala (Bilad et al., “Membrane Technology in Microalgae Cultivation and Harvesting: A review, *Biotechnology advances*, 2014, 32, 12783-13000), ya que no

presenta los inconvenientes observados en el resto de técnicas mencionadas, tales como, elevado coste de operación, elevado consumo energético, daño en la pared celular de las algas y contaminación, entre otros.

Sin embargo, a pesar del gran interés y del desarrollo del cultivo de microalgas, existen aún
5 diversos desafíos que han de superarse para que el cultivo de microalgas constituya una tecnología viable como fuente de energía y de productos a gran escala. Estos desafíos son, entre otros: la mejora de la productividad de biomasa algal y del proceso de cosechado, y la propuesta de una tecnología integrada, detallada (instrumentación, valores de operación orientativos) y probada que facilite su implementación a escala industrial.

10 En Bilad et al., "Coupled cultivation and pre-harvesting of microalgae in a membrane photobioreactor (MPBR)" *Bioresource Technology*, 2014, 150, 410-417 se describe la eficacia de un fotobioreactor de membrana en el cultivo y pre-cosechado de microalgas, y se describe también cómo se produce el desacoplamiento de los tiempos de residencia hidráulico (TRH) y de la biomasa (TRB). No obstante,
15 para llevar a cabo el desacoplamiento de los tiempos de residencia hidráulico (TRH) y de la biomasa (TRB) y el pre-cosechado se utiliza una única unidad, lo cual no permite optimizar la producción y el cosechado de biomasa algal y el coste asociado al proceso.

También, en Gao et al., "A novel algal biofilm membrane photobioreactor for attached microalgae growth and nutrients", *Bioresource Technology*, 2015, 179, 8-12 se recogen las ventajas del uso de
20 módulos de membrana en fotobioreactores y se indica la posibilidad de controlar de forma independiente el tiempo de retención de sólidos y el tiempo de retención hidráulico (TRH) durante el intervalo de cultivo, de modo que la concentración de biomasa algal es independiente de la carga hidráulica del reactor. No obstante, tanto el pre-cosechado como el desacoplamiento de los tiempos de residencia hidráulico (TRH) y de la biomasa (TRB) se llevan a cabo en una única unidad, lo cual no permite optimizar la producción y el cosechado de biomasa algal y el coste asociado al proceso.

25 Finalmente, en Bilad et al., "Membrane Technology in Microalgae Cultivation and Harvesting: A review, *Biotechnology advances*, 2014, 32, 12783-13000 se describe nuevamente la combinación de un fotobioreactor con un sistema de filtración único. Sin embargo, con el objeto de optimizar el proceso de pre-cosechado, en estos sistemas se eleva la concentración en materia seca de la biomasa producida, lo cual implica que la biomasa debe permanecer en el sistema de filtración
30 (zona exenta de luz) el tiempo suficiente para que se realice dicho proceso. Esto ocasiona que su actividad se vea afectada negativamente ya que, al no recibir luz durante un periodo significativo, no hay fotosíntesis y por tanto no hay crecimiento de la biomasa, lo cual conduce a un sistema en el que el rendimiento y la eficacia del mismo se ven seriamente comprometidos.

Sería deseable, por tanto, encontrar un sistema que supere las deficiencias de los sistemas
35 conocidos hasta la fecha y permita optimizar de forma conjunta y efectiva el proceso de cultivo y

pre-cosechado de la biomasa algal, de manera que se consiga un crecimiento sustancial en el rendimiento del sistema.

Sumario de la Invención

El problema a ser resuelto en la presente invención es, por tanto, proporcionar métodos y sistemas para el cultivo y cosechado de biomasa algal que superen las desventajas de los métodos conocidos, y en particular que incremente notablemente el rendimiento del sistema frente a los sistemas actuales.

La solución se basa en que los presentes inventores han identificado que es posible conseguir estos objetivos mediante las siguientes dos estrategias:

- a) minimizando el tiempo de permanencia de la biomasa algal en zonas exentas de luz; y
- b) estableciendo una pareja de valores óptima entre el tiempo de residencia hidráulico (TRH) y el tiempo de residencia de la biomasa (TRB) que permita maximizar el uso de la energía solar y, por tanto, el rendimiento del sistema en términos de producción de biomasa.

De esta manera se consigue desacoplar de una manera eficaz los tiempos de residencia hidráulico (TRH) y de la biomasa (TRB), incrementando notablemente el rendimiento del sistema. Además, al establecer la concentración óptima de biomasa que permanece en el sistema, no sólo se maximiza el rendimiento del proceso, sino que también se minimiza el coste asociado al mismo, lo que supone una ventaja adicional.

Estos objetivos se consiguen en la práctica a través de un método de cosechado de la biomasa en el cual, de manera general, en una primera etapa de filtración, la biomasa es pre-concentrada con el objetivo de favorecer el paso posterior de pre-cosechado, manteniendo siempre el mínimo tiempo de permanencia de la biomasa en esta etapa, que transcurre en condiciones de ausencia de luz, que permita maximizar la productividad del conjunto. En una segunda etapa, la biomasa pre-concentrada se hace pasar por una segunda unidad de filtración durante el tiempo necesario para incrementar su contenido en materia seca hasta el nivel deseado. La biomasa introducida en esta segunda etapa ya no es recirculada al sistema de cultivo, por lo que el tiempo de permanencia de la misma en el tanque de membranas tan sólo depende del grado de concentración que se desee lograr.

Por tanto, en un primer aspecto la invención se dirige a un método de cultivo y cosechado de algas que comprende las siguientes etapas:

- a) introducir en un fotobioreactor (2) un medio de cultivo que contiene al menos una especie de microalga capaz de realizar fotosíntesis, formando una biomasa algal;

b) promover el crecimiento de la biomasa en el fotobioreactor (2) mediante el aporte al cultivo de luz y de una corriente de gas que contiene CO₂;

c) separar una fracción del cultivo que contiene biomasa y recircularla a través de unos primeros medios de filtración en continuo (3), obteniéndose:

- una fracción de cultivo permeada, sustancialmente exenta de biomasa, haciéndola permanecer en el subsistema consistente en el fotobioreactor más los primeros medios de filtración en continuo (3) durante un tiempo medio que es el tiempo de retención hidráulico (TRH), y

- una fracción de cultivo de rechazo que se recircula de nuevo por los primeros medios de filtración en continuo (3) hasta que alcance el grado de pre-concentración de biomasa deseado,

d) separar una parte de la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada haciéndola permanecer en el subsistema consistente en el fotobioreactor más los primeros medios de filtración en continuo (3) durante un tiempo medio que es el tiempo de retención de la biomasa (TRB), y a continuación,

e) hacer pasar la totalidad de la parte de la fracción del cultivo de rechazo pre-concentrada resultante de la etapa d) a través de unos segundos medios de filtración (4) durante el tiempo necesario hasta alcanzar el grado de concentración de biomasa deseado,

caracterizado porque el tiempo TRH se encuentra en el intervalo de 0,5 a 6 días y el tiempo TRB se encuentra en el intervalo de 1 a 8 días, medidos a una temperatura entre 10 y 35 °C y a una intensidad lumínica diaria de 50 a 500 µE/m²/s.

En una realización preferida, el TRH se encuentra en el intervalo de 2 a 3,5 días, y el TRB se encuentra en el intervalo de 2 a 4,5 días.

En una realización preferida, la etapa c) transcurre hasta que la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada alcanza una concentración de 0,1% a 0,2% en peso de materia seca.

En una realización preferida la etapa e) transcurre hasta que la parte de la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada alcanza una concentración de 1% a 2% en peso de materia seca.

En un segundo aspecto, la invención se dirige a un sistema para llevar a cabo el método indicado. Dicho sistema comprende los siguientes elementos:

a) Un fotobioreactor (2) destinado a llevar a cabo el cultivo y crecimiento de la biomasa algal;

- b) Unos primeros medios de filtración en continuo (3) destinados a pre-concentrar al menos una parte del cultivo de biomasa algal contenido en el fotobiorreactor (2); y
- c) Unos segundos medios de filtración (4) para concentrar adicionalmente al menos una parte de la biomasa algal pre-concentrada en la etapa anterior.

5 Por tanto, en la presente invención tanto los primeros como los segundos medios de filtración se encuentran contenidos en la tecnología de tratamiento propuesta que comprende principalmente el fotobiorreactor y las unidades de filtración. Esto supone una diferencia sustancial con respecto a lo descrito en la técnica anterior y en particular con lo descrito en Bilad, ya que en este documento, la unidad que contiene el fotobiorreactor comprende una única etapa de filtración, mientras que las
10 segundas y posteriores posibles etapas de cosechado descritas en Bilad son externas, y pueden llevarse a cabo utilizando cualquiera de la técnicas utilizadas tradicionalmente para este fin, y por tanto el sistema adolece de los defectos discutidos más arriba. Además, lo descrito en Bilad sólo propone posibles esquemas de tratamiento, pero no especifica y detalla la instrumentación y aspectos técnicos de la tecnología necesarios para su implementación a escala industrial.

15 **Breve descripción de la figura**

En la Figura 1 muestra un esquema de bloques que representa una realización de la invención con las etapas del método de la invención, donde se pueden apreciar las siguientes partes:

- 1. Tanque de regulación.
- 2. Fotobiorreactores.
- 20 3. Tanques de membrana de pre-concentrado.
- 4. Tanques de membrana de pre-cosechado de algas.
- 5. Tanque de mezcla.
- 6. Tanque CIP.
- 7. Tanque CIP para contralavado potenciado químicamente.
- 25 8. Trampa de espumas/deshumidificador.
- 9-12. Bombas (alimentación, recirculación, filtración).
- 13. Grupo de soplantes.
- 14-15. Válvulas antirretorno.
- 16-20. Electroválvulas T/N.

21-22. Electroválvulas 3 vías.

23-25. Electroválvulas de regulación.

26-32. Sensores de nivel.

33-36. Caudalímetros.

5 37-39. Caudalímetros de gas.

40-41. Sensores de presión transmembrana.

42. Sensor de presión de gas.

43. Sensor de pH/temperatura.

44. Sensor de luz.

10 En esta figura, las líneas discontinuas representan corrientes de agua sin presencia de microalgas: agua afluyente y permeado. Las líneas continuas representan corrientes de agua con contenido en microalgas: cultivo de microalgas y algas concentradas. Las líneas de puntos representan corrientes gaseosas. Las líneas discontinuas raya-punto corresponden a elementos necesarios para la opción A y no necesarios para la opción B"

15

En la Figura 1 cont. se presentan las alternativas que muestran las membranas. La modalidad A se refiere a una membrana sumergida. La modalidad B se refiere a un filtro de membrana de flujo tangencial.

20 **Definiciones**

En la presente memoria descriptiva, por microalga se entiende que quedan incluidas todo tipo de algas procariotas y eucariotas o autótrofas, con la condición de que sean capaces de realizar la fotosíntesis. Las microalgas o Chlorophyta (nombre científico) al ser de los primeros organismos que existieron en la Tierra se podría pensar que son organismos básicos; sin embargo, estas

25 microalgas son organismos unicelulares anucleados y autótrofos capaces de realizar fotosíntesis en condiciones de efecto invernadero extremas (altas concentraciones de metano y CO₂ en la atmósfera). En particular, los géneros y especies de microalgas utilizables de manera preferible en la presente invención son Scenedesmus, Chlorella y Diatomeas, si bien en general pueden ser utilizables todas aquellas especies específicas del subproducto final deseado o aquellas que se

30 generen por las condiciones ambientales (principalmente temperatura, luz y características agua afluyente al sistema).

En la presente memoria descriptiva, la materia que traspasa las membranas de filtración, y por tanto que resulta ser filtrada, es lo que se denomina “permeado”. Por otro lado, la materia que no traspasa las membranas de filtración y que por tanto no resulta ser filtrada es lo que se denomina “rechazo”.

5 En la presente memoria descriptiva, por “tiempo de residencia (o retención) hidráulico” o TRH se entiende al tiempo medio que la fracción de cultivo extraída del sistema como permeado (agua sustancialmente exenta de sólidos) en los primeros medios de filtración permanece en el subsistema compuesto por el fotobioreactor más los primeros medios de filtración.

10 Igualmente, en la presente memoria descriptiva se entiende por “tiempo de residencia (o de retención) de la biomasa” o “TRB” al tiempo medio que la fracción de biomasa algal pre-concentrada de rechazo resultante del rechazo tras el filtrado en los primeros medios de filtración permanece en el subsistema compuesto por el fotobioreactor más los primeros medios de filtración.

Descripción detallada de la invención

Hasta el momento, los sistemas conocidos proponen la integración de una etapa de filtración y de un fotobioreactor, en lo que se conoce como fotobioreactor de membranas MPBR, del inglés “Membrane PhotoBioReactor” (Bilad et al., “Membrane Technology in Microalgae Cultivation and Harvesting: A review, Biotechnology advances, 2014, 32, 12783-13000). Debido a que el uso de la luz es un aspecto esencial para el cultivo de microalgas, el espesor/profundidad de los fotobioreactores no suele superar los 20-30 cm. Estas dimensiones obligan a la instalación de los sistemas de filtración en tanques de membranas externos. Dichos tanques de membranas son generalmente tanques opacos, por los cuales se recircula de forma ininterrumpida un volumen de cultivo determinado, que depende del caudal de permeado. Por lo tanto, la biomasa permanece en una zona exenta de luz un tiempo determinado para alcanzar la concentración deseada para el pre-cosechado de la misma. Este tiempo en el que las microalgas se encuentran en condiciones de ausencia de luz ejerce un efecto perjudicial sobre la productividad global del sistema MBPR. Es decir, la productividad de biomasa algal se ve reducida debido a la exposición de la biomasa a una zona exenta de luz durante un tiempo prolongado. Así, por ejemplo, para concentrar un cultivo de algas desde una concentración en materia seca de 0,05% hasta una concentración de 0,5% (i.e. un factor de concentración de 10 veces), se requiere un tiempo medio de permanencia de la biomasa en el tanque de membranas, obtenido mediante la aplicación de un balance de masa al tanque de membranas, de aproximadamente 5 horas, trabajando con un flujo transmembrana de aproximadamente 30 L/h por m² de membrana, y manteniendo una metodología estándar de operación de las membranas basada en etapas sucesivas de filtración, relajación y contralavado. A partir de aproximadamente 5 horas, se alcanza el valor estacionario, es decir, el término de acumulación de dicho balance se hace cero.

Al tratarse de tanques de filtración en continuo, y con el objetivo de desacoplar el tiempo de residencia de la biomasa (TRB) y el tiempo de residencia hidráulico (TRH), no toda la biomasa que entra a dicha unidad va a ser pre-cosechada, sino que parte de ésta regresa al sistema de cultivo. Por tanto, la productividad del sistema se ve afectada negativamente. En ensayos experimentales
5 llevados a cabo por los inventores se ha comprobado que, para las condiciones de operación y diseño empleadas en la planta, la producción de biomasa disminuye en más de un 40% al aumentar el tiempo de permanencia de la biomasa en el tanque de membranas desde un 13 hasta un 27% del tiempo de ciclo total, mientras que la productividad disminuye en un 56% cuando dicho tiempo se aumenta desde un 3 hasta un 10%.

Así, los inventores han encontrado que esta desventaja puede ser superada introduciendo una primera etapa de filtración en la que la fracción de la biomasa que va a ser reintroducida en el fotobioreactor pase el tiempo mínimo sin luz necesario para no afectar a la productividad. A efectos prácticos, esta primera etapa permite operar con el tiempo de retención del agua deseado, desacoplándose así el tiempo de retención del agua, TRH, del tiempo de retención de la biomasa, TRB, sin que existan pérdidas de biomasa algal con el efluente. De esta manera, mediante esta
15 primera etapa, se controla de forma efectiva el tiempo de retención del agua, TRH, y más que una concentración de la biomasa, lo que se logra es una pre-concentración de la misma y una optimización del fotobioreactor. En la segunda etapa de filtración se lleva a cabo el pre-cosechado de la biomasa algal pre-concentrada en la etapa de filtración anterior que es retirada del sistema para establecer el tiempo de retención de la biomasa TRB. La biomasa que es incorporada a esta
20 segunda etapa de filtración es aquella y solo aquella que va a ser pre-cosechada. El tiempo que permanece la biomasa en esta unidad no perjudica al crecimiento de la misma ya que no será reintroducida al fotobioreactor. En esta etapa, la biomasa algal se concentra hasta alcanzar la concentración deseada. El grado de concentración a alcanzar depende del tiempo que dicha
25 biomasa permanezca en esta segunda etapa, sin que, como se ha indicado previamente, dicho tiempo afecte a la productividad del proceso como consecuencia del efecto perjudicial que suponen las zonas ausentes de luz en sistemas de este tipo. La incorporación de esta etapa de filtración adicional permite concentrar aquella biomasa algal que ya es extraída del sistema para fijar el tiempo de retención de la biomasa TRB y por tanto se optimiza el uso de la energía lumínica en el
30 sistema, maximizándose así la productividad de biomasa del sistema.

De manera general, en el fotobioreactor se recupera la mayor parte de los nutrientes presentes en el agua afluente, acumulándolos en la biomasa algal mediante la intensidad lumínica recibida y la aportación al fotobioreactor de aire enriquecido en CO₂. El contenido del reactor se hace pasar por una membrana de ultrafiltración en la que se obtienen dos corrientes: el permeado, con una baja
35 concentración en nutrientes y sustancialmente sin sólidos suspendidos, y el rechazo, que es una corriente pre-concentrada de biomasa algal de la que, como se ha indicado previamente, una

fracción posteriormente se vuelve a introducir en el fotobioreactor, mientras que otra fracción se hace pasar por unos segundos medios de filtración, obteniéndose una biomasa algal más concentrada. Esto permite trabajar a tiempos de retención algal que maximicen la productividad del proceso.

- 5 Por otro lado, en realizaciones preferidas, una fracción de la corriente del gas que contiene CO₂ se vuelve a recircular al fotobioreactor para favorecer la suspensión de la biomasa algal y el arrastre de todos los gases disueltos, mientras que otra fracción se recircula a la membrana de obtención del permeado y a la membrana de concentración de la biomasa algal, en el caso de que sea una membrana sumergida. Dicha recirculación de gas permite reducir el ensuciamiento de las
- 10 membranas por la agitación generada en la superficie de las mismas y también permite reducir el pH del licor mezcla para minimizar la posible formación de precipitados que favorezcan el ensuciamiento de las unidades de filtración.

En realizaciones preferidas, las condiciones de cultivo de las microalgas son las siguientes:

- Las especies de microalgas utilizadas corresponden a aquellas específicas del subproducto final deseado o aquellas que se generen por las condiciones ambientales (principalmente temperatura, luz y características del agua afluente al sistema). Son particularmente preferibles los géneros y especies *Scenedesmus*, *Chlorella* y *Diatomeas*;
- El rango del pH del cultivo depende de las especies que se desarrollen en cada caso. De forma general, se puede decir que un intervalo de operación de pH óptimo preferido es de 7 a 9.
- Los nutrientes del medio de cultivo son principalmente nitrógeno y fósforo, que en función del tipo de especie algal requerirán una concentración mínima de los mismos y una relación nitrógeno/fósforo determinada (valor típico orientativo: 7,2);
- La composición del gas introducido es de al menos el 8%, más preferiblemente de al menos el 25%, y lo más preferiblemente del 99,99 % en CO₂, y el porcentaje medio de CO₂ contenido en el aire enriquecido depende de cada sistema y es un parámetro a optimizar (en realizaciones preferidas, el porcentaje es inferior al 1 %).

A continuación se explicará de manera detallada una realización preferida de la presente invención, que sin embargo no debe entenderse que sea limitante del alcance de la invención, la cual únicamente viene limitada por las reivindicaciones adjuntas.

En el tanque de regulación (1) se deposita el medio de cultivo que contiene agua junto con los nutrientes adecuados para el cultivo y crecimiento de la biomasa algal. En realizaciones preferidas, estos nutrientes son nitrógeno en forma amoniacal y fósforo en forma de fosfatos.

El tanque de regulación (1) permite homogeneizar el agua afluente y amortiguar la posible variación de carga y/o caudal a lo largo del día. Este tanque está provisto de un sensor de nivel (26) como medida de seguridad para el sistema de impulsión de agua conectado a este tanque.

El proceso de cultivo de microalgas tiene lugar preferiblemente en al menos un fotobioreactor (2). Este fotobioreactor es parcialmente hermético y está dotado de un espacio de cabeza. El sistema cuenta con una bomba (9), un caudalímetro asociado a dicha bomba (33) y una válvula anti-retorno (14) que permiten impulsar, en modo continuo o discontinuo, el agua afluente almacenada en el tanque de regulación (1) hasta el fotobioreactor (2). Con el fin de controlar el nivel del fotobioreactor y como medida de seguridad, el sistema cuenta con una sonda de nivel (27).

El fotobioreactor (2) también está dotado de sensores de pH/temperatura (43) y luz (44), para garantizar la viabilidad del cultivo de microalgas, dada la importancia de estos parámetros en sus procesos de cultivos.

La instalación incluye al menos dos sistemas de filtración, uno para el pre-concentrado (3) y otro para el pre-cosechado (4) de las microalgas. Cada uno de los sistemas está compuesto al menos de dos tanques provistos de módulos de filtración. Cada tanque ha de permitir preferiblemente el funcionamiento en paralelo, de tal manera que se puedan realizar las operaciones de mantenimiento sin interrumpir el proceso. Como medida de seguridad cada tanque preferiblemente tiene instalado un sensor de nivel (28).

El fotobioreactor (2) se mantiene agitado continuamente con el fin de favorecer la desabsorción de los gases ocluidos en la biomasa algal y con el fin de mantener el pH en valores estables, preferiblemente dentro del intervalo de 7 a 9. En realizaciones preferidas el gas generado/introducido se reintroduce en el fotobioreactor (2), en el sistema de filtración de pre-concentrado (3) y en el sistema de filtración de pre-cosechado (4) en la configuración de membrana sumergida (modalidad A). El sistema de recirculación de gases está provisto de al menos una soplante (13) y un sistema de difusores que proporciona burbujas finas al fotobioreactor. Para evitar el ingreso de líquido a los equipos de impulsión de gases, en la conducción de aspiración se instala un sistema deshumificador/trampa de espumas (8). Con el objetivo de controlar la presión de gas en el sistema y el caudal de gas recirculado al fotobioreactor (2), se incluye una sonda de medición de presión (42), una válvula de regulación (23) y un medidor de caudal de gas (37). Además, a dicha corriente se incorpora dióxido de carbono cuya cantidad y concentración depende de cada sistema (en la planta experimental es menor del 1%) con el fin de controlar el pH en el fotobioreactor (2), cuya entrada viene controlada por una válvula de control todo/nada (20), un caudalímetro (35) y una válvula anti-retorno (15).

Cada tanque de membranas sumergidas de pre-concentrado (3) incluye un sistema de bombeo (10) que impulse la biomasa algal desde el fotobioreactor (2), junto con el correspondiente caudalímetro (34) y una válvula de control todo/nada (16).

5 Los tanques de membranas de pre-concentrado (3) reciben la corriente de biomasa algal del fotobioreactor (2), y una corriente de permeado procedente de un tanque donde se almacena el permeado para su posterior contralavado, denominado tanque CIP (6), tras la etapa de contralavado del proceso de operación de las membranas de filtración.

10 También cada tanque (3, 4) incluye una bomba reversible (11,12) que genere la fuerza de succión necesaria para llevar a cabo las etapas de filtración, contralavado y desgasificación. En los tanques de membranas de pre-concentrado (3) se generan dos corrientes líquidas: el permeado, libre de sólidos, y la biomasa algal parcialmente concentrada. Una fracción de la corriente de biomasa algal parcialmente concentrada retorna por gravedad al fotobioreactor (2) y otra fracción se dirige al tanque de membranas de pre-cosechado (4).

15 En el proceso de filtración se requiere una electroválvula todo/nada (17) para cada tanque de membranas de pre-concentrado (3), que permita llevar a cabo las diferentes etapas de operación de la membrana (filtración, relajación, contralavado y desgasificación). En este proceso también es indispensable contar con medidores de presión (40) instalados en la tubería, con el fin de medir la presión transmembrana (PTM), parámetro indispensable en el correcto funcionamiento del sistema, y un caudalímetro (35).

20 Con el objetivo de minimizar la acumulación de partículas sobre la superficie de las membranas (minimización del ensuciamiento) y conseguir la homogeneización del licor mezcla, una parte del gas producido/introducido en todo el sistema es recirculado a los tanques de membranas de pre-concentrado (3) y a los tanques de membrana de pre-cosechado (4) en la configuración de membrana sumergida (modalidad A). Adicionalmente, dicha recirculación del gas a los tanques de
25 membranas permite reducir el pH del sistema para evitar, de este modo, alcanzar pH excesivos que favorezcan la formación de precipitados que incrementen el ensuciamiento químico de las membranas. Para llevar a cabo esta recirculación de gas es imprescindible tener al menos una soplante (13) y una electroválvula de regulación (24) para cada tanque, junto con el caudalímetro de gas (38) asociado a dicha corriente.

30 Uno de los elementos finales de la instalación es el tanque de almacenamiento de permeado – CIP (6). La función del CIP (6), como se ha indicado previamente, es almacenar una parte del permeado obtenido, de tal manera que esté disponible para la etapa de contralavado. Como medida de seguridad, se requiere una sonda de nivel (31) en este tanque.

Al menos un tanque de membranas de pre-concentrado (3) incluye preferiblemente un sistema que permita purgar la biomasa algal hasta la zona de pre-cosechado. Para tal fin se dispone de una válvula de control todo/nada (18) que permite el paso por gravedad de la biomasa algal al tanque de membranas de pre-cosechado (4). De este modo, se permite mantener en el fotobioreactor (2) dicha biomasa algal durante el tiempo que se estime conveniente.

Tal como se menciona anteriormente, la instalación incluye al menos dos tanques provistos de módulos de filtración de pre-cosechado (4) de la biomasa algal. Estos tanques permiten el funcionamiento en paralelo, de tal manera que se puedan realizar las operaciones de mantenimiento sin interrumpir el proceso. Como medida de seguridad cada tanque tiene instalado un sensor de nivel (29) para asegurar el nivel de licor mezcla adecuado en el filtro de membranas.

Se distinguen dos tipos de configuración en función del tipo de filtro de membrana de pre-cosechado (4) a instalar. El tipo de configuración A, filtro de membrana sumergida, y la configuración B, filtro de membrana de flujo tangencial. La biomasa algal purgada del filtro de membrana de pre-concentrado (3) se introduce por gravedad al filtro de membrana sumergida de pre-cosechado (4) para la configuración A, o al tanque de mezcla (5) para la configuración B impulsada por la diferencia de nivel creada entre el filtro de membrana de pre-concentrado (3) y el filtro de membrana de pre-cosechado (4) y el tanque de mezcla (5), respectivamente. El filtro de membrana de pre-cosechado (4) recibe una corriente por gravedad para la configuración A o por el equipo de bombeo (12) para la configuración B, estando dicha corriente compuesta de biomasa algal recibida del filtro de membrana de pre-concentrado (3). El tanque de mezcla (5) dispone de un sensor de nivel (30) para controlar el accionamiento del equipo de bombeo (12) y se dispone adicionalmente de un caudalímetro (36) para el control del caudal impulsado al tanque de membrana de pre-cosechado (4), en la configuración B. La configuración A, recibe adicionalmente una corriente procedente del tanque CIP (6) compuesta del permeado retenido en dicho tanque.

El filtro de membrana de pre-cosechado (4) permitirá el paso del agua filtrada hacia el tanque de almacenamiento de permeado CIP (6) mediante el equipo de bombeo (12) para la configuración A y por la presión ejercida para el proceso de filtración para la configuración B, quedando la biomasa algal concentrada en dicha membrana, la cual será extraída del tanque de membrana de pre-cosechado (4).

En el proceso de filtración del tanque de membranas sumergidas para la configuración A, se requiere una electroválvula todo/nada (19), que permita llevar a cabo las diferentes etapas de operación de la membrana (filtración, relajación, contralavado y degasificación). En este proceso también es indispensable contar con medidores de presión (41), para ambas configuraciones A y B, instalados en la tubería, con el fin de medir la presión transmembrana (PTM), parámetro indispensable en el correcto funcionamiento del sistema, y un caudalímetro (36).

Para el filtro de membranas sumergidas de la configuración A, con el objetivo de minimizar la acumulación de partículas sobre la superficie de las membranas (minimización del ensuciamiento), minimizar la subida de pH (evitar la formación de precipitados) y conseguir la homogeneización del licor mezcla, una parte del gas producido/introducido en todo el sistema es recirculado a los tanques de membranas. Para llevar a cabo esta recirculación de gas es imprescindible tener al menos una soplante (13) y una electroválvula de regulación (25) para cada tanque, junto con el caudalímetro de gas (39) asociado a dicha corriente.

Para minimizar el ensuciamiento químico y biológico en los filtros de membranas de pre-concentrado (3) y pre-cosechado (4) se dispone adicionalmente de un tanque de almacenamiento CIP (7) donde se adicionan reactivos tales como sosa caustica, ácido cítrico, ácido oxálico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno o hipoclorito sódico, para llevar a cabo contralavados potenciados con reactivos químicos. Para ello se dispone de dos válvulas de 3 vías (21) y (22) para incorporar dicha corriente de permeado con reactivos del tanque CIP (7) al tanque de membranas de pre-cosechado (4) y de pre-concentrado (3), respectivamente, mediante el equipo de bombeo (12) y el equipo de bombeo (11) respectivamente en cada caso. El tanque CIP (7) incorpora un sensor de nivel (32).

El control de caudal de cada uno de los sistemas de impulsión, tanto de líquido como de gas, requiere incluir en cada uno de ellos un variador de frecuencia y un caudalímetro. Toda la instrumentación y los elementos de control están conectados a un programador lógico controlado (PLC) que permita el trabajo automatizado de la planta. En el PLC se programan las diferentes fases de operación de las membranas y se incluyen las alarmas y actuaciones necesarias para el adecuado funcionamiento del sistema, salvaguardando los diferentes elementos que lo componen.

Ejemplos

En la Tabla 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos en relación al incremento de rendimiento del sistema en comparación con un fotobioreactor convencional sin unidad de filtración, en términos de productividad de biomasa, haciendo uso del método y de la instalación objeto de la invención. En la misma, se muestran los valores de los tiempos de residencia del agua y de la biomasa, TRH y TRB, a una temperatura ambiental promedio diaria de 24 °C y una intensidad lumínica media diaria de 240 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

TRB (d)	TRH (d)	Productividad ($\text{mg VSS} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	Mejora (%)
4,5	4,5	45,4	-
4,5	3,5	57,9	27,5

4,5	3,0	63,2	39,2
4,5	2,5	83,9	84,9
4,5	2,0	66,4	46,3

Tabla 1. Rendimiento del sistema en términos de productividad de biomasa derivado del desacople del tiempo de residencia hidráulico (TRH) y del tiempo de residencia de la biomasa (TRB) para unas condiciones ambientales promedio diarias de 24 °C de temperatura y 240 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ de intensidad lumínica.

Los datos experimentales recogidos en la tabla 1 corresponden a las condiciones específicas de trabajo que a continuación se detallan:

- Géneros de microalgas utilizadas: Scenedesmus, Chlorella y Diatomeas.
- Concentración de las mismas: valor medio de 350 mg SST/L
- Composición del cultivo: Scenedesmus (48-99%, principalmente por encima de 95%), Chlorella (1-52%, principalmente por debajo de 4%) y Diatomeas (siempre por debajo de 1%).
- Condiciones de trabajo: temperatura ambiental promedio diaria de 24 °C, una intensidad lumínica media diaria de 240 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ y pH medio de operación de 7,5.

A partir de estos datos, se muestra que existe una combinación óptima de los tiempos de residencia del agua y de la biomasa, TRH y TRB, que permite maximizar la productividad volumétrica del sistema. Para las condiciones de operación en las que se han tomado las medidas, dicha situación óptima se encuentra en torno a TRH de 2,5 días y TRB de 4,5 días.

Como se ha indicado previamente, con el objetivo de maximizar la viabilidad económica del sistema, es necesario que la biomasa que no sea susceptible de ser cosechada (i.e. aquella necesaria en el sistema para maximizar la productividad del conjunto en términos de generación de biomasa y recuperación de nutrientes) permanezca en el tanque de membranas sumergidas de pre-concentrado (3) el menor tiempo posible. Para ello, es necesario optimizar el diseño y operación del tanque de membranas sumergidas de pre-concentrado (3), de forma que se minimice no sólo el consumo energético asociado a dicho proceso sino también su volumen. Por tanto, es necesario maximizar la productividad del proceso de filtración (expresada como flujo transmembrana, J) a la vez que se minimiza la demanda específica de gas por metro cuadrado de membrana (SGD_m) necesaria para controlar el ensuciamiento de las membranas.

La maximización de J conlleva no solo la minimización del área de membrana requerida para llevar a cabo el proceso de pre-concentrado (3), sino también la consiguiente minimización del volumen del tanque de pre-concentrado (3).

Además, la minimización del área de membrana supone la minimización del consumo energético asociado a la soplante de recirculación de gas para la limpieza de las membranas.

Concretamente, la proporción entre SGD_m y J (denominada “demanda específica de gas por volumen de permeado”: SGD_p , Ecuación 1) se utiliza como indicador del coste de la unidad de pre-concentrado. Cuanto menor sea SGD_p , menor será el consumo derivado del proceso de pre-concentrado (del cual hasta el 80% se debe al consumo asociado a la soplante de recirculación de gas para la limpieza de las membranas), y menor será el área de membrana requerida para llevar a cabo el proceso (mayor será el volumen de permeado obtenido por área de membrana: J).

$$SGD_p = \frac{SGD_m}{J} = \frac{Q_g/A}{Q_p/A} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde Q_g es el caudal de gas suministrado por la soplante (13) de recirculación de gas, A es el área de membrana, y Q_p es el caudal de permeado obtenido mediante la bomba de permeado (11).

Por una parte, es necesario minimizar el caudal de gas (SGD_m) suministrado por la soplante de gas para mantener la productividad (J) del proceso de pre-concentrado en valores adecuados. Al mismo tiempo, es necesario minimizar el área de membrana necesaria para aplicar un determinado caudal de permeado, de tal modo que J sea lo más grande posible.

Para un J neto entre 15 y 20 L/h/m², el valor de SGD_m recomendado para el proceso de pre-concentrado varía entre 0,1 y 0,3 m³/h/m² en función del coste de adquisición de las membranas, del coste de la energía y de las propiedades del medio de cultivo a filtrar.

La Ecuación 2 muestra los valores de SGD_p recomendados para minimizar el coste asociado al proceso de filtración. Dicha relación ha sido validada para el intervalo 1-10 gSSV/L de biomasa.

$$SGD_p = 0,4 * C + 14,1 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde C es la concentración de biomasa (gVSS/L) en el tanque de pre-concentrado (3) o en el tanque de pre-cosechado (4).

La unidad de pre-concentrado (3) opera en el intervalo comprendido entre 0,5 y 1,5 g/L de biomasa. Dicho intervalo permitirá no solo minimizar el consumo energético asociado al proceso global, sino también maximizar la eficiencia del sistema en términos de biomasa generada gracias a la minimización del tiempo de residencia de la biomasa en el tanque de pre-concentrado (3).

Se recomienda un valor de 10 como máximo grado de concentración para el proceso de cosechado mediante membranas sumergidas, tomando como base la concentración resultante del proceso de pre-concentrado (3). Valores de concentración superiores pueden suponer incrementos innecesarios del consumo energético asociado a este proceso.

- 5 Además de las ventajas anteriormente indicadas, a través de la descripción y los ejemplos descritos los inventores consideran que ha quedado demostrado que la optimización de la relación óptima entre los tiempos de retención del agua, TRH, y de la biomasa, TRB permite:
- maximizar la productividad volumétrica del sistema,
 - minimizar posibles competencias entre microalgas y bacterias, ajustando el tiempo de residencia de la biomasa a un valor que permita un crecimiento competitivo de las microalgas frente a las bacterias;
 - minimizar el efecto sombra generado por la biomasa existente en el sistema de cultivo;
 - minimizar la reducción de productividad derivada de la acumulación de biomasa en zonas ausentes de luz;
 - maximizar la recuperación de nutrientes en el caso de operar con aguas residuales, mediante una operación a velocidad máxima de crecimiento;
 - minimizar los costes asociados al proceso global, gracias a la separación de los costes asociados al proceso de cultivo (mediante la optimización del coste asociado a la primera etapa de pre-concentrado), de los costes asociados al proceso de pre-cosechado.

REIVINDICACIONES

1. Un método de cultivo y cosechado de algas que comprende las siguientes etapas:

a) introducir en un fotobioreactor (2) un medio de cultivo que contiene al menos una especie de microalga capaz de realizar fotosíntesis, formando una biomasa algal;

b) promover el crecimiento de la biomasa en el fotobioreactor (2) mediante el aporte al cultivo de luz y de una corriente de gas que contiene CO₂;

c) separar una fracción del cultivo que contiene biomasa y recircularla a través de unos primeros medios de filtración en continuo (3), obteniéndose:

- una fracción de cultivo permeada, sustancialmente exenta de biomasa, haciéndola permanecer en el subsistema consistente en el fotobioreactor más los primeros medios de filtración en continuo (3) durante un tiempo medio que es el tiempo de retención hidráulico (TRH), y

- una fracción de cultivo de rechazo que se recircula de nuevo por los primeros medios de filtración en continuo (3) hasta que alcance el grado de pre-concentración de biomasa deseado,

d) separar una parte de la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada haciéndola permanecer en el subsistema consistente en el fotobioreactor más los primeros medios de filtración en continuo (3) durante un tiempo medio que es el tiempo de retención de la biomasa (TRB), y a continuación,

e) hacer pasar la totalidad de la parte de la fracción del cultivo de rechazo pre-concentrada resultante de la etapa d) a través de unos segundos medios de filtración (4) durante el tiempo necesario hasta alcanzar el grado de concentración de biomasa deseado,

caracterizado porque el tiempo TRH se encuentra en el intervalo de 0,5 a 6 días y el tiempo TRB se encuentra en el intervalo de 1 a 8 días, medidos a una temperatura entre 10 y 35 °C y a una intensidad lumínica diaria de 50 a 500 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

2. Método según la reivindicación 1, en el que el tiempo TRH se encuentra en el intervalo de 2 a 3,5 días y el tiempo TRB se encuentra en el intervalo de 2 a 4,5 días.

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa c) transcurre hasta que la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada alcanza una concentración de 0,1% a 0,2% en peso de materia seca.
- 5 4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa e) transcurre hasta que la parte de la fracción de cultivo de rechazo pre-concentrada alcanza una concentración de 1% a 2% en peso de materia seca.
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fracción de cultivo permeada exenta de biomasa obtenida en la etapa c) se utiliza al menos parcialmente para realizar un contralavado de los medios de filtración.
- 10 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la al menos una microalga capaz de realizar fotosíntesis se selecciona del grupo de géneros y especies que consiste en Scenedesmus, Chlorella y Diatomeas.
- 15 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que cultivo introducido en el fotobioreactor (2) tiene un pH entre 7 y 9, y comprende derivados de nitrógeno y fósforo en una relación másica nitrógeno/fósforo de alrededor de 7,2.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cultivo introducido en el fotobioreactor (2) procede de aguas residuales.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 anteriores, en el que el cultivo introducido en el fotobioreactor (2) es agua de cualquier origen que contenga nutrientes de nitrógeno y fósforo.
- 20 10. Un sistema para poner en práctica el método de cultivo y cosechado de microalgas descrito en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende los siguientes componentes:
 - a) un fotobioreactor (2) para cultivar las microalgas;
 - b) unos primeros medios de filtración en continuo (3) para pre-concentrar al menos una parte del cultivo de biomasa algal contenido en el fotobioreactor (2); y
 - 25 c) unos segundos medios de filtración (4) para concentrar adicionalmente al menos una parte del cultivo de biomasa algal resultante de la etapa anterior.
11. El sistema de la reivindicación 10 en el que los primeros medios de filtración en continuo (3) se seleccionan de filtros de membrana sumergida o de filtros de membrana de flujo tangencial.
- 30 12. El sistema de las reivindicaciones 10 o 11 en el que los segundos medios de filtración (4) se seleccionan de filtros de membrana sumergida o de filtros de membrana de flujo tangencial.

13. El sistema de la reivindicación 12 en el que los primeros medios de filtración (3) son dos o más tanques de membranas de pre-concentrado y los segundos medios de filtración (4) son dos o más tanques de membranas de pre-cosechado.

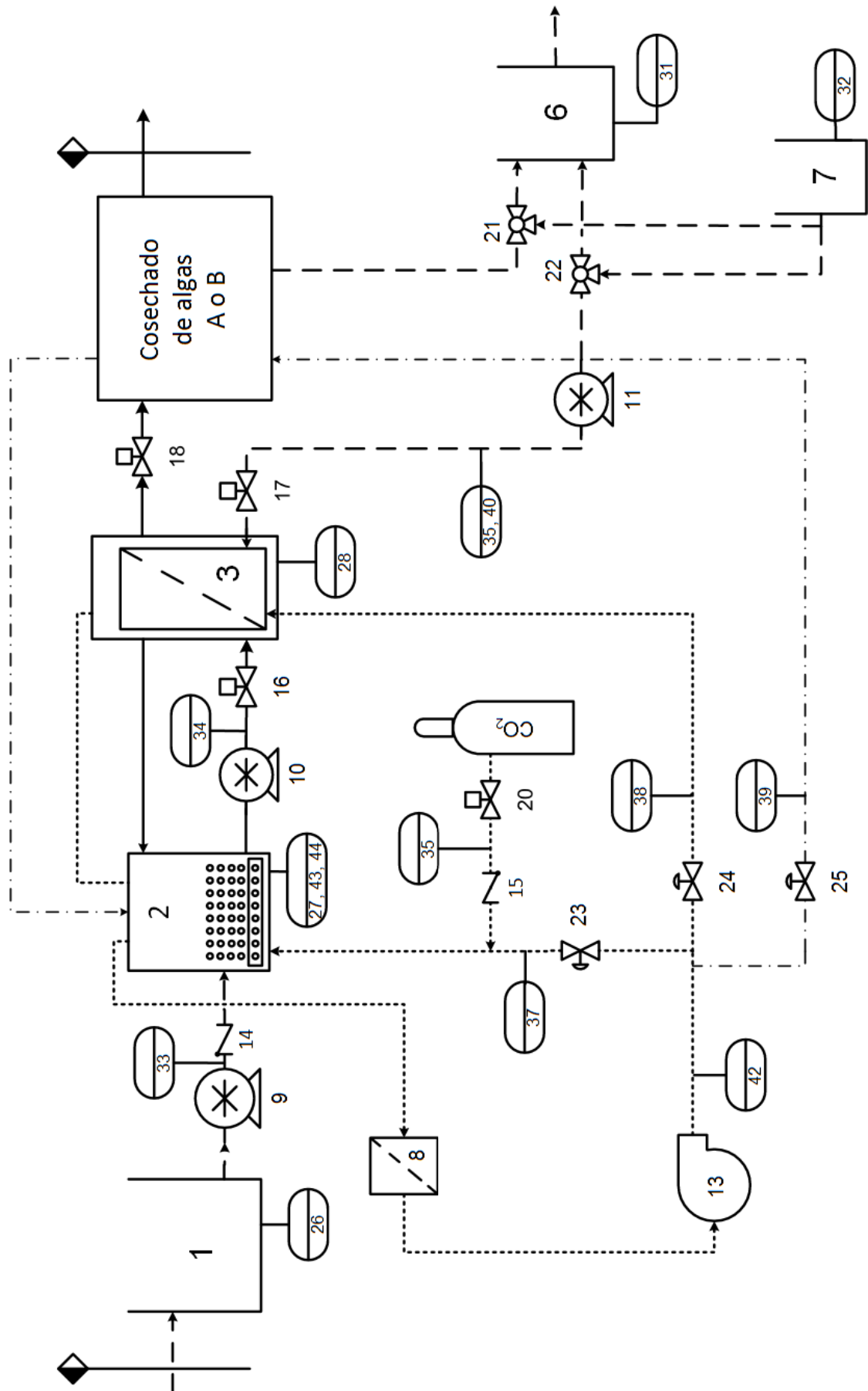


Figura 1

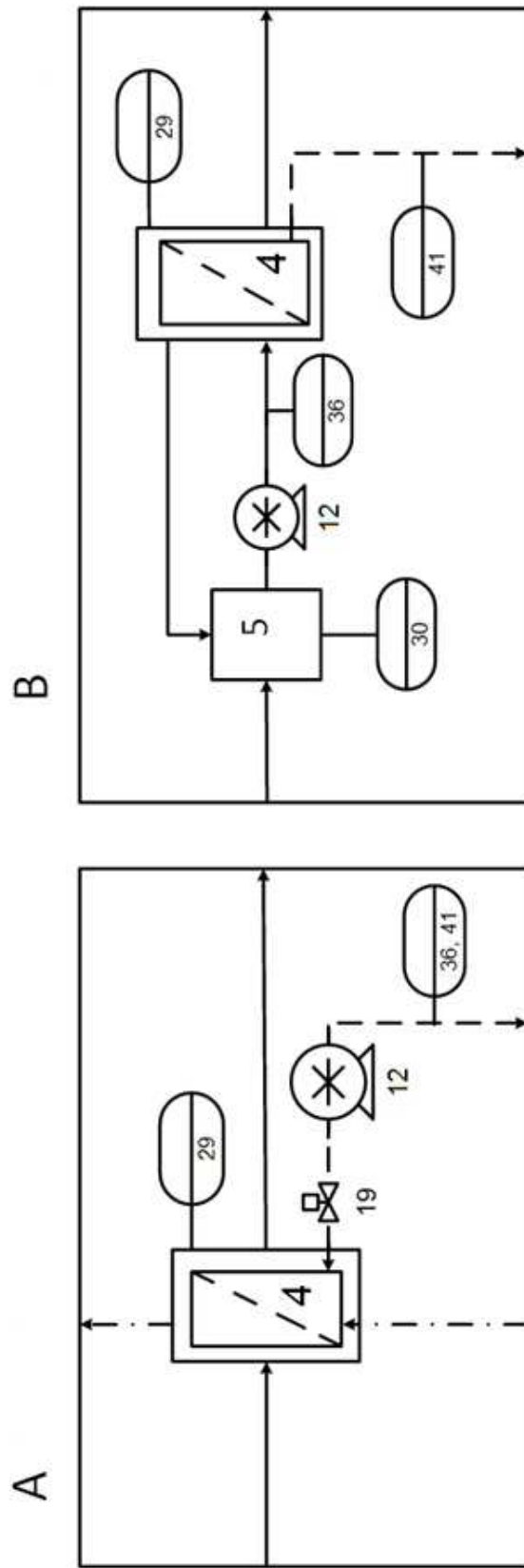


Figura 1cont.



- ②① N.º solicitud: 201531942
②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.12.2015
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2011026482 A1 (PHYTOLUTIONS GMBH et al.) 10/03/2011, Figura 1, párrafos 40-48.	10-13
A	BILAD M R et al. Coupled cultivation and pre-harvesting of microalgae in a membrane photobioreactor (MPBR). Bioresource Technology March.vol: 155. ISSN 0960-8524 (print) ISSN 1873-2976 (electronic) Doi:doi:10.1016/j.biortech.2013.05.026, páginas 410-417.	1-13
A	BILAD M R et al. Membrane technology in microalgae cultivation and harvesting: A review. Biotechnology Advances vol. 32 (7). ISSN 0734-9750 (print). Doi: doi:10.1016/j.biotechadv.2014.07.008, páginas 1283 - 1300.	1-13
A	MARBELIA L et al. Membrane photobioreactors for integrated microalgae cultivation and nutrient remediation of membrane bioreactors effluent. Bioresource Technology vol: 163. ISSN 0960-8524 (print) ISSN 1873-2976 (electronic) Doi: doi:10.1016/j.biortech.2014.04.012, páginas: 228 - 235.	1-13
A	US 2011266215 A1 (ROBINSON TERRY S et al.) 03/11/2011, figuras 2-4; párrafos 13, 14, 19, 30-50.	1-13
A	US 6416993 B1 (WEXLER HOWARD M et al.) 09/07/2002, columna 5, líneas 26-columna 12, línea 60.	1-13

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
11.10.2016

Examinador
A. I. Polo Diez

Página
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

C12N1/12 (2006.01)**C12N1/02** (2006.01)**C12M3/06** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C12N, C12M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INTERNET, BD-TXTE, BIOSIS, HCAPLUS

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 11.10.2016

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-9, 11-13	SI
	Reivindicaciones 10	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-9	SI
	Reivindicaciones 10-13	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2011026482 A1 (PHYTOLUTIONS GMBH et al.)	10.03.2011
D02	BILAD M R et al. Coupled cultivation and pre-harvesting of microalgae in a membrane photobioreactor (MPBR). Bioresource Technology March. vol: 155.	28.02.2014
D03	BILAD M R et al. Membrane technology in microalgae cultivation and harvesting: A review. Biotechnology Advances vol. 32	15.11.2014
D04	MARBELIA L et al. Membrane photobioreactors for integrated microalgae cultivation and nutrient remediation of membrane bioreactors effluent. Bioresource Technology vol: 163.	30.06.2014
D05	US 2011266215 (ROBINSON TERRY et al.)	03.11.2011
D06	US 6416993 B1 (WEXLER HOWARD M et al.)	09.07.2002

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**Novedad (art 6.1. de la ley de Patentes 11/86)**

El documento D01 describe un sistema para el cultivo y cosechado de microalgas que comprende los mismos componentes que los de la reivindicación 10 de la solicitud, ya que dispone de un fotobiorreactor (referencia 1 de la figura 1), unos primeros medios de filtración (referencia 2) y unos segundos medios de filtración (referencia 4). Las referencias entre paréntesis se refieren al documento D01.

Por tanto, la reivindicación independiente 10, referida a un sistema de cultivo y cosechado de microalgas, carece de novedad a la vista del documento D01.

Las demás reivindicaciones 1 a 9, referidas a un procedimiento de cultivo y cosechado de microalgas, así como las reivindicaciones 11 a 13, dependientes de la 10, y por tanto relativas al sistema de cultivo, mencionan características que no se han encontrado en ningún documento del estado de la técnica y, por tanto, cumplen el requisito de novedad.

Las reivindicaciones 11 a 13 no incluyen características que, en combinación con la reivindicación 10 de la que dependen, aporten actividad inventiva al sistema de cultivo y cosechado. Las características a las que se refieren (tipos y cantidad de membranas) son ampliamente utilizadas en métodos de cultivo y cosechado de microalgas con la misma finalidad (ver documento D02 a D05) por lo que sería obvio su aplicación en el sistema de la reivindicación 10.

Actividad inventiva (art. 8.1 de la Ley de Patentes 11/86)

Sin embargo, el método objeto de la reivindicación 1 no resulta evidente a la vista de los documentos citados en el estado de la técnica.

Ninguno de los documentos D01 a D06, referentes a métodos de cultivo y recolección de microalgas, describe ni sugiere un procedimiento de cultivo y cosechado de microalgas que, además de comprender las mismas etapas que el procedimiento de la invención, utilice una segunda unidad de filtración y seleccione los mismos tiempos de retención hidráulica y de biomasa que los que se señalan en la reivindicación 1. La utilización de una segunda unidad de filtración y de esos tiempos concretos en el procedimiento de cultivo y cosechado tienen como efecto técnico una mejora en la producción de la biomasa algal. En consecuencia, tanto la reivindicación independiente 1 como las reivindicaciones dependientes 2 a 9, cumplen el requisito de actividad inventiva.

En resumen, las reivindicaciones 1 a 9 satisfacen los requisitos de patentabilidad establecidos en el art. 4.1 de la ley de patentes 11/1986, mientras que las reivindicaciones 10 a 13, tal y como están redactadas, no lo hacen.