

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 457**

51 Int. Cl.:

C12M 1/34 (2006.01)

C12N 1/12 (2006.01)

A01G 33/00 (2006.01)

C12M 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.02.2017 PCT/FR2017/050393**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17144817**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2017 E 17710344 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3419413**

54 Título: **Procedimiento de cultivo de organismos fotosintéticos utilizando una fuente de CO₂**

30 Prioridad:

24.02.2016 FR 1651516

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.08.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ DE NANTES (50.0%)
1 Quai de Tourville BP 13522
44035 Nantes Cedex 1, FR y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PRUVOST, JÉRÉMY y
LE GOUIC, BENJAMIN**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 778 457 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de cultivo de organismos fotosintéticos utilizando una fuente de CO₂

El objeto de la presente invención es un procedimiento de cultivo de organismos fotosintéticos usando una fuente continua o discontinua de CO₂.

5 Las microalgas y las cianobacterias son microorganismos fotosintéticos unicelulares que pueden producir diferentes tipos de materia orgánica como proteínas, carbohidratos, lípidos y se consideran organismos óptimos para obtener productos con alto valor agregado, tales como polisacáridos funcionales, carotenoides, vitaminas, ácidos grasos insaturados, etc.

Con respecto a las macroalgas, su valor nutricional hace que su cultivo sea particularmente interesante.

10 Además, durante el cultivo de microalgas, cianobacterias y macroalgas, el dióxido de carbono, que es el factor principal en el calentamiento global, se consume y, por lo tanto, se elimina. Estos organismos fotosintéticos tienen un tiempo de multiplicación más corto que las plantas terrestres (y, por lo tanto, la cantidad de dióxido de carbono se puede reducir efectivamente), crecen rápidamente en un ambiente pobre y pueden usar directamente los gases de combustión provenientes de las plantas de energía o las fábricas.

15 Para eliminar eficazmente el dióxido de carbono mientras se producen microalgas, cianobacterias y macroalgas y/o compuestos de interés con altos rendimientos, es necesario contar con instalaciones capaces de adaptarse a fuentes intermitentes de dióxido de carbono, porque es de esta forma que el dióxido de carbono se libera tradicionalmente a la atmósfera.

20 Actualmente, el efluente gaseoso se inyecta notablemente directamente en el sistema de cultivo donde se transfiere a la fase líquida de cultivo. Durante los periodos de interrupción de la fuente de producción intermitente, el cultivo consume el carbono disuelto residual que puede conducir a la limitación del crecimiento si el carbono disuelto se vuelve insuficiente.

25 El efluente gaseoso también se puede inyectar en una solución líquida corriente arriba del sistema para formar una solución carbonatada, que luego se utiliza para alimentar el sistema de cultivo. Esto proporciona una fuente de carbono disuelto durante periodos de inactividad. Sin embargo, la disolución significativa de carbono requiere trabajar a un pH alto incompatible con la regulación del pH del sistema de cultivo que requiere una fuente ácida, el consumo de carbono disuelto por el crecimiento de microalgas basificando el medio.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento que permita el cultivo óptimo de organismos fotosintéticos con una fuente intermitente de CO₂ gaseoso.

30 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento que permita conciliar las necesidades permanentes de los sistemas de cultivo de organismos fotosintéticos en el suministro de carbono disuelto y en la regulación del pH, con una fuente intermitente de CO₂ gaseoso.

35 Por lo tanto, la invención tiene por objeto el uso de una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H y una segunda composición que tiene un pH inferior a pH_B para el cultivo de organismos fotosintéticos, elegidos entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, en un sistema de cultivo que comprende un medio de cultivo,

en la que:

- dicha primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H se obtiene poniendo en contacto con CO₂ producido por una fuente de CO₂, continua o discontinua, de una base, de agua y posiblemente de todos o parte de los constituyentes de un medio cultivo de algas;
- 40 - la segunda composición acuosa que tiene un pH inferior a pH_B se obtiene disolviendo el CO₂ producido por dicha fuente en agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas;

siendo el pH de dicho medio de cultivo tal que:

- 45 - cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa y/o CO₂ producido por dicha fuente se agregan a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B;
- cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H; y
- 50 - opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H, en particular pH_I, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, en particular hasta que el pH de

dicho medio de cultivo alcance el valor intermedio de pH_i .

Sorprendentemente, el uso según la presente invención de las dos composiciones acuosas permite garantizar las necesidades permanentes de los sistemas de cultivo de organismos fotosintéticos en el suministro de carbono disuelto, al tiempo que permite la regulación del pH, siendo todo posible incluso con una fuente intermitente de CO_2 gaseoso.

5 Por “microalgas” se entiende un alga microscópica.

Por “cianobacterias” se entiende las bacterias del filo de las *Cyanobacteria*, de la clase *Cyanophyceae*.

Por “macroalgas” se entiende una gran alga o una alga gigante, es decir, una alga más grande que una microalga.

Por “fuente de CO_2 ” se entiende una fuente que produce CO_2 , en particular en forma gaseosa, o una composición, en particular gaseosa, que comprende CO_2 , en particular en forma gaseosa.

10 Esta fuente puede ser continua, es decir, entrega CO_2 con un flujo distinto de cero, durante un período determinado, por ejemplo, una hora, un día o una semana.

En particular, este flujo distinto de cero es constante.

Alternativamente, la fuente puede ser discontinua, es decir, a veces entrega el CO_2 con un flujo distinto de cero, a veces no produce CO_2 , durante un período determinado, por ejemplo, una hora, un día o una semana.

15 Por “medio de cultivo de algas”, se entiende un medio que permite el cultivo de dichos organismos fotosintéticos.

Además de dichos organismos fotosintéticos elegidos de entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, es decir, biomasa de algas, el medio de cultivo comprende componentes que permiten el crecimiento de dichos organismos fotosintéticos y/o la producción de moléculas de interés por dichos organismos fotosintéticos.

20 El medio de cultivo está compuesto, por ejemplo, de agua, nutrientes para organismos fotosintéticos como sales minerales, como nitratos, amonio, fosfatos, sulfatos y metales como hierro, magnesio, etc., iones carbonato, o incluso elementos orgánicos del tipo de azúcar.

25 Por “ pH_H ” se entiende el límite superior del pH del medio de cultivo. El pH_H se define notablemente como compatible con la fisiología del organismo fotosintético cultivado. Por lo tanto, el pH_H puede ser un valor más allá del cual el crecimiento de dichos organismos fotosintéticos y/o la producción de moléculas de interés por dichos organismos fotosintéticos ya no es óptimo.

Por “ pH_B ” se entiende el límite inferior del pH del medio de cultivo. El pH_B se define notablemente como compatible con la fisiología del organismo fotosintético cultivado. Por lo tanto, el pH_B puede ser un valor por debajo del cual el crecimiento de dichos organismos fotosintéticos y/o la producción de moléculas de interés por dichos organismos fotosintéticos ya no es óptimo.

30 pH_B y pH_H enmarcan el pH_i , este valor intermedio es en particular el pH que permite el crecimiento óptimo de dichos organismos fotosintéticos y/o la producción óptima de moléculas de interés.

Por “primera composición acuosa”, se entiende una composición que comprende agua, en particular una solución acuosa, que tiene un pH superior a pH_H .

35 La primera composición acuosa opcionalmente comprende todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, como se definió con anterioridad.

Esta primera composición acuosa comprende los iones carbonato y los iones bicarbonato, siendo los iones carbonato y bicarbonato en particular las especies carbonatadas predominantes.

El carbono inorgánico disuelto (CID) incluye en particular iones carbonato, iones bicarbonato y ácido carbónico.

En la primera composición acuosa, el CID está principalmente en forma de iones carbonato y de iones bicarbonato.

40 Dicha base permite aumentar el pH de la primera composición acuosa y la concentración de CID.

Por ejemplo, en el caso del humo industrial que comprende el 9% de CO_2 , a 25°C, el pH y el CID están vinculados como se indica en la siguiente tabla:

| pH | CID (mM) |
|-----|----------|
| 7,5 | 46,7 |
| 8 | 141,2 |

(continuación)

| pH | CID (mM) |
|-----|----------|
| 8,5 | 444,1 |
| 9 | 1441,2 |

Por "segunda composición acuosa", se entiende una composición que comprende agua, en particular una solución acuosa, que tiene un pH por debajo de pH_B .

- 5 La segunda composición acuosa opcionalmente comprende todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, como se definió con anterioridad.

Esta segunda composición acuosa comprende ácido carbónico, siendo el ácido carbónico en particular la especie carbonatada predominante.

En la segunda composición acuosa, el CID está principalmente en forma de ácido carbónico.

- 10 Por ejemplo, en el caso de un humo industrial que comprende el 9% de CO_2 , a $25^\circ C$, el pH de la segunda composición acuosa, en equilibrio, es 4,42 y la concentración de CID de 3 mM.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que los organismos fotosintéticos se eligen del grupo que consiste en:

- 15
- microalgas, en particular microalgas de los géneros *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Chlamydomonas*, *Tetraselmis*, *Scenedesmus*, *Parachlorella*, *Porphyridium*; *Botryococcus* y *Neochloris*;
 - cianobacterias, en particular de los géneros *Arthrospira*, *Aphazomenon* y *Synechocystis*; y
 - macroalgas, en particular las macroalgas *Ulva*, *Fucus*, *Palmaria*.

El género de las cianobacterias *Arthrospira* se conoce comúnmente como espirulina.

- 20 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que la fuente de CO_2 consiste en humos industriales, eligiéndose dicha fuente de CO_2 en particular del grupo que consiste en emisiones de calderas, planta de energía térmica, planta de cemento, industria del acero, refinería, planta de fabricación de amoníaco, procesos de fermentación y procesos de digestión anaeróbica.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el valor de pH_I en el medio de cultivo está comprendido entre 6 y 10.

- 25 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el pH_I es el pH óptimo para el crecimiento de dichos organismos fotosintéticos en el medio de cultivo.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el pH_H en el medio de cultivo es tal que $pH_H = pH_I + x$, estando comprendido x de 0,02 a 1,5, en particular de 0,1 a 0,2.

- 30 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el pH_B en el medio de cultivo es tal que $pH_B = pH_I - y$, estando comprendido y de 0,02 a 1,5, en particular de 0,1 a 0,2.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que dicha base se elige del grupo que consiste en hidróxido de sodio e hidróxido de potasio.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que la temperatura del medio de cultivo está comprendida entre $15^\circ C$ y $35^\circ C$.

- 35 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema cerrado.

Por "sistema de cultivo cerrado", se entiende una cámara de cultivo aislada de su entorno externo mediante, por ejemplo, un material transparente para permitir el paso de la luz. Este sistema permite controlar mejor las condiciones de cultivo y, en particular, los aportes de carbono, y evitar la contaminación externa por otros organismos. Esto finalmente conduce a una mayor productividad de biomasa de mejor calidad.

- 40 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un uso como se definió con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema abierto.

Por "sistema de cultivo abierto", se entiende un sistema de cultivo a temperatura ambiente. La ventaja es tener un sistema menos costoso, en comparación con los sistemas cerrados.

La invención también se refiere a un procedimiento de cultivo de organismos fotosintéticos, elegidos de entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, utilizando una fuente continua o discontinua de CO₂, en la que el CO₂ se dirige a través de tuberías y válvulas controladas preferiblemente por un sistema automatizado:

- 5
- en un sistema de cultivo que comprende un medio de cultivo para organismos fotosintéticos; y/o
 - en agua o en una solución acuosa que contenga todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener, en presencia de una base, una primera composición acuosa que tenga un pH mayor que pH_H; y/o
- 10
- en agua o una solución acuosa que contenga todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener una segunda composición acuosa que tenga un pH por debajo de pH_B, disolviendo el CO₂ producido por dicha fuente en agua;

procedimiento caracterizado porque, durante el cultivo de organismos fotosintéticos en dicho medio de cultivo para obtener una biomasa de organismos fotosintéticos utilizando CO₂ proveniente de dicha fuente y/o iones de carbonato y ácido carbónico respectivamente contenidos en la primera y segunda composiciones acuosas:

- 15
- i. cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa y/o CO₂ producido por dicha fuente se agregan a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B;
- 20
- ii. cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H; y
 - iii. opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H, en particular pH_I, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo, para elevar el pH, en particular hasta que el pH de dicho medio el cultivo alcance el valor intermedio de pH_I.

- 25
- En general, el consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por el cultivo de organismos fotosintéticos aumenta el pH de dicho medio de cultivo.

Por ejemplo, considerando que un medio de cultivo está en un momento dado a pH_I, el pH aumentará durante el crecimiento de organismos fotosintéticos. Cuando el pH ha alcanzado pH_H, la acción i se llevará a cabo hasta pH_B. Luego, se llevará a cabo la etapa ii, preferiblemente hasta pH_I, pudiéndose renovar esta secuencia tanto como sea necesario.

- 30
- La acción iii puede llevarse a cabo en el siguiente caso: cuando el pH del medio de cultivo está comprendido entre pH_B y pH_I, la acción iii puede llevarse a cabo, preferiblemente hasta pH_I. El pH aumentará durante el crecimiento de organismos fotosintéticos hasta pH_H. La acción i se realizará hasta pH_B. Luego, se llevará a cabo la etapa ii, preferiblemente hasta pH_I, pudiéndose renovar esta secuencia tanto como sea necesario.

- 35
- También es posible, en lugar de esperar que el pH del medio aumente a pH_H debido al consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por los organismos fotosintéticos en crecimiento, para realizar la acción iii.

Por ejemplo, considerando que un medio de cultivo se encuentra en un momento dado a pH_I, uno puede realizar la acción iii hasta pH_H, luego encadenar la etapa i al pH_B y luego la etapa ii hasta pH_I, y así sucesivamente.

- 40
- De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que los organismos fotosintéticos se eligen del grupo que consiste en:

- microalgas, en particular microalgas de los géneros *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Chlamydomonas*, *Tetraselmis*, *Scenedesmus*, *Parachlorella*, *Porphyridium*, *Botryococcus* y *Neochloris*;
- cianobacterias, en particular de los géneros *Arthrospira*, *Aphazomenon* y *Synechocystis*; y
- macroalgas, en particular las macroalgas *Ulva*, *Fucus*, *Palmaria*.

- 45
- De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que la fuente de CO₂ consiste en humos industriales, eligiéndose dicha fuente de CO₂ en particular del grupo que consiste en emisiones de calderas, planta de energía térmica, planta de cemento, industria del acero, refinería, planta de fabricación de amoníaco, procesos de fermentación y procesos de digestión anaeróbica.

- 50
- De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que la fuente de CO₂ es discontinua, y el sistema automático actúa sobre las diversas válvulas que conectan

entre sí un sistema para cultivar organismos fotosintéticos que comprende dicho medio para cultivo, donde la primera composición acuosa tiene un pH superior a pH_H y la segunda composición que tiene un pH inferior a pH_B , de modo que:

- cuando la fuente de CO_2 produce CO_2 :

5 ° el CO_2 se dirige al agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener, en presencia de una base, dicha primera composición acuosa, y en agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas para obtener dicha segunda composición acuosa disolviendo CO_2 producido por dicha fuente en agua o solución acuosa;

10 ° (si se desea) el CO_2 se dirige directamente al sistema de cultivo si el pH es tal que $pH_B < pH < pH_H$;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , del CO_2 producido por dicha fuente y, opcionalmente, la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B ;

15 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B , el CO_2 producido por dicha fuente ya no se agrega a dicho medio de cultivo, y si se desea, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para aumentar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$;

- cuando la fuente de CO_2 no produce CO_2 :

20 ° la primera composición acuosa se agrega al medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo pH_B .

25 Las dos acciones descritas cuando la fuente de CO_2 no produce CO_2 pueden revertirse. En otras palabras, no hay un orden definido en el caso general. Además, estas acciones pueden repetirse tantas veces como sea necesario.

De acuerdo con una realización ventajosa, cuando la fuente de CO_2 no produce CO_2 :

30 ° la primera composición acuosa se agrega al medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$; luego

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B .

35 En particular, entre las dos acciones mencionadas con anterioridad, el pH aumenta, en particular desde pH_I , hasta pH_H debido al consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por los organismos fotosintéticos en crecimiento.

De acuerdo con una realización ventajosa, cuando la fuente de CO_2 no produce CO_2 :

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo pH_B ; después

40 ° la primera composición acuosa se agrega al medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento en el pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$.

45 En particular, el pH aumenta antes de la primera acción mencionada con anterioridad, hasta pH_H debido al consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por los organismos fotosintéticos en crecimiento. La primera y la segunda acción se vinculan.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que el valor de pH_I en el medio de cultivo está comprendido entre 6 y 10.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que el pH_I es el pH óptimo para el crecimiento de dichos organismos fotosintéticos en el medio de cultivo.

50 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad,

en el que el pH_H en el medio de cultivo es tal que $pH_H = pH_I + x$, estando comprendido x entre 0,02 y 1,5, en particular entre 0,1 y 0,2.

5 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que el pH_B en el medio de cultivo es tal que $pH_B = pH_I - y$, estando comprendido y entre 0,02 y 1,5, en particular entre 0,1 y 0,2.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que dicha base se elige del grupo que consiste en hidróxido de sodio e hidróxido de potasio.

De acuerdo con una realización, el pH de la primera composición acuosa puede estar comprendido entre 7,5 y 9.

10 De acuerdo con una realización, la concentración de CID en la primera composición acuosa puede estar comprendida entre 45 y 1450 mM.

De acuerdo con una realización, el pH de la segunda composición acuosa, en equilibrio, puede estar comprendido entre 4 y 5, y es en particular de aproximadamente 4,4.

De acuerdo con una realización, la concentración de ácido carbónico en la segunda composición acuosa puede estar comprendida entre 1 y 5 mM, y es en particular de aproximadamente 3 mM.

15 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que la temperatura del medio de cultivo está comprendida entre 15 C y 35°C.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento como se definió con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema cerrado.

20 Por "sistema de cultivo cerrado", se entiende una cámara de cultivo aislada de su entorno externo mediante, por ejemplo, un material transparente para permitir el paso de la luz. Este sistema permite controlar mejor las condiciones de cultivo y, en particular, los aportes de carbono, y evitar la contaminación externa por otros organismos. Esto finalmente conduce a una mayor productividad de biomasa de mejor calidad.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un procedimiento según lo definido con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema abierto.

25 Por "sistema de cultivo abierto", se entiende un sistema de cultivo a temperatura ambiente. La ventaja es tener un sistema menos costoso, en comparación con los sistemas cerrados.

La invención también se refiere a un dispositivo de cultivo de organismos fotosintéticos, elegido de entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, que utiliza una fuente de CO_2 , continua o discontinua, que comprende los siguientes elementos:

30 - un medio A para capturar el CO_2 producido por dicha fuente, medio que comprende agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, y una base, y que permite obtener una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_I ;

35 - un medio B para capturar el CO_2 producido por dicha fuente, que comprende agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, y que permite obtener una segunda composición acuosa que tiene un pH por debajo de pH_B ;

- un sistema de cultivo para dichos organismos fotosintéticos, equipado con medios para medir el pH;

- las tuberías y válvulas que conectan la fuente de CO_2 , el sistema de cultivo de dichos organismos fotosintéticos y los medios A y B,

40 - un sistema de comando y control para los flujos de gas y líquido entre la fuente de CO_2 , el sistema de cultivo de dichos organismos fotosintéticos y los medios A y B, preferiblemente un sistema automático, caracterizado porque el sistema de control está dispuesto de tal manera que:

° el CO_2 producido por dicha fuente se dirige a dicho sistema de cultivo, y/o dichos medios A y B para capturar CO_2 ;

45 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa que se origina a partir de los medios B y/o del CO_2 producido por dicha fuente se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B ;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B , la primera composición acuosa que se origina en el medio A se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$; y

° opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H , en particular pH_I , la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, en particular hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance el valor intermedio de pH_I .

5 El medio A es, por ejemplo, un tanque de carbonatación, que comprende agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, y una base, en la cual el CO_2 se pone en contacto con el agua o la solución acuosa, y la base, en particular haciendo burbujear el CO_2 en el agua o la solución acuosa previamente puesta en contacto con la base.

10 El medio B es, por ejemplo, un tanque de acidificación, que comprende agua o una solución acuosa que contiene todo o parte de los componentes de un medio de cultivo de algas, en el que el CO_2 se pone en contacto con el agua o la solución acuosa, en particular haciendo burbujear el CO_2 en el agua o la solución acuosa.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema cerrado.

15 Por "sistema de cultivo cerrado", se entiende una cámara de cultivo aislada de su entorno externo mediante, por ejemplo, un material transparente para permitir el paso de la luz. Este sistema permite controlar mejor las condiciones de cultivo y, en particular, los aportes de carbono, y evitar la contaminación exterior por otros organismos. Esto, finalmente, conduce a una mayor productividad de biomasa de mejor calidad.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el sistema de cultivo es un sistema abierto.

20 Por "sistema de cultivo abierto", se entiende un sistema de cultivo a temperatura ambiente. La ventaja es tener un sistema menos costoso, en comparación con los sistemas cerrados.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el medio A está equipado con una sonda de pH y/o temperatura.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el medio A está equipado con un sensor de presión y una válvula de alivio de presión.

25 De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el medio A está equipado con un sistema que permite la formación de burbujas, en particular burbujas de tamaño controlado, más particularmente burbujas desde un tamaño promedio que varía de $10 \mu m$ a $50 \mu m$, del CO_2 producido por la fuente de CO_2 .

30 La formación de pequeñas burbujas, del orden de un micrómetro, tiene la ventaja de aumentar la superficie de contacto con el medio A y mejorar así la transferencia de CO_2 .

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que el medio B está equipado con un sistema que permite la formación de burbujas, en particular burbujas de tamaño controlado, más particularmente burbujas con un tamaño promedio que varía de $10 \mu m$ a $50 \mu m$, desde el CO_2 producido por la fuente de CO_2 .

35 La formación de pequeñas burbujas, del orden de un micrómetro, tiene la ventaja de aumentar la superficie de contacto con el medio B y mejorar así la transferencia de CO_2 .

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que los medios A y B están equipados con una salida de líquido y una salida de gas, siendo dichas salidas tales que:

- 40
- las salidas de líquido de los medios A y B suministran al sistema de cultivo la primera y segunda composiciones acuosas, respectivamente;
 - la salida de gas del medio A está conectada al medio B;
 - la salida de gas del medio B está conectada al sistema de cultivo.

45 Por lo tanto, de acuerdo con esta realización, el exceso de humos se inyecta ventajosamente en los sistemas de cultivo, después de cruzar el medio B.

De acuerdo con una realización particular, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que dicha fuente de CO_2 está directamente unida a los medios A y B, y los medios A y B están equipados con una salida de líquido y una salida de gas, donde la salida de gas del medio A está en particular conectada al medio B.

50 De acuerdo con una realización particular, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que dicha fuente de CO_2 está directamente unida al medio A, y los medios A y B están equipados con una salida de

líquido y una salida de gas, donde la salida de gas del medio A está conectada al medio B.

De acuerdo con una realización ventajosa, la invención se refiere a un dispositivo como se definió con anterioridad, en el que la fuente de CO₂ es discontinua, y el sistema automático actúa sobre las diversas válvulas que conectan entre sí dicho sistema de cultivo, donde la primera composición acuosa tiene un pH superior a pH_H y la segunda composición tiene un pH inferior a pH_B de modo que:

- 5
- cuando la fuente de CO₂ produce CO₂:
 - ° el CO₂ se dirige al medio A para obtener una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H, y al medio B para obtener una segunda composición acuosa que tiene un pH inferior a pH_B;
 - ° (si se desea) el CO₂ se dirige directamente al sistema de cultivo si el pH es tal que pH_B < pH < pH_H;
 - 10 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, del CO₂ producido por dicha fuente y, opcionalmente, la segunda composición acuosa que se origina en el medio B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B;
 - 15 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, la primera composición acuosa que se origina en el medio A se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I con pH_B < pH_I < pH_H;
 - cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂:
 - ° la primera composición acuosa del medio A se agrega a dicho medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I con pH_B < pH_I < pH_H;
 - 20 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa que se origina a partir del medio B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B.

25 Las dos acciones descritas cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂ pueden revertirse. En otras palabras, no hay un orden definido en el caso general. Además, estas acciones pueden repetirse tantas veces como sea necesario.

De acuerdo con una realización ventajosa, cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂:

- 30
- ° la primera composición acuosa que se origina a partir del medio A se agrega a dicho medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, provocando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H; después
 - ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa que se origina a partir del medio B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B.

35 En particular, entre las dos acciones mencionadas con anterioridad, el pH aumenta, en particular por pH_I, hasta pH_H debido al consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por los organismos fotosintéticos en crecimiento.

De acuerdo con una realización ventajosa, cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂:

- 40
- ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa que se origina a partir de los medios B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B; después
 - ° la primera composición acuosa del medio A se agrega a dicho medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H.

45 En particular, el pH aumenta antes de la primera acción mencionada con anterioridad, hasta pH_H debido al consumo de carbono disuelto en el medio de cultivo por los organismos fotosintéticos en crecimiento. La primera y la segunda acción se vinculan.

Figuras

La figura 1 representa un dispositivo según la presente invención.

El tanque de carbonatación (2) se suministra con humo rico en CO₂ (1). La transferencia de gas-líquido se garantiza mediante una simple puesta en contacto entre la atmósfera gaseosa y el líquido, o mediante un dispositivo que permite

la generación de pequeñas burbujas para aumentar la transferencia (21). La presión dentro del recinto es una variable que permite ajustar la presión parcial en el tanque. Para optimizar el funcionamiento del tanque (2), puede equiparse con una sonda de pH/T (22), un sensor de presión (23), una válvula de alivio de presión (24), una válvula de seguridad (25) y un sensor de nivel (26) que gestionan la entrada del líquido por carbonatar (27). Se puede agregar una camisa doble (28) para regular la temperatura del tanque de carbonatación. El control de una bomba centrífuga (29) conectada a una solución básica permite generar una concentración de carbono inorgánico disuelto en la solución de carbonatación en función del pH de consigna y de la composición de CO₂ del gas de entrada.

El tanque de acidificación utiliza el mismo principio que el tanque de carbonatación, con una transferencia de gas-líquido por simple puesta en contacto o mejorado por un dispositivo que permite la generación de pequeñas burbujas (31). El tanque puede contener una válvula de seguridad (32) y un sensor de nivel (33) que administra la admisión del líquido por acidificar (34). Se suministra directamente con gas por el humo (1) y/o por la salida de gas del tanque de carbonatación (2) para maximizar el uso del humo (1).

Además de los elementos necesarios para la operación convencional de un fotobiorreactor, el elemento (4) dispone de entradas de gas (41) y líquido carbonatado (42), un respiradero (43) y un válvula de seguridad (44) en el caso de un sistema cerrado.

Los tanques de carbonatación (2) y acidificación (3) están conectados al fotobiorreactor (4) mediante:

- una red de gas que permite que los elementos (2), (3) y (4) del procedimiento se suministren independientemente con humo (1) en función de los parámetros de control;
- una red de líquido carbonatado que permite la alimentación del fotobiorreactor (4) en solución ácida o básica de acuerdo con las necesidades del fotobiorreactor (4) a través de una bomba centrífuga (11).

El sistema automático gestiona el funcionamiento de las válvulas solenoides de acuerdo con el valor de pH registrado en el fotobiorreactor (4) y la disponibilidad de humo (1). La automatización del tanque de carbonatación (2) también está garantizada por el sistema automático.

Los tanques de carbonatación y de acidificación se controlan a través del sistema automático para medir el pH en el sistema de cultivo. De hecho, la carbonatación se ve favorecida a un pH básico, y el consumo biológico de carbono en el reactor también tiende a alcalinizar el medio. Por lo tanto, los 2 tanques/soluciones líquidas están asociados con un modo de regulación específico basado en la medición del pH en el sistema de cultivo, tanto para suministrar el carbono disuelto en cantidad suficiente para el crecimiento, como para mantener el pH óptimo de crecimiento. Esto se basa en la definición de 2 puntos de ajuste de pH (punto de ajuste de pH_H alto y punto de ajuste de pH_B bajo) enmarcando el valor de crecimiento óptimo (pH_I). Al final, tenemos pH_B < pH_I < pH_H.

El consumo de carbono disuelto por el crecimiento fotosintético provoca un aumento del pH en el sistema de cultivo, cuando se alcanza el punto de ajuste de pH_H alto, la solución ácida se inyecta hasta alcanzar el punto de ajuste de pH_B bajo.

Cuando se alcanza el punto de ajuste de pH_B bajo, la solución de carbonato (básico, pH > pH_I) se inyecta hasta que se alcanza el pH de crecimiento óptimo.

El consumo de carbono disuelto hace que el ambiente se alcalinice hasta alcanzar el punto de ajuste de pH_H alto, lo que lleva a una reproducción del ciclo.

Tener en cuenta que los puntos de ajuste de pH_B y pH_H se pueden elegir muy cerca del pH_I, lo que, finalmente, permite que el pH se mantenga en el nivel óptimo para el crecimiento.

40 Ejemplo

La fuente de CO₂ es humo industrial que comprende el 9% de CO₂.

La primera y segunda composición acuosa, respectivamente, en los tanques de carbonatación y acidificación, están a una temperatura de 25°C.

En el tanque de carbonatación, el pH y la concentración de CID de la primera composición acuosa están vinculados como se indica en la siguiente tabla:

| pH | CID (mM) |
|-----|----------|
| 7,5 | 46,7 |
| 8 | 141,2 |

(continuación)

| pH | CID (mM) |
|-----------|-----------------|
| 8,5 | 444,1 |
| 9 | 1441,2 |

Por lo tanto, la adición de base, en particular una base fuerte, permite aumentar la concentración de CID en la primera composición acuosa y, por lo tanto, la cantidad de CID almacenada en el tanque de carbonatación.

- 5 En el tanque de acidificación, el pH de la segunda composición acuosa, en equilibrio, es de 4,42 y la concentración de CID es de 3 mM.

REIVINDICACIONES

1. Uso de una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H y de una segunda composición que tiene un pH inferior a pH_B para el cultivo de organismos fotosintéticos, elegidos de entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, en un sistema de cultivo que comprende un medio de cultivo, en el que:

- 5 - dicha primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H se obtiene mediante la puesta en contacto de CO_2 producido por una fuente de CO_2 , continua o discontinua, de una base, de agua y posiblemente de todos o parte de los constituyentes de un medio cultivo de algas;
- la segunda composición acuosa que tiene un pH inferior a pH_B se obtiene por disolución de CO_2 producido por dicha fuente en agua o en una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas;

siendo el pH de dicho medio de cultivo tal que:

- cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa y/o CO_2 producido por dicha fuente se agregan a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B ;
- 15 - cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B , la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$; y
- opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H , en particular pH_I , la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, en particular hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance el valor intermedio de pH_I .

2. Procedimiento de cultivo de organismos fotosintéticos, elegidos de entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, utilizando una fuente de CO_2 , continua o discontinua, en el cual el CO_2 se dirige por medio de tuberías y válvulas controladas preferiblemente por un sistema automático:

- en un sistema de cultivo que comprende un medio de cultivo para organismos fotosintéticos; y/o
- 25 - en agua o en una solución acuosa que contenga todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener, en presencia de una base, una primera composición acuosa que tenga un pH mayor que pH_H ; y/o
- en agua o en una solución acuosa que contenga todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener una segunda composición acuosa que tenga un pH por debajo de pH_B , disolviendo el CO_2 producido por dicha fuente en agua;

Procedimiento **caracterizado porque**, durante el cultivo de organismos fotosintéticos en dicho medio de cultivo para obtener una biomasa de organismos fotosintéticos utilizando CO_2 proveniente de dicha fuente y/o iones de carbonato y ácido carbónico contenidos, respectivamente, en la primera y segunda composición acuosa:

- 35 i. cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa y/o de CO_2 producido por dicha fuente se agregan a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B ;
- ii. cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B , la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I , con $pH_B < pH_I < pH_H$; y
- 40 iii) opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H , en particular pH_I , la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, en particular hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance el valor intermedio pH_I ;

estando dicho valor de pH_I , en particular, comprendido entre 6 y 10 en el medio de cultivo;

45 siendo dicho pH_H en particular tal que $pH_H = pH_I + x$ en el medio de cultivo, estando x comprendido entre 0,02 y 1,5, en particular entre 0,1 y 0,2;

siendo dicho pH_B en particular tal que $pH_B = pH_I - y$ en el medio de cultivo, estando comprendido y entre 0,02 y 1,5, en particular entre 0,1 y 0,2;

siendo dicha base legida en particular del grupo que consiste en hidróxido de sodio e hidróxido de potasio;

estando dicho medio de cultivo en particular a una temperatura comprendida entre 15°C y 35°C.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los organismos fotosintéticos se eligen del grupo que consiste en:

- microalgas, en particular microalgas de los géneros *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Chlamydomonas*, *Tetraselmis*, *Scenedesmus*, *Parachlorella*, *Porphyridium*, *Botryococcus* y *Neochloris*;

5 - cianobacterias, en particular de los géneros *Arthrospira*, *Aphazomenon* y *Synechocystis*; y

- macroalgas, en particular las macroalgas *Ulva*, *Fucus*, *Palmaria*.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la fuente de CO₂ consiste en humos industriales, eligiéndose dicha fuente de CO₂ en particular del grupo que consiste en emisiones de calderas, centrales térmicas, plantas de cemento, industrias del acero, refinerías, planta de fabricación de amoníaco, procesos de fermentación y procesos de digestión anaeróbica.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la fuente de CO₂ es discontinua, y el sistema automático actúa sobre las diversas válvulas que conectan entre sí un sistema de cultivo de organismos fotosintéticos que comprende dicho medio de cultivo, teniendo la primera composición acuosa un pH superior a pH_H y la segunda composición, un pH inferior a pH_B de modo que:

15 - cuando la fuente de CO₂ produce CO₂:

° el CO₂ se dirige al agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, para obtener dicha primera composición acuosa en presencia de una base, y en agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas para obtener dicha segunda composición acuosa mediante la disolución de CO₂ producido por dicha fuente en agua o solución acuosa;

° (si se desea) el CO₂ se dirige directamente al sistema de cultivo si el pH es tal que pH_B < pH < pH_H;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, del CO₂ producido por dicha fuente y, opcionalmente, la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite bajo, pH_B;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, el CO₂ producido por dicha fuente ya no se agrega a dicho medio de cultivo, y si se desea, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para aumentar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H;

- cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂:

° la primera composición acuosa se agrega al medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, causando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H;

° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo pH_B.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de cultivo es un sistema cerrado.

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de cultivo es un sistema abierto.

8. Dispositivo de cultivo de organismos fotosintéticos, elegidos entre microalgas, cianobacterias y macroalgas, utilizando una fuente de CO₂, continua o discontinua, que comprende los siguientes elementos:

- un medio A para capturar el CO₂ producido por dicha fuente, medio que comprende agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, y una base, y que permite obtener una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H;

- un medio B para capturar el CO₂ producido por dicha fuente, que comprende agua o una solución acuosa que contiene todos o parte de los constituyentes de un medio de cultivo de algas, y que permite obtener una segunda composición acuosa que tiene un pH por debajo de pH_B;

- un sistema de cultivo para dichos organismos fotosintéticos, equipado con medios para medir el pH;

- tuberías y válvulas que conectan la fuente de CO₂, el sistema de cultivo de dichos organismos fotosintéticos y los medios A y B

- un sistema de comando y control de los flujos gaseosos y líquidos entre la fuente de CO₂, siendo el sistema

de cultivo de dichos organismos fotosintéticos y los medios A y B, preferiblemente un sistema automático, **caracterizado porque** el sistema de control está dispuesto de manera que:

- ° el CO₂ producido por dicha fuente se dirige a dicho sistema de cultivo, y/o dichos medios A y B para capturar CO₂;
 - 5 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, la segunda composición acuosa que se origina a partir de los medios B y/o del CO₂ producido por dicha fuente se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B;
 - 10 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, la primera composición acuosa que se origina en el medio A se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H; y
 - 15 ° opcionalmente, cuando el pH de dicho medio de cultivo es inferior a pH_H, en particular pH_I, la primera composición acuosa se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, en particular hasta que el pH de dicho medio el cultivo alcance el valor intermedio de pH_I,
- estando dicho medio A en particular equipado con una sonda de pH y/o temperatura; y/o estando dicho medio A en particular equipado con un sensor de presión y una válvula de alivio de presión; y/o
- estando dicho medio A en particular equipado con un sistema que permite la formación de burbujas, en particular de burbujas de tamaño controlado, más particularmente de burbujas de un tamaño medio comprendido entre 10 μm y 50 μm, a partir del CO₂ producido por la fuente de CO₂;
- estando dicho medio B está equipado en particular con un sistema que permite la formación de burbujas, en particular burbujas de tamaño controlado, más particularmente burbujas de un tamaño medio comprendido entre 10 μm y 50 μm, a partir del CO₂ producido por la fuente de CO₂.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el sistema de cultivo es un sistema cerrado.
- 25 10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el sistema de cultivo es un sistema abierto.
11. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que los medios A y B están equipados con una salida de líquido y una salida de gas, siendo dichas salidas tales que:
- las salidas de líquido de los medios A y B suministran al sistema de cultivo la primera y segunda composición acuosa, respectivamente;
 - 30 - la salida de gas del medio A está conectada al medio B;
 - la salida de gas del medio B está conectada al sistema de cultivo.
12. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la fuente de CO₂ es discontinua, y el sistema automático actúa sobre las diversas válvulas que conectan entre sí dicho sistema de cultivo, teniendo la primera composición acuosa un pH mayor que pH_H y teniendo la segunda composición un pH más bajo que pH_B de tal manera que:
- 35 - cuando la fuente de CO₂ produce CO₂:
 - ° el CO₂ se dirige al medio A para obtener una primera composición acuosa que tiene un pH superior a pH_H, y al medio B para obtener una segunda composición acuosa que tiene un pH inferior a pH_B;
 - ° (si se desea) el CO₂ se dirige directamente al sistema de cultivo si el pH es tal que pH_B < pH < pH_H;
 - 40 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H, del CO₂ producido por dicha fuente y, opcionalmente, la segunda composición acuosa que se origina en el medio B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B;
 - 45 ° cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza dicho límite bajo, pH_B, la primera composición acuosa que se origina en el medio A se agrega a dicho medio de cultivo para elevar el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H;
- cuando la fuente de CO₂ no produce CO₂:
- ° la primera composición acuosa que se origina a partir del medio A se agrega a dicho medio de cultivo para proporcionar carbono disuelto en dicho medio de cultivo, provocando un aumento del pH hasta que preferiblemente el pH de dicho medio de cultivo alcance un valor intermedio, pH_I, con pH_B < pH_I < pH_H,

cuando el pH de dicho medio de cultivo alcanza un límite alto, pH_H , la segunda composición acuosa que se origina a partir del medio B se agrega a dicho medio de cultivo para reducir el pH, preferiblemente hasta que el pH de dicho medio de cultivo alcance un límite bajo, pH_B .

FIGURA 1

