(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 894 892**

(51) Int. CI.:

C12M 1/00 (2006.01)
C12M 1/12 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.08.2017 PCT/EP2017/071707**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18041863**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2017 E 17762082 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.07.2021 EP 3507355**

(54) Título: **Fotobiorreactor y procedimiento para el cultivo de microalgas**

(30) Prioridad:

30.08.2016 EP 16186440

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.02.2022

(73) Titular/es:

BECO INVEST B.V. (100.0%)
Fortweg 3
3992 LX Houten, NL

(72) Inventor/es:

EMMINGER, FRANZ y
FLUCH, SILVIA

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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

Fotobiorreactor y procedimiento para el cultivo de microalgas

El campo de la presente invención es el de los fotobiorreactores para el cultivo de microorganismos fotótrofos como por ejemplo microalgas.

Los microorganismos fotótrofos, como las microalgas, se cultivan principalmente debido a sus valiosos ingredientes, que se requieren, por ejemplo, en la producción de preparados médicos, alimentos y piensos, complementos alimenticios y cosméticos. A estos ingredientes pertenecen entre otros ácidos grasos insaturados (por ejemplo, ácidos grasos omega-3 y omega-6), antioxidantes como astaxantina y luteína, y clorofila. La composición de los ingredientes depende del tipo cultivado de microorganismos fotótrofos. Se utiliza predominantemente un cultivo puro de microorganismos fotótrofos para poder garantizar una determinada calidad o concentración mínima de los ingredientes deseados.

Habitualmente los microorganismos que activan la fotosíntesis se cultivan bajo la acción de la luz (por ejemplo, la luz solar) en un medio de cultivo que contiene nutrientes en un fotobiorreactor, y a continuación se concentran y procesan. Los ingredientes pueden obtenerse de la biomasa obtenida para el posterior procesamiento o la propia biomasa puede usarse, por ejemplo, como pienso o fertilizante.

Un modo constructivo de fotobiorreactores conocido en el estado de la técnica para el cultivo de microorganismos fototrópicos es el del "reactor tubular vertical" ("vertical tubular reactor"), en el que tubos verticales, paralelos y esencialmente transparente (a veces también designados como columnas) están conectados en serie y se atraviesan la mayoría de las veces en forma de meandro por el medio de cultivo con los microorganismos fotótrofos. Un fotobiorreactor de este modo constructivo se conoce, por ejemplo, por el documento US 2014/0242681 A1.

En general, los tubos de un fotobiorreactor son propensos a ensuciarse con el tiempo, en particular en funcionamiento continuo. A este respecto, los residuos del cultivo (por ejemplo, de los restos de microorganismos muertos) a menudo se acumulan en el lado interior de los tubos. Por un lado, esto puede disminuir el rendimiento lumínico (ya que estos residuos típicamente absorben luz) y, por otro lado, representa un riesgo constante de contaminación del medio de cultivo con microorganismos no deseados que encuentran un caldo de cultivo adecuado en los residuos. El rendimiento del cultivo puede reducirse, a su vez, significativamente de este modo de la reducción del rendimiento lumínico o la contaminación. Además, en particular para sectores sensibles como la producción de preparados médicos o complementos alimenticios, puede ser de gran importancia para la seguridad del producto excluir la contaminación del cultivo con microorganismos indeseables (y a veces incluso tóxicos) en la medida de lo posible.

El documento WO 2009/051478 A2 se refiere a un fotobiorreactor con un sistema de limpieza. Se puede bombear una herramienta de limpieza (por ejemplo, una esponja cilíndrica, véase también la fig. 2-5 del documento) entre estaciones para limpiar las paredes interiores del tubo del reactor (véase pág. 12, 2º párrafo). En el documento, los tubos del fotobiorreactor se dan a conocer como conectados a través de piezas de conexión en forma de U (véase la fig. 1, número de referencia 5, del documento) y no como gaseados.

El documento WO 2015/179888 A1 da a conocer un reactor de tipo vertical. Este reactor se compone de al menos un elemento de reactor que está formado por al menos dos tubos o cámaras verticales conectados, donde los elementos de reactor individuales presentan aberturas de entrada y salida en el lado inferior en respectivamente los tubos o cámaras más exteriores, donde a la abertura de entrada está asignada respectivamente una rama contra el dirección de la gravedad, es decir, una rama ascendente, y a la abertura de salida está asignada una rama en la dirección de la gravedad, es decir, una rama descendente, de modo que todas las conexiones en la zona inferior, en particular la abertura de entrada, la abertura de salida y la entrada de incorporación, están rodeadas por el medio de reacción. De la fig. 1 y fig. 3 del documento se puede deducir que los tubos o cámaras en el elemento de reactor están "conectados en serie" (véase también pág. 14, línea 19 del documento), es decir, que nunca más de dos tubos o cámaras en el elemento de reactor se dan a conocer como conectados directamente entre sí. Según una configuración, en lado superior se cierra el elemento de reactor con un elemento de cierre, donde el elemento de cierre está configurado de forma extraíble para poder limpiar la instalación (pág. 16, 1er párrafo, del documento).

El estado de la técnica cree que ha encontrado otro enfoque de solución para el problema esbozado anteriormente en el fotobiorreactor "desechable". En este caso, los componentes del reactor, como por ejemplo los tubos, están hechos de material plástico comparativamente económico que ya se reemplaza después de un corto funcionamiento.

Así el documento US 2011/0027875 A1 se refiere a un fotobiorreactor vertical económico para uso en producción. Según las formas de realización representadas del documento, en este fotobiorreactor se conectan entre sí columnas o tubos transparentes paralelos, esencialmente orientados verticalmente, mediante piezas de conexión en forma de U inferiores y superiores, de modo que el fotobiorreactor se pueda atravesar durante en forma de meandro durante el funcionamiento en un circuito cerrado por medio de cultivo con microalgas. Los tubos o columnas (o el medio de cultivo en ellos) se gasean con dióxido de carbono, que de forma conocida se convierte por las microalgas en oxígeno. Las piezas de conexión en forma de U inferiores y superiores se pueden conectar respectivamente a un tubo distribuidor de gas ("gas manifold") (véase la fig. 1, que reproduce el fragmento inferior de la fig. 1 del documento citado). Se propone un polietileno flexible de baja densidad ("material de bolsa flexible LDP") como material para las columnas o tubos. Según los párrafos [0087] – [0090], si el estado del cultivo de microalgas es desfavorable, este material se

desecha, las piezas de conexión en forma de U se separan del tubo distribuidor de gas y se limpian, por ejemplo, en un lavavajillas.

Este enfoque para la limpieza o mantenimiento de fotobiorreactores en el estado de la técnica está asociado con muchas desventajas, entre otras cosas provoca (especialmente en grandes plantas de producción) alto esfuerzo de trabajo manual y largos tiempos de inactividad, que disminuyen el rendimiento del fotobiorreactor con el tiempo. Además, el alto consumo de material (generalmente plástico) repercute de forma desventajosa en el equilibrio ecológico general de la operación del fotobiorreactor.

El objetivo de la presente invención es simplificar la limpieza o el mantenimiento de un fotobiorreactor para cultivar microorganismos fotótrofos. De este modo se puede aumentar la vida útil o el rendimiento del fotobiorreactor y reducirse los costos operativos.

La presente invención pone a disposición un fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos fotótrofos, con un elemento de reactor que presenta una pluralidad de tubos ascendentes y descendentes para el medio de cultivo líquido que contiene los microorganismos, y un tubo distribuidor. Los tubos ascendentes y descendentes están conectados respectivamente en su extremo superior al tubo distribuidor de una manera permeable a líquidos. Al menos uno de los tubos ascendentes y uno de los descendentes están conectados (o unidos) adicionalmente entre sí mediante una pieza de conexión de manera permeable a líquidos. El fotobiorreactor también presenta un dispositivo para introducir gas en al menos un tubo ascendente. Según la invención, el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que, en el estado operativo en el tubo distribuidor están presentes tanto el medio de cultivo como también, por encima del medio de cultivo, un espacio de gas para recibir las burbujas de gas que ascienden del medio de cultivo, donde una interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas está dispuesta en el tubo distribuidor. De este modo se resuelve el problema planteado.

Por consiguiente, la invención también proporciona un procedimiento para cultivar microorganismos fotótrofos. Este comprende la exposición de un fotobiorreactor a la luz, donde el fotobiorreactor está provisto de un elemento de reactor que presenta una pluralidad de tubos ascendentes y descendentes para un medio de cultivo líquido, que contiene los microorganismos, y un tubo distribuidor, donde los tubos ascendentes y descendentes están conectados respectivamente en su extremo superior al tubo distribuidor de manera permeable a líquidos, donde al menos uno de los tubos ascendentes y uno de los descendentes están conectados adicionalmente entre sí mediante una pieza de conexión de manera permeable a líquidos, y donde el fotobiorreactor en los tubos ascendentes y descendentes contiene un medio de cultivo líquido con los microorganismos, que se gasea al menos parcialmente. Tanto el medio de cultivo líquido con los microorganismos como también, por encima del medio de cultivo, está presente un espacio de gas en el tubo distribuidor, donde en el tubo distribuidor se configura una interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas, y el espacio de gas recibe las burbujas de gas que ascienden del medio de cultivo. De este modo también se resuelve el problema planteado.

Durante el desarrollo de la presente invención se ha encontrado que precisamente las superficies interiores de un fotobiorreactor (o el "espacio de interfaz" en las proximidades de la interfaz) situadas en contacto con la interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas son propensas a ensuciamientos, donde con la duración del funcionamiento normalmente se acumula cada vez más suciedad. En la zona de la interfaz (que a menudo varía ligeramente en altura durante duración de funcionamiento) puede ocurrir una y otra vez la formación de espuma y el secado de los residuos de los microorganismos fotótrofos. En particular, si está previsto un gaseado del fotobiorreactor, apenas se puede evitar la aparición de tales interfaces (o espacios de interfaz) propensas al ensuciamiento en el fotobiorreactor. Además, las burbujas de gas que ascienden del medio de cultivo provocan que la superficie interior del fotobiorreactor se salpique con medio de cultivo y estas salpicaduras también se secan con el tiempo y forman de este modo ensuciamientos. Si las interfaces mencionadas, como se muestra en la fig.1 (véase en particular las flechas curvas superiores en la fig.1), están ubicadas en zonas más difícilmente accesibles, a menudo no queda nada para limpiar que el desmontaje temporal del fotobiorreactor, como se da a conocer por ejemplo en el documento US 2011/0027875 A1.

La presente invención se basa, entre otras cosas, en el conocimiento de que limpiar o mantener limpio el fotobiorreactor se facilita esencialmente en tanto que las interfaces nombradas de zonas más difícilmente accesibles se desplazan a un tubo distribuidor (más fácilmente accesible) gracias al modo constructivo según la invención o el funcionamiento del fotobiorreactor según la invención y se combina allí para formar una interfaz.

Se ha descubierto inesperadamente que todavía se puede mantener una circulación en forma de meandro en el fotobiorreactor según la invención, aunque en el estado de la técnica se prevén habitualmente piezas de conexión en forma de U tanto en el extremo superior como en el inferior del tubo ascendente y descendente para asegurar la circulación en forma de meandro (véase por ejemplo el documento US 2014/0242681 A1 o el US 2011/0027875 A1). Por tanto, en una forma de realización preferida del procedimiento según la invención, los tubos ascendentes y descendentes se atraviesan por el medio de cultivo en forma de meandro. Una ventaja de la circulación en forma de meandro es que la maduración de los microorganismos fotótrofos discurre de forma más regulada, ya que los microorganismos del grado de madurez similar se separan entre sí en menor medida en el medio de cultivo que lo que sería el caso de una circulación más caótica (p. ej. si están presentes turbulencias o diferentes trayectos de flujo). De esta manera, los microorganismos de grado de madurez similar también se pueden eliminar más fácilmente conjuntamente del fotobiorreactor.

Para la estabilización de la circulación en forma de meandro ha demostrado ser especialmente ventajoso que en el fotobiorreactor estén previstos al menos dos elementos de reactor, donde un tubo descendente del primer elemento de reactor está conectado a un tubo ascendente del segundo elemento de reactor a través de una pieza de conexión de manera permeable a líquidos.

En una realización preferida, en el estado operativo, se logra una circulación en forma de meandro del medio de cultivo a través de los tubos ascendentes y tubos descendentes, porque el medio de cultivo se gasea más fuertemente en el tubo ascendente conectado al tubo descendente a través de la pieza de conexión. En este contexto, también se puede hablar de un efecto "gas lift". Una ventaja de esta realización es que durante el funcionamiento se puede prescindir al menos en gran medida de bombas (que habitualmente son dañinas para los microorganismos fotótrofos debido a las fuerzas de cizallamiento que provocan). Otra ventaja consiste en que las superficies interiores de los tubos ascendentes y descendentes se mantienen más limpias debido al contacto frecuente con las burbujas de gas ascendentes.

En el estado operativo del fotobiorreactor, una agitación y/o un flujo del medio de cultivo se provoca convenientemente esencialmente por las burbujas de gas que ascienden en el medio de cultivo.

En una forma de realización especialmente preferida, en el tubo distribuidor está previsto un dispositivo para guiar un dispositivo de mantenimiento móvil en el tubo distribuidor. A este respecto puede ser, por ejemplo, un carril de guiado, un cable de guiado o una barra con marcas de posicionamiento que se pueden leer por el dispositivo de mantenimiento. En particular, si el dispositivo de guiado es magnético, también se puede colocar en el lado exterior del tubo distribuidor. El dispositivo de mantenimiento puede liberar de residuos eventualmente secos, es decir, limpiar o mantener limpia la superficie interior del tubo distribuidor, en particular en la zona de la interfaz, con la ayuda de boquillas de pulverización, cepillos y/o escobillas.

En una realización preferida del procedimiento según la invención, la superficie interior del tubo distribuidor se limpia por el dispositivo de mantenimiento móvil, preferentemente a intervalos de tiempo preajustables. Esto tiene lugar ventajosamente durante el funcionamiento, de modo que se evitan en la medida de lo posible pérdidas de rendimiento. A este respecto es conveniente si el dispositivo de mantenimiento puede fluir dentro del tubo distribuidor.

Gracias al modo constructivo según la invención se permite que se puedan utilizar componentes de vidrio (de mayor calidad) en lugar de componentes de plástico desechables, entre otras cosas ya que el riesgo de rotura del vidrio se reduce si se requiere con menos frecuencia un desmontaje para la limpieza. Por tanto, en una forma de realización preferida del fotobiorreactor, los tubos ascendentes y descendentes y/o el tubo distribuidor están hechos esencialmente de vidrio. De este modo se eleva entre otros la longevidad o resistencia del fotobiorreactor, en particular cuando se cultivan microalgas, que necesitan un medio de cultivo con un valor de pH extremo. Se añade que el vidrio típicamente se vuelve menos áspero con el tiempo que el plástico usado habitualmente, de modo que la limpieza o mantenimiento se simplifica. El vidrio puede estar recubierto según se da a conocer, por ejemplo, en el documento DE 10 2009 029 792 A1 o el WO 2011/015653 A2.

Según otra forma de realización preferida está previsto una entrada para el gaseado con el dispositivo para el tubo ascendente conectado al tubo descendente a través de la pieza de conexión, y está prevista otra entrada para el gaseado con el dispositivo para el tubo descendente conectado al tubo ascendente a través de la pieza de conexión. De este modo se puede permitir un gaseado de diferente intensidad de los tubos ascendentes y descendentes. En el caso de gaseado a través de la misma línea de gas, esto se puede lograr, por ejemplo, proporcionando una entrada de gaseado del tubo ascendente con una o varias aberturas (por ejemplo, en forma de membranas o discos sinterizados), que en conjunto son más permeables que las de la entrada de gaseado del tubo descendente. Alternativamente, el tubo ascendente (es decir, la entrada de gaseado del tubo ascendente) se puede gasear con una presión A a través de una primera línea de gas, mientras que el tubo descendente (es decir, la entrada de gaseado del tubo descendente) se gasea con una presión B a través de una segunda línea de gas, donde A es mayor que B.

Es especialmente ventajoso que en la pieza de conexión esté prevista al menos una de las entradas para el gaseado, ya que esto es más fácil de realizar en la construcción del fotobiorreactor. La pieza de conexión se puede componer (de forma continua) de materiales no transparentes, más fáciles de mecanizar, como por ejemplo acero inoxidable.

El fotobiorreactor de la presente invención es preferentemente del tipo de reactor tubular (“tubular reactor”), más exactamente, un reactor tubular vertical (“vertical tubular reactor”) o no un reactor de placas (o “plate reactor” o “flat panel reactor”).

Según la invención, dicha pluralidad de tubos ascendentes o descendentes del elemento de reactor, que están conectados al mismo tubo distribuidor de manera permeable a líquidos, es de al menos tres (por ejemplo, en la disposición tubo descendente – tubo ascendente – tubo descendente o tubo ascendente – tubo descendente - tubo ascendente a lo largo del tubo distribuidor). En el sentido de la escalabilidad de la limpieza es favorable que dicha pluralidad sea al menos cuatro, preferiblemente al menos cinco, más preferiblemente al menos diez, incluso más preferiblemente al menos veinte, en particular al menos treinta o incluso al menos cuarenta. Ventajosamente, se selecciona una disposición alterna de tubos ascendentes o descendentes a lo largo del tubo distribuidor (así por ejemplo, tubo ascendente – tubo descendente - tubo ascendente - … - tubo descendente - tubo ascendente o tubo ascendente – tubo descendente – tubo ascendente – … - tubo descendente – tubo ascendente – tubo descendente,

o tubo descendente – tubo ascendente – tubo descendente - … - tubo ascendente). Apropiadamente, el posicionamiento de las entradas y salidas (por ejemplo, en el extremo superior o inferior) en el fotobiorreactor se debería seleccionar, por supuesto, según esta disposición, de modo que se evite un volumen muerto. Es evidente para un experto en la materia que invirtiendo el flujo del medio de cultivo (por ejemplo, cambiando el gaseado) un tubo ascendente puede convertirse en un tubo descendente o viceversa. A partir de la suma de los vectores de velocidad de flujo de las circulaciones del medio de cultivo que prevalecen en el tubo distribuidor (en particular si se guía una circulación en forma de meandro en el elemento de reactor) se produce ventajosamente un vector de velocidad de flujo que es esencialmente paralelo al eje longitudinal del tubo distribuidor (por decirlo así, una circulación neta a lo largo del eje longitudinal, véanse también las flechas a trazos horizontales en la fig. 3).

Es favorable si los ejes longitudinales de los tubos ascendentes o descendente están, opcionalmente de forma independiente entre sí, en un ángulo de más de 5°, preferiblemente más de 20°, más preferiblemente de más de 40° o incluso de más de 60°, todavía más preferiblemente de más de 70° o incluso de más de 80°, en particular de más de 85° o incluso de más de 87,5° hasta el nivel del medio de cultivo o del tubo distribuidor. Es especialmente favorable si los ejes longitudinales de los tubos ascendentes y descendentes son esencialmente normales (o normales) al nivel del medio de cultivo o al tubo distribuidor (preferiblemente esencialmente horizontal) (en otras palabras: si estos están orientados verticalmente). Convenientemente, los ejes longitudinales de los tubos ascendentes y descendentes (en particular los que están conectados por una pieza de conexión) son esencialmente paralelos entre sí.

Según la definición según la invención, el tubo distribuidor ("manifold") presenta al menos tres conexiones permeables a líquidos para tubos ascendentes y descendentes. Estos pueden estar configurados, por ejemplo, como taladros, aberturas o extensiones de conexión (en este caso, sin embargo, la interfaz mencionada debe estar ubicada en el interior del propio tubo distribuidor (en otras palabras: en el tubo principal del tubo distribuidor) para asegurar una limpieza sencilla). Es favorable que el tubo distribuidor a lo largo de su eje longitudinal no presente un gradiente o una inclinación con un ángulo (con respecto al nivel del medio de cultivo) de más de 10°, preferiblemente de más de 5°, más preferiblemente de más de 2,5º, incluso más preferiblemente de más de 1° o incluso de más de 0,5°. El tubo distribuidor está orientado de manera especialmente preferible esencialmente horizontal u horizontalmente (a lo largo de su eje longitudinal) (es decir, su eje longitudinal es esencialmente paralelo o paralelo al nivel del medio de cultivo).

En el contexto de la invención, el espacio de gas en el tubo distribuidor (que se encuentra por encima del medio de cultivo en el tubo distribuidor) es preferiblemente un espacio de gas que se extiende a lo largo del eje longitudinal del tubo distribuidor sobre al menos el 10%, preferiblemente al menos 20% o incluso al menos 30%, más preferiblemente al menos 40% o incluso al menos 50%, todavía más preferiblemente al menos 60% o incluso al menos 70%, en particular al menos 80% o incluso al menos 90% de la longitud del tubo distribuidor. Es especialmente conveniente si el espacio de gas mencionado se extiende sobre toda la longitud del tubo distribuidor. Se entiende que bajo "gas" también puede entenderse como una mezcla de gases.

Para facilitar la limpieza, el tubo distribuidor y/o los tubos ascendentes o descendentes no presentan convenientemente, eventualmente independientemente entre sí, ninguna curvatura a lo largo de su eje longitudinal de más de 90°, preferiblemente de más de 70°, más preferiblemente de más de 50°, todavía más preferiblemente de más de 30° o incluso de más de 20°, en particular de más de 10° o incluso de más de 5°. Es especialmente favorable que el tubo distribuidor y/o los tubos ascendentes o descendentes sean esencialmente rectos o rectos a lo largo de su eje longitudinal. El tubo distribuidor y/o los tubos ascendentes o descendentes (eventualmente con la excepción de cualquier extensión de conexión) tienen preferiblemente un perfil esencialmente redondo.

Para todo el contexto de la invención se aplica que una pieza de conexión conecta preferiblemente exactamente uno de los tubos ascendentes con exactamente uno de los tubos de bajada de manera permeable a líquidos (o une los dos entre sí de manera permeable a líquidos). A este respecto es preferible que al menos todos menos uno o dos tubos ascendentes del elemento de reactor y/o al menos todos menos uno o dos tubos descendentes del elemento de reactor estén conectados por pares a dicha pieza de conexión de manera permeable a líquidos, en particular al menos todos menos un tubo ascendente del elemento de reactor y/o al menos todas menos un tubo de bajada del elemento de reactor están conectado cada vez por pares a una pieza de conexión de manera permeable a líquidos. Constructivamente es favorable (en particular para favorecer una circulación en forma de meandro) si una pieza de conexión conecta entre sí un tubo ascendente y un tubo descendente, que son adyacentes entre sí (es decir, están unidos de forma adyacente al tubo distribuidor), de manera permeable a líquidos.

Bajo "estado operativo" debe entenderse aquí un estado del fotobiorreactor en el que se cultivan microorganismos fotótrofos vivos en medio de cultivo en el fotobiorreactor, donde el medio de cultivo en el fotobiorreactor presenta preferentemente una circulación (en particular esencialmente causada por el gaseado).

La presente invención se refiere además a los siguientes aspectos o formas de realización de la misma:

Forma de realización 1. Fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos fotótrofos, con un elemento de reactor que presenta un tubo, y con un dispositivo de mantenimiento y un sistema de accionamiento que puede mover el dispositivo de mantenimiento en el tubo, donde el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el tubo en el estado operativo del fotobiorreactor de medio de cultivo líquido con los microorganismos se atraviesa al menos parcialmente, caracterizado por que el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento se puede

utilizar en el estado operativo del fotobiorreactor en el tubo y se puede mover por el sistema de accionamiento al menos contra la circulación del medio de cultivo en el tubo.

Forma de realización 2. Fotobiorreactor según la forma de realización 1, caracterizado por que el fotobiorreactor también presenta un dispositivo para el gaseado del medio de cultivo, donde el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que, en el estado operativo del fotobiorreactor, el dispositivo de mantenimiento en el tubo se pone en contacto con burbujas de gas situadas en el medio de cultivo.

Forma de realización 3. Fotobiorreactor según la forma de realización 1 o 2, caracterizado por que, en el estado operativo del fotobiorreactor, el dispositivo de mantenimiento se puede fluir alrededor y/o atravesar en el tubo para el medio de cultivo.

Forma de realización 4. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 3, caracterizado por que el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que en el estado operativo en el tubo están presentes tanto el medio de cultivo como también, por encima del medio de cultivo, un espacio de gas para recibir burbujas de gas que ascienden del medio de cultivo, donde en el tubo está dispuesta una interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas, y el dispositivo de mantenimiento está configurado al menos para la limpieza de la superficie interior del tubo en contacto con el gas espacio.

Forma de realización 5. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 4, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta una boquilla de pulverización para pulverizar la superficie interior del tubo con un líquido de limpieza, preferiblemente donde el dispositivo de mantenimiento está concebido al menos para pulverizar la superficie interior del tubo en contacto con dicho espacio de gas mediante la boquilla de pulverización.

Forma de realización 6. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 5, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta al menos una escobilla de un material elástico para limpiar la superficie interior del tubo, preferiblemente donde el dispositivo de mantenimiento está concebido al menos para limpiar la superficie interior del tubo en contacto con dicho espacio de gas con la escobilla y/o preferentemente donde el dispositivo de mantenimiento presenta una boquilla, eventualmente varias, que está concebida para pulverizar la escobilla con un líquido de limpieza.

Forma de realización 7. Fotobiorreactor según la forma de realización 5 o 6, donde la boquilla de pulverización está conectada a través de una línea a un depósito de líquido fuera del tubo.

Forma de realización 8. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 8, caracterizado por que el tubo es un tubo distribuidor con al menos tres conexiones para la admisión o evacuación del medio de cultivo, y el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento se puede mover hacia al menos una de las conexiones en el tubo y puede obturarla.

Forma de realización 9. Fotobiorreactor según la forma de realización 8, caracterizado por que el elemento de reactor presenta además una pluralidad de tubos ascendentes y descendentes para el medio de cultivo líquido, donde los tubos ascendentes y descendentes están conectados respectivamente en su extremo superior al tubo configurado como tubo distribuidor de manera permeable a líquidos, donde al menos uno de los tubos ascendentes y uno de los descendentes están conectados adicionalmente entre sí a través de una pieza de conexión, y donde el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento puede obturar simultáneamente la conexión para el tubo descendente y la conexión para el tubo ascendente, que ambos están conectados entre sí adicionalmente a través de una pieza de conexión de manera permeable a líquidos.

Forma de realización 10. Fotobiorreactor según la forma de realización 9, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento está concebido para limpiar el tubo descendente obturado con respecto a el tubo por el dispositivo de mantenimiento y el tubo ascendente obturado con respecto al tubo por el dispositivo de mantenimiento, que ambos están conectados entre sí a través de una pieza de conexión de manera permeable a líquidos.

Forma de realización 11. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 10, caracterizado por que en el tubo, preferiblemente en su lado exterior, está prevista una barra de guiado para estabilizar y/o posicionar el dispositivo de mantenimiento en el tubo.

Forma de realización 12. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 11, caracterizado por que el sistema de accionamiento presenta al menos un cabrestante de cable que puede accionar un cable guiado en el tubo y conectado al dispositivo de mantenimiento, preferentemente donde el cabrestante de cable está equipado con un dispositivo para desinfectar el cable.

Forma de realización 13. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 12, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta al menos dos módulos que están conectados entre sí a través de un acoplamiento, preferentemente donde el tubo está hecho esencialmente de vidrio.

Forma de realización 14. Fotobiorreactor según cualquiera de las formas de realización 1 a 13, caracterizado por que el fotobiorreactor presenta una estación para el dispositivo de mantenimiento que está concebida para limpiar el

dispositivo de mantenimiento y en la que se puede mover el dispositivo de mantenimiento.

Forma de realización 15. Procedimiento para cultivar microorganismos fotótrofos en un fotobiorreactor, donde el fotobiorreactor está equipado con un elemento de reactor que presenta un tubo y con un dispositivo de mantenimiento en el tubo y un sistema de accionamiento que mueve el dispositivo de mantenimiento en el tubo, donde el tubo se atraviesa al menos parcialmente por el medio de cultivo líquido con los microorganismos, caracterizado por que el procedimiento comprende el uso del dispositivo de mantenimiento en el tubo en el estado operativo del fotobiorreactor y el dispositivo de mantenimiento se mueve por el sistema de accionamiento al menos contra la circulación del medio de cultivo en el tubo, preferentemente donde el fotobiorreactor está definido además según cualquiera de las formas de realización 1 a 11.

Forma de realización 16. Dispositivo de mantenimiento móvil para el mantenimiento de la superficie interior de un tubo de un fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos fotótrofos, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento para el mantenimiento de la superficie interior del tubo durante el funcionamiento del fotobiorreactor, mientras que el tubo se atraviesa al menos parcialmente por el medio de cultivo líquido con los microorganismos, es adecuado y está concebido para moverse por un sistema de accionamiento externo, que presenta preferiblemente un cabestrante de cable, al menos contra la circulación del medio de cultivo en el tubo.

Forma de realización 17. Dispositivo de mantenimiento móvil según la forma de realización 16, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta una boquilla de pulverización para pulverizar la superficie interior del tubo con un líquido limpieza y una conexión para una línea con el líquido.

Forma de realización 18. Dispositivo de mantenimiento móvil según la forma de realización 16 o 17, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta al menos una escobilla de un material elástico para limpiar la superficie interior del tubo, preferentemente donde el dispositivo de mantenimiento presenta una boquilla de pulverización, eventualmente varias, que está concebida para la pulverización de la escobilla con un líquido de limpieza.

Forma de realización 19. Dispositivo de mantenimiento móvil según cualquiera de las formas de realización 16 a 18, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento presenta al menos dos módulos que están conectados entre sí a través de un acoplamiento.

Forma de realización 20. Dispositivo de mantenimiento móvil según cualquiera de las formas de realización 16 a 19, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento está equipado además con un dispositivo para obturar las conexiones del tubo.

Forma de realización 21. Uso del dispositivo de mantenimiento móvil según cualquiera de las formas de realización 16 a 20 para el mantenimiento de la superficie interior de un tubo de un fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos fotótrofos, donde el mantenimiento se realiza durante el funcionamiento continuo del fotobiorreactor, donde el tubo se atraviesa al menos parcialmente por el medio de cultivo líquido con los microorganismos.

La invención se explica a continuación aún más con la ayuda de ejemplos de realización especialmente preferidos a los que, sin embargo, no se limita, y con referencia a los dibujos. Los dibujos muestran en detalle:

Fig. 1 muestra un fotobiorreactor según el estado de la técnica (US 2011/0027875 A1), en el que las interfaces entre el medio de cultivo y el espacio de gas se encuentran por debajo del tubo distribuidor de gas superior;

Fig. 2 muestra una vista en planta de una realización del fotobiorreactor según la invención en el estado operativo;

Fig. 3 muestra una vista en planta de una realización del fotobiorreactor según la invención con dispositivo de mantenimiento en el estado operativo;

Fig. 4 es una vista localmente ampliada de las realizaciones según la fig. 2 y la fig. 3;

Figura 5A muestra una vista en planta de un tubo distribuidor lleno según se puede utilizar para la presente invención;

Figura 5B muestra una vista en perspectiva del tubo distribuidor según la fig. 5A;

Fig. 6 muestra una vista en perspectiva de un armazón metálico, según puede ser para realizaciones de elementos de reactor del fotobiorreactor según la invención;

Fig. 7 muestra una vista en perspectiva de los elementos de reactor de una forma de realización del fotobiorreactor según la invención.

La fig. 2 muestra un fotobiorreactor 1 para el cultivo de microorganismos fotótrofos, con dos elementos de reactor 2, que presentan respectivamente una pluralidad de tubos ascendentes 3a y descendentes 3b verticales rectos para el medio de cultivo 4 y un tubo distribuidor 5 horizontal recto. El medio de cultivo 4 es un medio de cultivo líquido a base de agua y enriquecido con nutrientes; contiene los microorganismos fotótrofos (habitualmente microalgas). Dichos tubos están hechos de vidrio, donde los tubos de distribución 5 están previstos con prolongaciones de conexión 50 (véanse también la fig. 5A y la fig. 5B). Los tubos ascendentes 3a y los tubos descendentes 3b están conectados

respectivamente en su extremo superior 6 con la ayuda del conector de tubo 51 a las prolongaciones de conexión 50 del tubo distribuidor 5 de manera permeable a líquidos. Los tubos ascendentes 3a y los tubos descendentes 3b están conectados adicionalmente entre sí de manera permeable a líquidos a través de cada vez una pieza de conexión 7 en forma de U (véase también la fig. 4).

El fotobiorreactor 1 también presenta un dispositivo 8 para introducir dióxido de carbono (y/o aire comprimido) en los tubos ascendentes 3a o los tubos descendentes 3b. Para el tubo ascendente 3a conectado al tubo descendente 3b a través de la pieza de conexión 7 está previsto una entrada 14a para el gaseado mediante el dispositivo 8. Otra entrada 14b para el gaseado mediante el dispositivo 8 está prevista para el tubo descendente 3b conectado al tubo ascendente 3a a través de la pieza de conexión 7. El dióxido de carbono se bombea desde un tanque de líquido a un tubo distribuidor de gas mediante una bomba de gas. Las conexiones del tubo distribuidor de gas están conectadas por mangueras con cada vez una entrada 14a o 14b. Al prever una abertura de la entrada 14a que es más permeable que la abertura de la entrada 14b se posibilita un gaseado más intenso de los tubos ascendentes 3a en comparación con los tubos descendentes 3b. Esto conduce a una circulación en forma de meandro del medio de cultivo 4 (hacia arriba en los tubos ascendentes 3a, hacia abajo en los tubos descendentes 3b; véase también las flechas a trazos en la fig. 3) - sorprendentemente aunque en el respectivo extremo superior 6 de los tubos ascendentes 3a o descendentes 3b no estén previstas piezas de conexión 7 en forma de U sino el tubo distribuidor 5. Esta circulación en forma de meandro se estabiliza aún más en tanto que los dos elementos de reactor 2 están conectados entre sí a través de un tubo descendente 3b del primer elemento de reactor 2 con un tubo ascendente 3a del segundo elemento de reactor 2 a través de una pieza de conexión 7 en forma de U de manera permeable a líquidos – es decir, simplemente mediante previsión de un "hueco" "entre los dos tubos distribuidores 5.

La entrada 52a y la salida 52b se pueden conectar entre sí a través de una manguera, por lo que se posibilita un funcionamiento cíclico del fotobiorreactor 1. Después de un cierto número de ciclos con exposición a la luz, el medio de cultivo 4, que ahora contiene una concentración significativamente mayor de microorganismos, puede retirarse en la salida 52b para la recolección (es decir, para la concentración y secado de los microorganismos fotótrofos), mientras que medio de cultivo fresco 4 con una concentración inicial baja de microorganismos fototrópicos se introduce en la entrada 52a. Por supuesto, también es concebible un funcionamiento cíclico continuo, en el que la entrada 52a permanece conectada a la salida 52b por una manguera, y medio de cultivo fresco 5 se suministra continuamente a una entrada en una primera pieza de conexión inferior 7 y en una salida en una segunda pieza de conexión inferior 7 situada directamente delante partiendo de la dirección de circulación se retira continuamente la misma cantidad del medio de cultivo más denso 4. Naturalmente, para ello se requiere una cierta longitud mínima del recorrido de cultivo. Asimismo, si el fotobiorreactor 1 presenta una cierta longitud mínima, también es concebible un funcionamiento lineal continuo, en el que se incorpora continuamente medio de cultivo fresco 4 con una concentración inicial baja de microorganismos fotótrofos en la entrada 52a y se extrae continuamente la misma cantidad de medio de cultivo maduro 4 en la salida 52b para la cosecha. Sin embargo, también se pueden prever entradas en otros puntos del reactor (por ejemplo, pieza de conexión en forma de U del primer / último tubo ascendente o descendente, pero también en otra pieza de conexión de arco en U en el fotobiorreactor).

El medio de cultivo 4 que fluye en forma de meandro con los microorganismos fotótrofos está tan alto en los elementos de reactor 2 que los tubos de distribución 5 están llenos respectivamente aproximadamente hasta la mitad con él. En el tubo distribuidor 5 están presentes tanto medio de cultivo 4 como también, encima del medio de cultivo 4, un espacio de gas 9 para recibir burbujas de gas 10 que ascienden del medio de cultivo 4, donde en el tubo distribuidor 5 está dispuesta una interfaz 11 entre el medio de cultivo 4 y el espacio de gas 9. La compensación de la presión de gas con el entorno tiene lugar a través de la válvula 53, que está equipada con un sistema de filtrado para evitar la contaminación del medio de cultivo 4.

Los ensuciamientos en la superficie interior del tubo distribuidor 5 que están en relación con la interfaz 11 entre el medio de cultivo 4 y el espacio de gas 9 se puede limpiar con relativamente poco esfuerzo en tanto que se pone brevemente fuera de funcionamiento el fotobiorreactor 1, se deja salir el medio de cultivo 4 del tubo distribuidor 5, se retira la placa de cubierta 54 del tubo distribuidor y la superficie interior del tubo distribuidor se limpia, por ejemplo, con un cepillo fijado a una barra telescópica.

La realización del fotobiorreactor 1 mostrada en la fig. 3 permite limpiar o mantener limpia la superficie interior del tubo distribuidor 5 durante el funcionamiento. A este respecto, el carril de guiado 12 para el dispositivo de mantenimiento móvil 13 está previsto en el tubo distribuidor 5. El dispositivo de mantenimiento 13 está equipado con cepillos y boquillas de pulverización para la superficie interior del tubo distribuidor 5. El dispositivo de mantenimiento 13 es, por ejemplo, magnético y se puede mover mediante un imán (o cables) desplazable en el carril de guiado 12. Se puede fluir alrededor del dispositivo de mantenimiento 13 y se puede utilizar durante el funcionamiento en curso a intervalos de tiempo preajustados, lo que reduce esencialmente los tiempos de inactividad del fotobiorreactor 1. Las flechas a trazos clarifican la trayectoria de circulación en el elemento de reactor 2.

La fig. 7 muestra esquemáticamente una forma de realización del fotobiorreactor 1, en la que el respectivo tubo distribuidor 5 de un elemento de reactor 2 se compone de secciones de vidrio 56 conectadas directamente entre sí. En cada caso, dos elementos de reactor 2 se sujetan por la estructura metálica 55 mostrada en la fig. 6.

REIVINDICACIONES

1. Fotobiorreactor (1) para el cultivo de microorganismos fotótrofos,

con un elemento de reactor (2) que presenta una pluralidad de tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b) para el medio de cultivo líquido (4) que contiene los microorganismos, y un tubo distribuidor (5), donde los tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b) están conectados de manera permeable a líquidos en su extremo superior (6) al tubo distribuidor (5), donde al menos uno de los tubos ascendentes (3a) y uno de los tubos descendentes (3b) están conectados adicionalmente entre sí de manera permeable a líquidos mediante una pieza de conexión (7),

donde el fotobiorreactor (1) presenta además un dispositivo (8) para introducir gas en al menos un tubo ascendente (3a),

caracterizado por que el fotobiorreactor (1) está diseñado de tal manera que en el estado operativo en el tubo distribuidor (5) están presentes tanto el medio de cultivo (4) como también, por encima del medio de cultivo (4), un espacio de gas (9) para recibir burbujas de gas (10) que ascienden del medio de cultivo (4), donde está dispuesta una interfaz (11) entre el medio de cultivo (4) y el espacio de gas (9) en el tubo distribuidor (5).

2. Fotobiorreactor (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que están previstos al menos dos elementos de reactor (2), donde un tubo descendente (3b) del primer elemento de reactor (2) y un tubo ascendente (3a) del segundo elemento de reactor (2) están conectados entre sí de manera permeable a líquidos mediante una pieza de conexión (7).

3. Fotobiorreactor (1) según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** los tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b) y/o el tubo distribuidor (5) están hechos sustancialmente de vidrio.

4. Fotobiorreactor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** en el tubo distribuidor (5) está previsto un dispositivo (12) para guiar un dispositivo de mantenimiento (13) móvil en el tubo distribuidor (5).

5. Fotobiorreactor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** está prevista una entrada (14a) para la gaseado con el dispositivo (8) para el tubo ascendente (3a) conectado al tubo descendente (3b) a través de la pieza de conexión (7), y que está prevista otra entrada (14b) para la gaseado con el dispositivo (8) para el tubo descendente (3b) conectado al tubo ascendente (3a) a través de la pieza de conexión (7).

6. Fotobiorreactor (1) según la reivindicación 5, **caracterizado por que** está prevista al menos una de las entradas de gaseado (14a, 14b) en la pieza de conexión (7).

7. Fotobiorreactor (1) según la reivindicación 5 o 6, **caracterizado por que** está diseñado de tal manera que en el estado operativo, una agitación y/o un flujo del medio de cultivo (4) se provoca sustancialmente por las burbujas de gas (10) que ascienden en el medio de cultivo (4).

8. Fotobiorreactor (1) según la reivindicación 7, **caracterizado por que** está diseñado de tal manera que en el estado operativo se logra una circulación en forma de meandro del medio de cultivo (4) a través de los tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b), **por que** el medio de cultivo (4) en el tubo ascendente (3a) conectado al tubo descendente (3b) a través de la pieza de conexión (7) se gasea más fuertemente que en el tubo descendente (3b).

9. Procedimiento para cultivar microorganismos fotótrofos, que comprende la exposición de un fotobiorreactor (1) a la luz,

donde el fotobiorreactor (1) está provisto de un elemento de reactor (2) que presenta una pluralidad de tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b) para el medio de cultivo líquido (4) que contiene los microorganismos, y un tubo distribuidor (5), donde los tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b) están conectados respectivamente de manera permeable a líquidos en su extremo superior (6) al tubo distribuidor (5), donde al menos uno de los tubos ascendentes (3a) y uno de los tubos descendentes (3b) están conectados adicionalmente entre sí de manera permeable a líquidos a través de una pieza de conexión (7),

y donde el fotobiorreactor (1) en los tubos ascendentes (3a) y los tubos descendentes (3b) contiene medio de cultivo líquido (4) con los microorganismos, que se gasea al menos parcialmente,

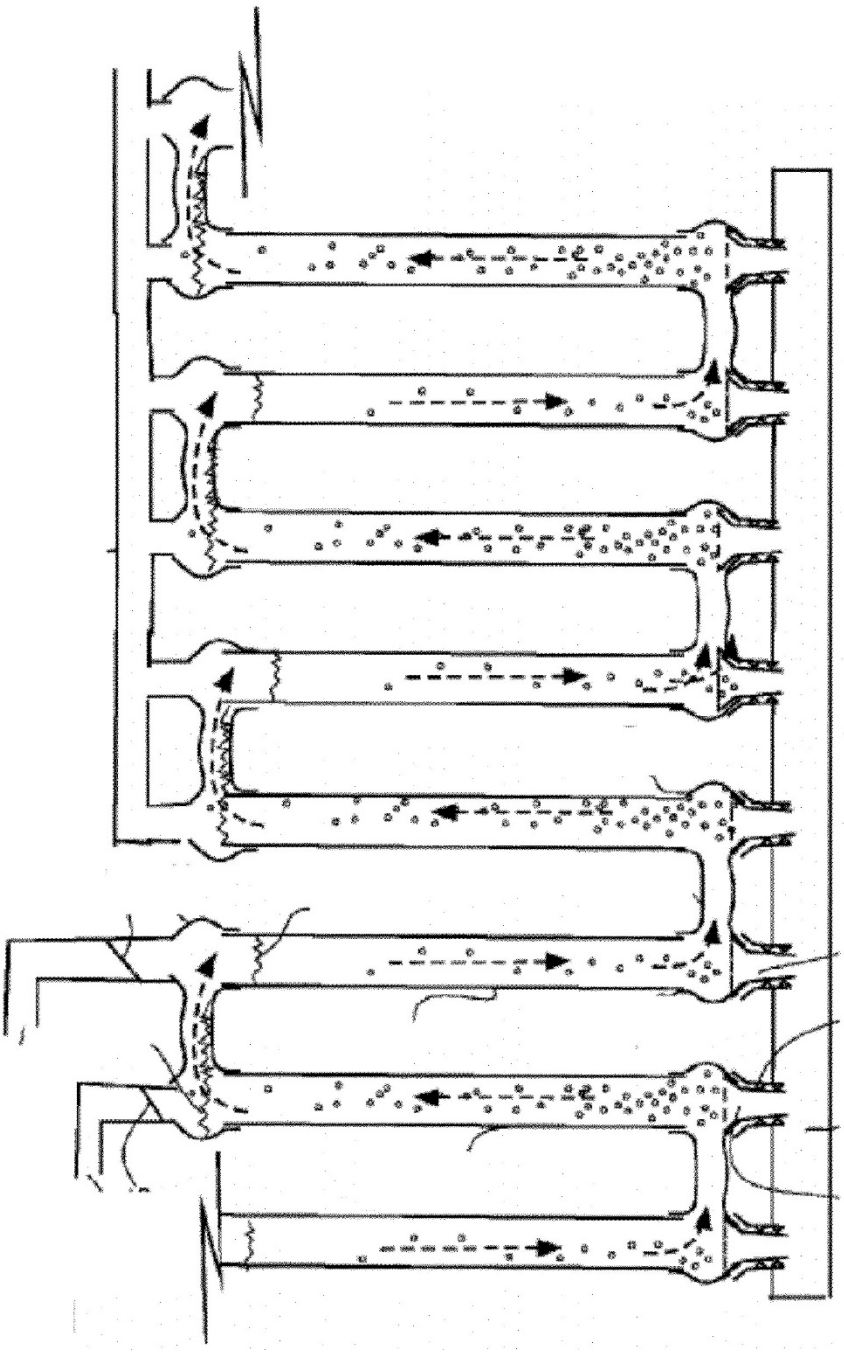
caracterizado por que en el tubo distribuidor (5) están presentes tanto el medio de cultivo líquido (4) con los microorganismos como también, por encima del medio de cultivo (4), un espacio de gas (9), donde en el tubo distribuidor (5) se configura una interfaz (11) entre el medio de cultivo (4) y el espacio de gas (9), y el espacio de gas (9) recibe burbujas de gas (10) que ascienden del medio de cultivo (4).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** el fotobiorreactor es el fotobiorreactor según una de las reivindicaciones 1 a 8.

11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, **caracterizado por que** el medio de cultivo (4) fluye en forma de meandro a través de los tubos ascendentes (3a) y descendentes (3b).

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado por que** la superficie interior del

tubo distribuidor (5) se limpia por el dispositivo de mantenimiento móvil (13), preferiblemente a intervalos de tiempo preajustables.



Estado de la técnica

Fig. 1

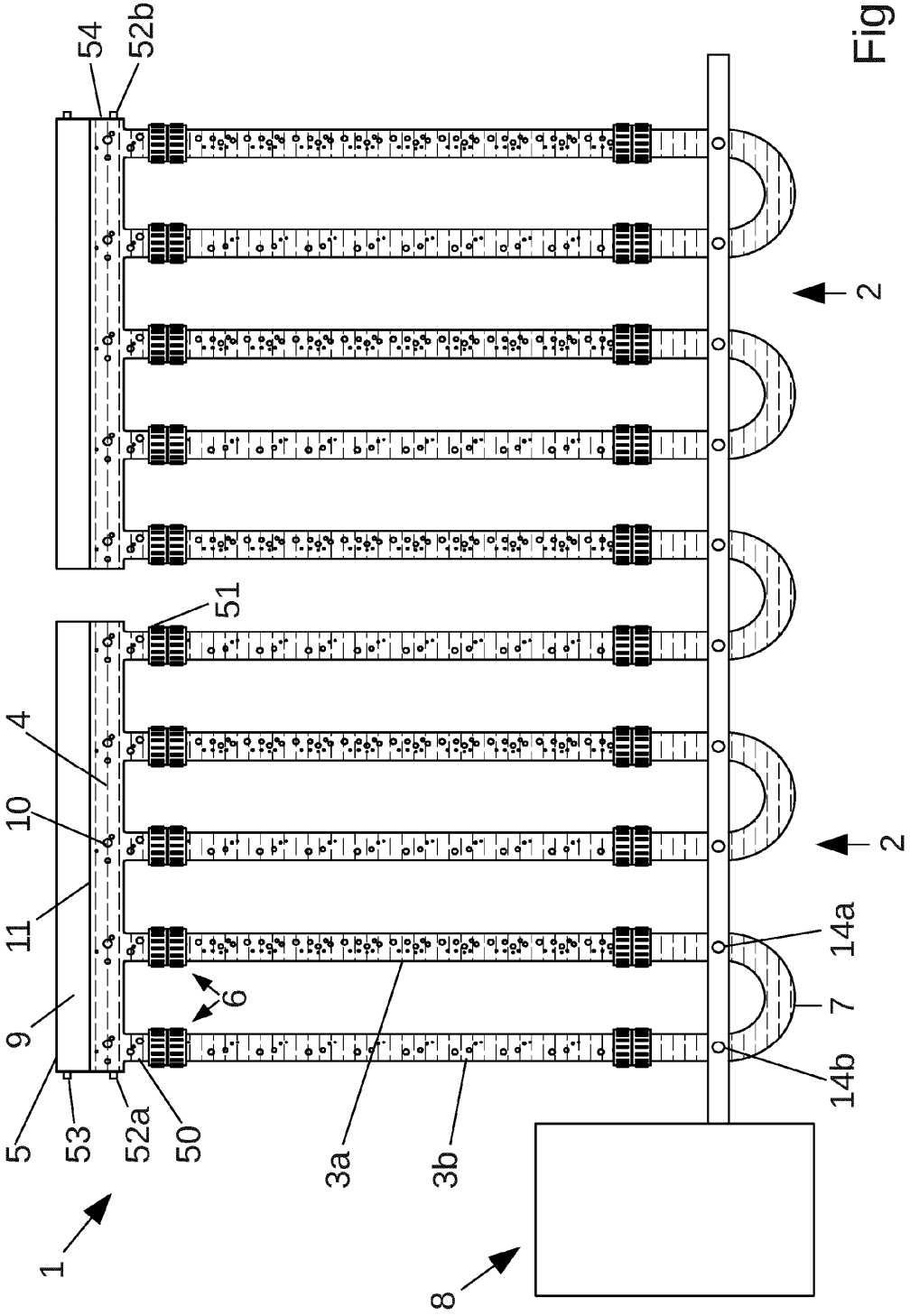


Fig. 2

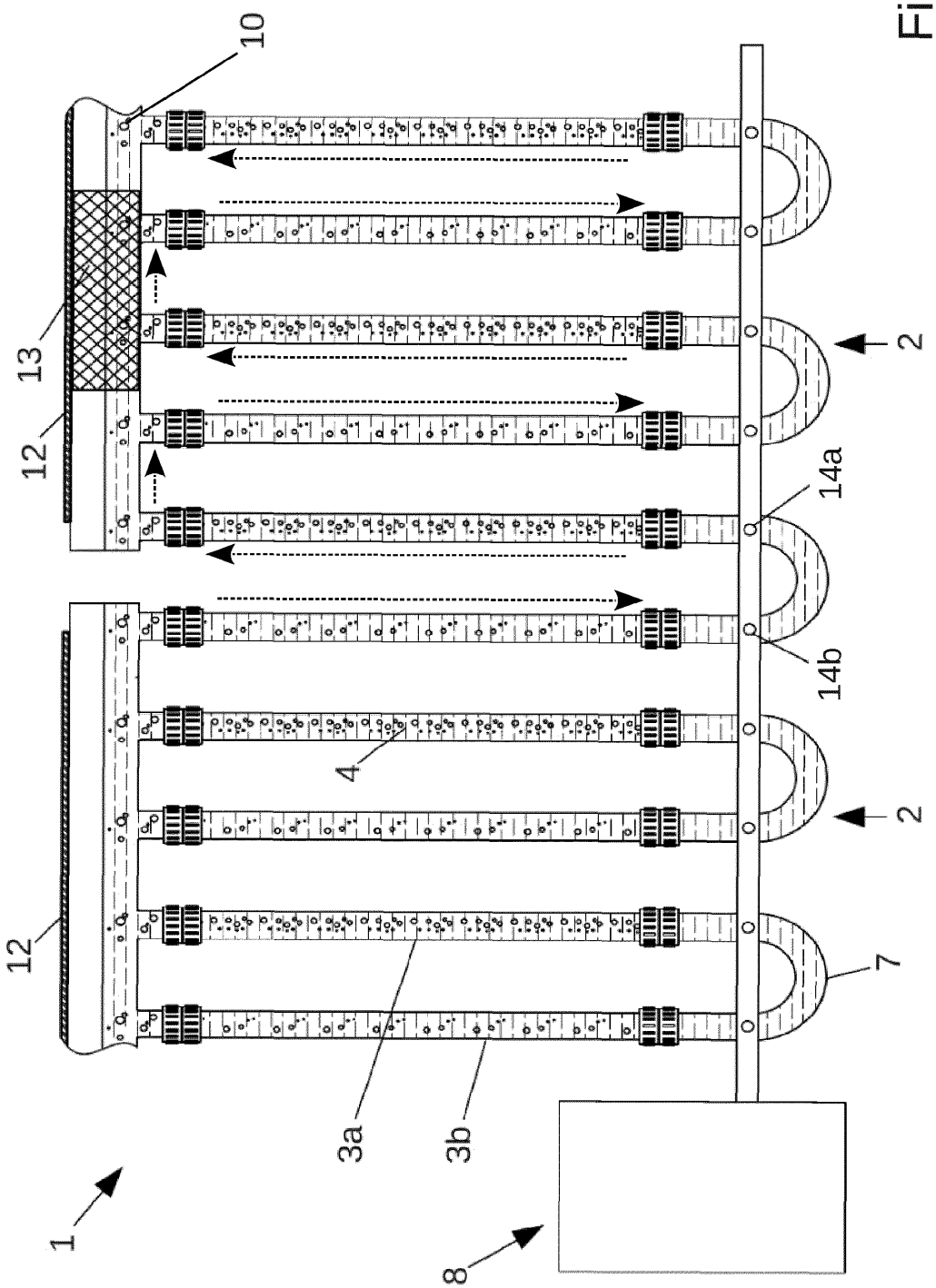


Fig. 3

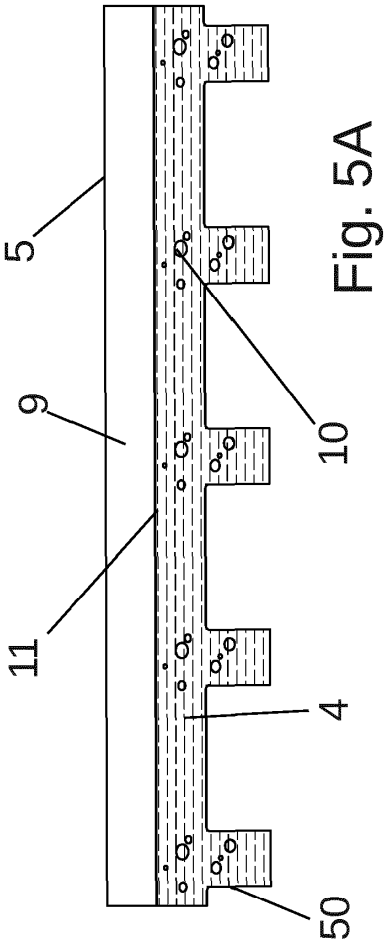


Fig. 5A

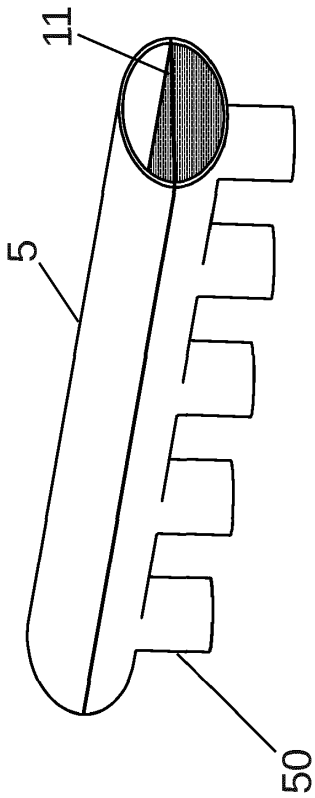


Fig. 5B

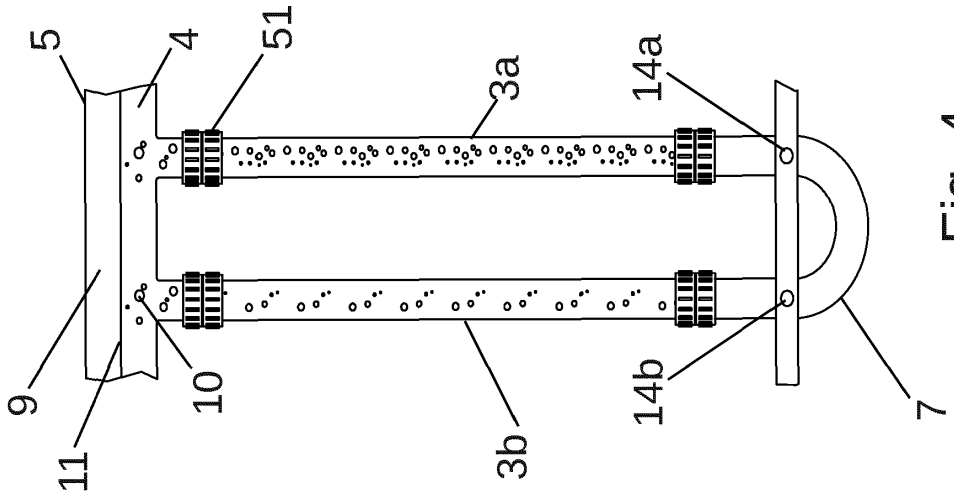


Fig. 4

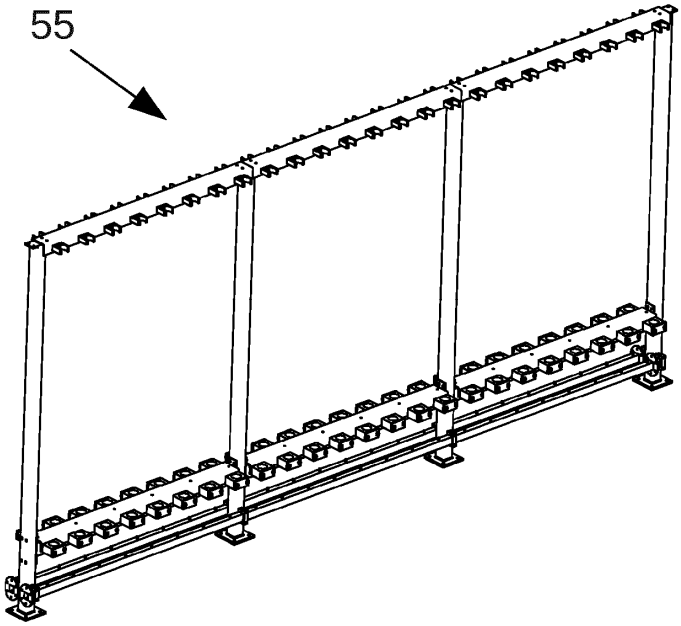


Fig. 6

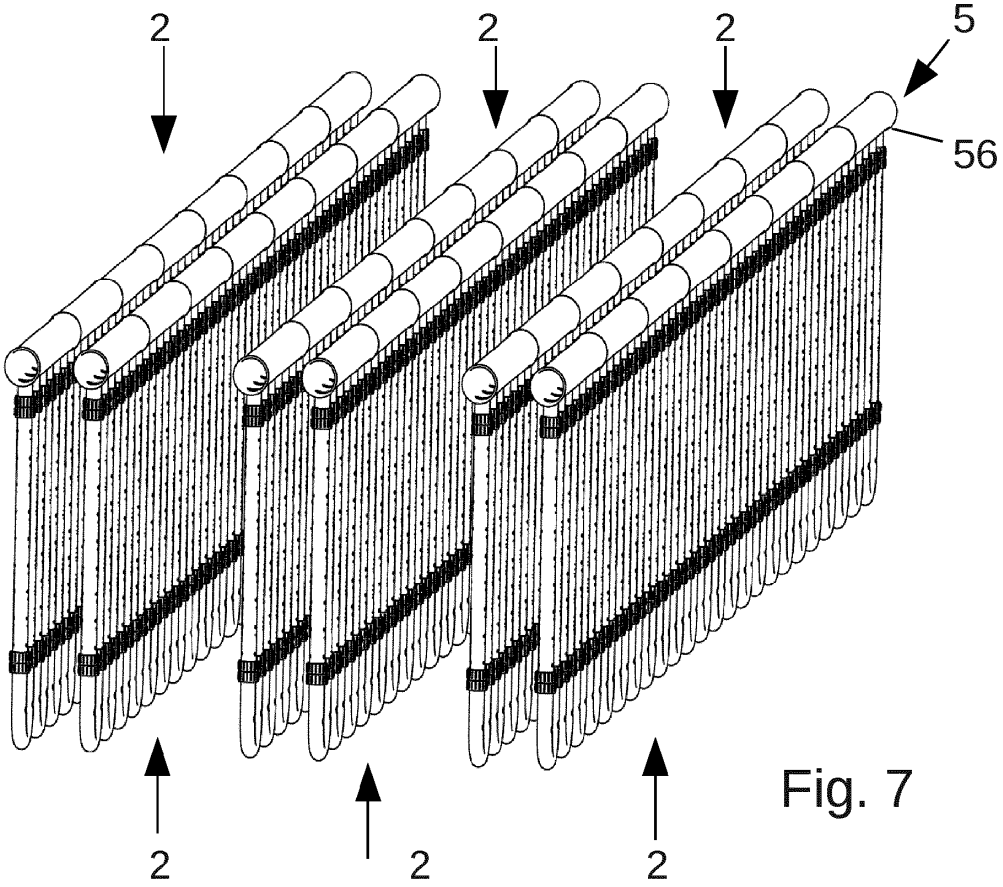


Fig. 7