(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
16 de septiembre de 2010 (16.09.2010)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/103154 A2

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
C12M 1/00 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2010/070132

(22) Fecha de presentación internacional:
9 de marzo de 2010 (09.03.2010)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200900652 9 de marzo de 2009 (09.03.2009) ES

(71) Solicitante *(para todos los Estados designados salvo US)*: **REPSOL YPF, S. A.** [ES/ES]; Paseo de la Castellana, 278-280, E-28046 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes *(para US solamente)*: **DÍAZ GARCÍA, Carlos** [ES/ES]; Paseo de la Castellana, 278-280, E-28046 Madrid (ES). **ROMERO PALAZÓN, Eduardo** [ES/ES]; Paseo de la Castellana, 278-280, E-28046 Madrid (ES). **GARCÍA-BLAIRSY REINA, Guillermo** [ES/ES]; Paseo de la Castellana, 278-280, E-28046 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Ángel**; Glorieta de Rubén Darío, 4, E-28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

WO 2010/103154 A2

(54) Title: METHOD FOR THE CULTURE OF MICROORGANISMS AND PHOTOBIOREACTOR USED IN SAME

(54) Título : MÉTODO DE CULTIVO DE MICROORGANISMOS Y FOTOBIORREACTOR EMPLEADO EN DICHO MÉTODO

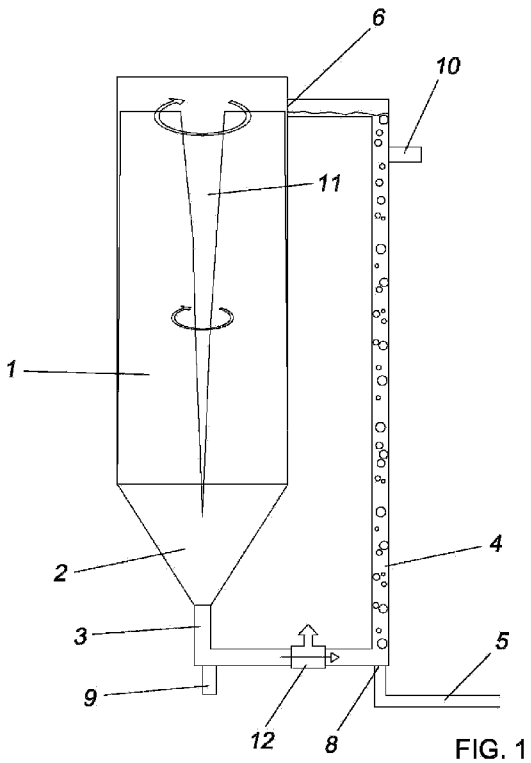


FIG. 1

(57) Abstract: The invention comprises a transparent cylindrical vertical body (1) and a base (2) supporting the body (1) and having an outlet in the lower part thereof, which outlet is connected to an outlet pipe (3) that opens into a recirculation pipe (4) connected to an upper inlet (6) in the upper part of the body (1). According to the invention, injection means (5) inject air and optionally CO_2 into the recirculation pipe (4), producing a vortex (11) inside the body (1). In addition, the invention relates to a method for obtaining biomass from microalgae using this photobioreactor.

(57) Resumen: Comprende un cuerpo (1) vertical transparente de forma cilíndrica, un fondo (2) sobre el que apoya dicho cuerpo (1), una salida en la parte inferior del fondo (2), conectada a un conducto de salida (3), que desemboca en un conducto de recirculación (4) conectado con una entrada superior (6) ubicada en la parte superior del cuerpo (1). Unos medios de inyección (5) inyectan aire y eventualmente CO_2 en el conducto de recirculación (4), produciendo un vórtice (11) en el interior del cuerpo (1). Además, la invención se refiere a un método para obtención de biomasa a partir de microalgas utilizando dicho fotobiorreactor.

(84) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))*

MÉTODO DE CULTIVO DE MICROORGANISMOS Y FOTOBIORREACTOR EMPLEADO EN DICHO MÉTODO

La presente invención se puede incluir dentro del campo de cultivo de microorganismos en reactores, en concreto describe un método para obtención de biomasa a partir de algas y un reactor vertical de alto rendimiento empleado en dicho método.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Las microalgas son seres unicelulares muy variados en tamaño y forma que existen en casi todos los hábitat conocidos. La mayor parte son de hábitat acuáticos, tanto marinos como dulceacuícolas, aunque algunas viven en tierra. Los mares y océanos contienen enormes cantidades de algas planctónicas, estimándose que el 90% de la fotosíntesis total de la Tierra es realizada por estos vegetales acuáticos.

Actualmente, esta biomasa microalgal puede ser utilizada para aplicaciones como biofertilizantes, en la purificación de aguas residuales, como acondicionadores de suelo y como alimento. Asimismo, se ha puesto de manifiesto la potencialidad de los microalgas para la producción de gran variedad de sustancias, como ácidos grasos, pigmentos, vitaminas, antibióticos, productos farmacéuticos y otros productos químicos de interés, así como hidrogeno, hidrocarburos y otros combustibles biológicos.

Para llevar a cabo la producción de microorganismos fototrópicos pueden utilizarse los denominados fotobiorreactores. Siendo imprescindible, para dicha producción, seleccionar adecuadamente el diseño del reactor que se va a utilizar, así como una serie de parámetros función del microorganismo que se va a emplear, como condiciones óptimas de crecimiento y resistencia a variaciones ambientales. De esta forma, el diseño de reactores que permitan alcanzar altas productividades a unos costes mínimos es una de las líneas de trabajo más

importantes en el campo de la biotecnología, y sin cuyo avance será imposible una expansión mundial de esta industria.

Así, en la solicitud de patente mejicana MX PA05007801A se describe el diseño de un fotobiorreactor cilíndrico transparente (de vidrio), de forma cónica en su parte inferior, con circulación impulsado por aire (airlift). Este fotobiorreactor se usa para la producción de astaxantina.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención proporciona un método para el cultivo de microalgas generadoras de aceites para su uso como combustibles, así como un reactor empleado en dicho método.

En algunos sistemas cerrados, para cultivos marinos, se dispone de una disolución acuosa con microalgas que crecen mediante fotosíntesis por el efecto combinado de la luz solar e inyección tanto de aire como eventualmente de CO_2. El cultivo de las algas requiere, por tanto, estas dos condiciones básicas; la entrada de luz que permita la existencia simultanea de zonas iluminadas y en sombra para proporcionar el ciclo de fotosíntesis y una agitación del líquido del cultivo que promueva el intercambio de algas entre ambas zonas.

Para que se den las dos condiciones anteriores, la presente invención proporciona un fotobiorreactor (en adelante FBR), vertical avanzado de alta eficiencia para el cultivo de algas, de forma cilíndrica, con fondo que puede ser cónico o plano, de material transparente y con un conducto de recirculación externo, en el cual se genera un efecto vórtice en la parte superior del medio acuoso que permite una mayor entrada de energía lumínica en el sistema y una agitación más eficiente del medio, lo que permite aumentar la producción de biomasa cultivada por unidad de volumen y superficie.

Dicho vórtice o remolino se genera por efecto de la entrada tangencial al sistema del propio medio de cultivo, el cual es impulsado desde la parte inferior del reactor hacia la parte superior mediante un sistema de inyección de gases situado en el conducto de recirculación.

Además, hay que tener en cuenta que el diseño óptimo del sistema, dimensiones y/o materiales para la fabricación de un reactor para la generación de biomasa, viene determinado por los siguientes parámetros:

- Maximizar el volumen conservando una proporción de volumen iluminado-sombra y de forma que se obtenga un remolino o vórtice global que garantice un tiempo de resistencia adecuado al ciclo de fotosíntesis.
- Evitar las zonas de escasa agitación.

Por lo tanto, un primer aspecto de la presente invención se refiere a un reactor para el cultivo de microorganismos, o fotobiorreactor FBR, que comprende un cuerpo cilíndrico transparente, un fondo situado a continuación del cuerpo cilíndrico y un conducto de salida conectado a una salida ubicada en el fondo, caracterizado porque comprende adicionalmente: un conducto de recirculación cuya entrada está situada a continuación del conducto de salida y que desemboca en la parte superior del cuerpo cilíndrico, y medios de inyección, situados en las proximidades de la entrada del conducto de recirculación, que introducen gases.

El reactor de la invención, es un reactor de forma cilíndrica, fabricado en un material transparente, que puede estar incluido, pero sin limitarse, al grupo que comprende fibra de vidrio, polietileno de baja densidad (LDPE), policarbonato (PC), polimetilmetacrilato (PMMA) o cualquier otro material que reúna las condiciones óptimas de transmisión de luz PAR (radiación fotosintéticamente activa, del inglés Photosynthetically Active Radiation). Además de las paredes laterales, la superficie superior del contenedor es transparente o abierta a la atmósfera de forma que también permite el paso de luz.

El fondo del reactor puede tener forma cónica o plana, siendo preferiblemente plana.

La altura del reactor puede estar comprendida entre 1 y 5 metros y el diámetro puede variar entre 15 y 100 cm.

El reactor de la invención contiene una disolución acuosa que contiene a su vez microalgas que crecen mediante fotosíntesis por efecto combinado de la luz solar y del aire, más en su caso CO_2, inyectados.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento para producir biomasa a partir de un cultivo de microorganismos utilizando el reactor de la invención.

Las condiciones que requiere este procedimiento de cultivo de algas, además del uso de un reactor como el descrito anteriormente, son: entrada de luz con zonas iluminadas y en zonas en sombra para permitir la fotosíntesis; y una agitación del líquido de cultivo que promueva el intercambio de algas entre las zonas iluminadas y las zonas en sombras.

Dicho reactor es sometido a una iluminación adecuada para proporcionar zonas iluminadas y zonas en sombras, y a una agitación del líquido de cultivo mediante una corriente bifásica autopropulsada por la inyección de gases.

La agitación en el reactor de la invención se consigue mediante una corriente bifásica líquido-gas autopropulsada mediante la inyección de gas y su posterior ascensión en burbujas por flotabilidad. Dicha corriente es eyectada tangencialmente en el plano formado por la superficie libre del líquido de cultivo con la pretensión de obtener un remolino suficientemente intenso para generar una superficie libre cónica cuyo vértice se sitúa en las proximidades del conducto de salida. El efecto adicional de aumento de superficie libre

incrementa la superficie de zona iluminada pudiendo aumentar la capacidad del sistema para capturar luz del medio y transformarlo en materia vegetal (biomasa).

Como se acaba de indicar, el remolino se obtiene por medio de introducción de gas en el conducto de recirculación ("riser"), en las proximidades del conducto de salida. El aire asciende burbujeando por el conducto de recirculación hasta la altura de la superficie libre del líquido de cultivo. El arrastre de líquido debido a la inyección continuada de gas, denominado efecto "holdup", deberá suministrar el impulso necesario para generar rotación.

Dado que la luz es absorbida por el medio, existe una longitud de penetración de luz que determina el volumen de líquido iluminado.

En una realización preferida del procedimiento de la presente invención, los microorganismos son microalgas que se pueden seleccionar de la lista que comprende, pero sin limitarse a, los siguientes géneros: *Spirulina, Chlorella, Chlorococcum, Neochloris Isochrysis,, Tetraselmis, Oocytis Ettlia, Porphyridium, Nannochloris Synechocystis, Crucigenia, Muriellopsis, Haematococcus, Clamidomonas, Synechococcus, Phaeodactylum, Platymonas, Amphora, Auxenochlorella, Ankistrademus, Nanochloropsis, Navicula, Boekelovia, Scenedesmus* o *Rhodopseudomonas.*

En una realización más preferida, las microalgas pueden seleccionarse de entre las siguientes especies: *Phaeodactylum tricornutum, Platymonas sp., Amphora sp.,Boekelovia sp., Tetraselmis suecica, Navicula sp. Synechococcus sp., Scenedesmus quadricuada, Rhodopseudomonas palustres, Muriellopsis sp. Chlorella sorokiniana, Spirulina platensis, Chlorella sp., Neochloris oleoabundans, Scenedesmus sp., Auxenochlorella protothecoides, Synechocystis sp., Chlorococcum sp., Isochrysis galbana, Oocytis sp., Ettlia carotinosa, Porphyridium cruentum o Nannochloris oculata. Crucigenia*

tetrapedia, Haematococcus pluviales, Clamidomonas sp., Ankistrademus, sp., Nanochloropsis occulata o *Nanochloropsis gaditana.*

Las principales ventajas que presenta el reactor de la presente invención frente a otros ya conocidos son:

a) Frente a sistemas verticales convencionales. Mejora la disolución de nutrientes y asegura los periodos de luz-oscuridad de las microalgas en cultivos con altas densidades.

b) Frente a sistemas abiertos (Race-Ways): mejor agitación del medio de cultivo y mejor control de las condiciones de cultivo (pH, Temperatura, disolución de nutrientes de forma homogénea) así como evitar la entrada al medio de contaminantes que puedan afectar al rendimiento de la producción de biomasa.

c) Frente a sistemas tubulares helicoidales con tubos de pequeño tamaño: facilidad de operación (control de condiciones del cultivo como pH, Temperatura, disolución de nutrientes de forma homogénea) así como posibilidad de utilizar materiales y sistemas de construcción de costes muy inferiores manteniendo los niveles de producción.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a la biomasa obtenible por el procedimiento de la invención.

Otro aspecto más de la presente invención se refiere al uso de la biomasa de la invención para la fabricación de combustible, preferiblemente este combustible es biodiesel aunque también puede ser utilizada para otros usos energéticos, como por ejemplo gasificación.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, elementos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se

acompañan a la presente descripción para comprender mejor las características de la invención, como parte integrante de la misma y a modo de ilustración, no pretendiendo que sean limitativos de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Representa un esquema de un reactor FBR de la invención.

Figura 2.- Representa un esquema de funcionamiento de un reactor FBR de la invención con la válvula antirretorno cerrada.

Figura 3.- Representa un esquema de funcionamiento de un reactor FBR de la invención con la válvula antirretorno abierta.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

Para una mejor comprensión del invento, se pasará a hacer la descripción detallada de alguna de las modalidades del mismo, mostrada en los dibujos que con fines ilustrativos más no limitativos se anexan a la presente descripción.

Según se aprecia en la figura 1, el reactor FBR de la invención se compone de los siguientes elementos:

a) Un cuerpo (1) vertical de forma cilíndrica, con altura comprendida entre 1 y 5 metros, y un diámetro comprendido entre 15 y 100 cm, construido en un material transparente, que puede ser tanto rígido como flexible, como por ejemplo el grupo

que comprende fibra de vidrio, polietilieno de baja densidad (LDPE), policarbonato (PC), polimetilmetacrilato (PMMA) o cualquier otro material que reúna las condiciones óptimas de transmisión de luz PAR. La parte superior del cuerpo (1) está provista de una tapa no necesariamente estanca que permite la aireación de dicho reactor y la colocación de diferentes sistemas de control del cultivo (termopares, medidores de pH, salinidad, concentración de O_2, etc.). La parte inferior del cuerpo reposa sobre un fondo (2) descrito a continuación en el punto b).

b) Un fondo (2) sobre el que se apoya el cuerpo (1), que puede ser cónico o plano, de material que puede ser opaco, como por ejemplo acero, aluminio, cloruro de polivinilo (PVC), o transparente según materiales similares a los descritos para el cuerpo (1). Sobre la parte superior del fondo (2) reposa el cuerpo (1) mediante un cierre hermético que asegura la estanqueidad de la unión entre el cuerpo (1) y el fondo (2). En la parte inferior del fondo (2) se encuentra una salida, conectada a un conducto de salida (3), de diámetro entre 2 cm y 15 cm, que conecta a su vez con un conducto de recirculación (4) descrito seguidamente en el punto siguiente. El fondo (2) está provisto de un sistema estable, resistente y seguro para apoyar todo el peso del reactor sobre el suelo.

c) Un conducto de recirculación (4) externo, que conecta mediante conexiones estancas superior (6) e inferior (no mostrada) la parte inferior y la parte superior del reactor, respectivamente. El material del conducto de circulación (4) puede ser opaco, como por ejemplo acero, aluminio, cloruro de polivinilo (PVC), o transparente, según materiales similares a los descritos para el cuerpo (1). Adicionalmente la conexión superior (6) está ubicada de forma que el medio de cultivo accede al reactor de manera tangencial a la superficie de dicho reactor. El conducto de recirculación (4) incorpora, en las proximidades del conducto de salida (3), una tercera conexión (8) a la que se conecta un inyector (5), que inyecta aire o mezcla aire + CO_2 al reactor.

El reactor de la invención comprende una válvula antirretorno (12) ubicada en el conducto de salida (3). Según se aprecia en las figuras 2 y 3, cuando dicha válvula antirretorno (12) está abierta y el aire asciende burbujeando por el

conducto de recirculación (4) hasta la altura de la superficie libre del líquido de cultivo, gracias al efecto "hold up" de las burbujas de aire generadas, se crea un movimiento recirculante del medio de cultivo el cual genera un efecto vórtice en la parte superior del medio acuoso que permite una mayor entrada de energía lumínica en el reactor y una agitación más eficiente del medio. El conducto de recirculación (4), en su tramo inferior está provisto de un conducto de purga (9) para facilitar el vaciado del reactor. Adicionalmente el sistema de recirculación está provisto de un conducto de desvío (10) que permite desviar la recirculación del medio de cultivo a cualquier otro elemento como pudiera ser un segundo reactor, un depósito de cosechado o un desagüe.

Una vez ensamblados todos los elementos del reactor según lo descrito anteriormente, dicho reactor deberá llenarse hasta un nivel máximo preestablecido con una solución acuosa que hará de medio de cultivo para las microalgas. Además, se incorporará a este medio un inóculo suficiente de individuos unialgares para iniciar la fase de crecimiento. Tras esta primera etapa de llenado, se inicia la etapa de puesta en marcha de la recirculación. Para ello se inyecta aire a través de los medios de inyección (5), con un caudal de 20 – 150 l/min. El efecto "hold up" de las burbujas creadas, impulsará de manera ascendente el medio de cultivo a través del sistema de recirculación hasta la entrada superior (6) del cuerpo (1), generando un movimiento circular en la superficie que finalmente se transformará en un vórtice (11). En este momento podemos considerar que el reactor de la invención se ha puesto en marcha. Transcurrido el periodo de crecimiento fijado en función de la especie de microalga que se cultive se procederá al proceso de cosechado haciendo uso o bien del conducto de purga (9) o bien del conducto de desvío (10), situados en el conducto de recirculación (4).

A continuación se detallan, en la tabla 1, los siguientes valores de producción, en cultivos de diferentes microalgas, llevado a acabo mediante el procedimiento descrito.

Tabla 1

Medio de cultivo	Especie (cod)	Zona	Inicio	PSSC max	Rango PSSC	*g*	*μ*	P vol ± DE (n)
				(g PSSC · l^{-1})	(g PSSC · l^{-1})	(d)	(d^{-1})	(g PSSC · l^{-1} · d^{-1})
Salobre	*Spirulina platensis* majorera (Sp)	E	Oct06 Ago07	7.98	(*)	6.88	0.100	0.30 ± 0.13 (467)
Dulce	*Chlorella vulgaris* var. L3 (Ca)	E	Dic 06	7.02	4.4-5.0	7.74	0.089	0.22 ± 0.10 (23)
	Neochloris oleoabundans (Ns)	E	Dic 06	7.24	4.1-5.3	4.00	0.172	0.11 ± 0.00 (1)
	Tetraselmis suecica (Ts)	E	Ene 07	8.62	6.4-7.5	10.73	0.049	0.20 ± 0.14 (25)
Dulce	*Oocystis sp. (Oo)*	E	Feb 07	10.53	6.5-7.1	5.71	0.121	0.20 ± 0.06 (21)
Dulce	*Chlorella vulgaris* var. K-SP3 (S3)	E	Mar 07	6.61	4.1-4.4	11.87	0.058	0.18 ± 0.07 (23)
	Sy*nechocystis* sp.1 (Sy)	I	Abr 07	8.03	5.4-6.0	17.72	0.039	0.18 ± 0.18 (14)
	Muriellopsis sp. 1 (Mp)	I	Abr 07	8.79	5.0-5.6	12.77	0.054	0.13 ± 0.06 (22)
Dulce	*Muriellopsis* sp. 3 (Mp)	E	Abr 07	10.93	6.6-7.2	5.50	0.125	0.30 ± 0.14 (34)
Dulce	*Auxenochlorella protothecoides* (Ap)	I	Jun 07	7.33	4.7-5.1	5.20	0.133	0.19 ± 0.04 (19)
	Auxenochlorella protothecoides (Ap)	E	Jun 07	7.33	4.7-5.1	5.06	0.136	0.26 ± 0.10 (30)
	Sy*nechocystis* sp. 3 (Sy)	I	Jun 07	7.37	5.4-6.0	5.94	0.116	0.22 ± 0.14 (33)
Marino	*Nanochloropsis occulata (Nno)*	I	Dic 07	5.59	3.7-4.3	6.45	0.107	0.19 ± 0.06 (32)
	Nanochloropsis gaditana (Nng)	I	Dic 07	5.93	3.5-4.1	6.04	0.114	0.27 ± 0.10 (36)
	BNA 90-024 (24)	I	Feb 08	7.26	4.4-5.4	6.75	0.102	0.27 ± 0.06 (15)
	BNA 90-031 (31)	I	Feb 08	6.67	3.9-5.1	7.68	0.080	0.18 ± 0.01 (6)
Marino	*BNA 90-029 (29)*	I	Abr 08	6.46	3.8-4.5	6.94	0.099	0.23 ± 0.04 (15)
Dulce	*BNA 90-042 (42)*	I	May08	4.59	3.2-4.0	4.41	0.156	0.38 ± 0.18 (12)
	BNA 90-049 (49)	I	May08	4.18	2.8-3.4	5.46	0.116	0.21 ± 0.06 (12)

Donde: “PSSC máx.” es el peso seco sin cenizas máximo,

”Rango PSSC” es el rango óptimo de cosechado,

“g” es el tiempo de generación en días,

“μ” es la tasa de crecimiento,

P vol. es la media de la producción volumétrica para las diferentes especies ensayadas en el exterior (E) y en el invernadero (I) en FFBR.

(*) El cultivo de *Spirulina plantensis* se llevó a cabo durante todo el año, ensayando en el mismo diferentes rangos de cosechado con el fin de determinar el más adecuado para conseguir una mayor producción sostenida en el tiempo. En la tabla 2 se muestran los valores medios de producción para los diferentes rangos de cosechado utilizados.

BNA son los códigos de microalgas depositadas en el Banco Nacional de Algas situado en Las Palmas de Gran Canaria (España).

Los valores de PSSC se calcularon a partir de la relación entre la densidad óptica del cultivo a 680 nm y el peso seco sin cenizas para cada especie/cepa.

Tabla 2

Medio de cultivo	**Especie (cod)**	**Zona**	**Periodo**	**Rango PSSC**	**P vol ± DE (n)**
				(g PSSC · l^{-1})	**(g PSSC · l^{-1} · d^{-1})**
Salobre	*Spirulina platensis* majorera (Sp)	E	Oct 06	3.1-3.7	0.32 ± 0.03 (18)
			Oct 06 Ago 07	4.3-4.9	0.31 ± 0.13 (252)
			Ene 07 Abr 07	4.9-5.6	0.25 ± 0.08 (100)
			Oct 06 Dic 06	5.6-6.2	0.17 ± 0.07 (30)
			Jun 07 Ago 07		0.38 ± 0.14 (67)
	Promedio de todo el año	E	Oct06 Ago07	Todos	0.30 ± 0.13 (467)

REIVINDICACIONES

1. Fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos que comprende:

- un cuerpo (1) vertical cilíndrico transparente,
- un fondo (2) situado a continuación del cuerpo (1), sobre el que se apoya dicho cuerpo (1), y
- un conducto de salida (3) conectado a una salida ubicada en la parte inferior del fondo (2),

caracterizado porque comprende adicionalmente:

- un conducto de recirculación (4) conectado al conducto de salida (3) y a la entrada superior (6) del cuerpo (1),
- medios de inyección (5) situados en el conducto de circulación (4), en las proximidades del conducto de salida (3), que inyectan gases, que producen un vórtice (11) que aumenta la producción de biomasa,
- un conducto de purga (9), ubicado en el tramo inferior del conducto de recirculación (4), para facilitar el vaciado, y
- un conducto de desvío (10), ubicado en el conducto de recirculación (4), empleado para extraer el cultivo hacia el exterior.

2. Fotobiorreactor según reivindicación 1, caracterizado porque el fondo (2) presenta forma plana.

3. Fotobiorreactor según reivindicación 1, caracterizado porque el fondo (2) presenta forma cónica.

4. Fotobiorreactor según reivindicación 1, caracterizado porque los medios de inyección (5) están adaptados para la circulación de gases que comprenden aire y/o CO_2.

5. Fotobiorreactor según reivindicación 1, caracterizado porque el cuerpo está fabricado en un material seleccionado entre:

- fibra de vidrio,

- polietileno de baja densidad (LDPE),
- policarbonato (PC), y
- polimetilmetracrilato (PMMA).

6. Fotobiorreactor según la reivindicación 1, caracterizado porque la parte superior del cuerpo (1) comprende una tapa transparente.

7. Fotobiorreactor según la reivindicación 1, caracterizado porque la parte superior del cuerpo está abierta.

8. Procedimiento para producir biomasa a partir de microorganismos que comprende:

someter a iluminación el reactor, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que contiene un cultivo de microorganismos, y

agitar el líquido de dicho cultivo de microorganismos mediante la inyección de gases.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, donde los microorganismos son microalgas.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, donde las microalgas se seleccionan de la lista que comprende *Spirulina, Chlorella, Chlorococcum, Neochloris Isochrysis,, Tetraselmis, Oocytis Ettlia, Porphyridium, Nannochloris Synechocystis, Crucigenia, Muriellopsis, Haematococcus, Clamidomonas, Synechococcus, Phaeodactylum, Platymonas, Amphora, Auxenochlorella, Ankistrademus, Nanochloropsis, Navicula, Boekelovia, Scenedesmus* o *Rhodopseudomonas.*

11. Procedimiento según la reivindicación 10, donde las microalgas se seleccionan de la lista que comprende *Phaeodactylum tricornutum, Platymonas sp., Amphora sp., Boekelovia sp., Tetraselmis suecica, Navicula sp. Synechococcus sp., Scenedesmus quadricuada, Rhodopseudomonas*

palustres, Muriellopsis sp. Chlorella sorokiniana, Spirulina platensis, Chlorella sp., Neochloris oleoabundans, Scenedesmus sp., Auxenochlorella protothecoides, Synechocystis sp., Chlorococcum sp., Isochrysis galbana, Oocytis sp., Ettlia carotinosa, Porphyridium cruentum o Nannochloris oculata. Crucigenia tetrapedia, Haematococcus pluviales, Clamidomonas sp., Ankistrademus, sp., Nanochloropsis occulata o *Nanochloropsis gaditana.*

12. Biomasa obtenible mediante el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.

13. Uso de la biomasa según la reivindicación 12, para la fabricación de biodiesel.

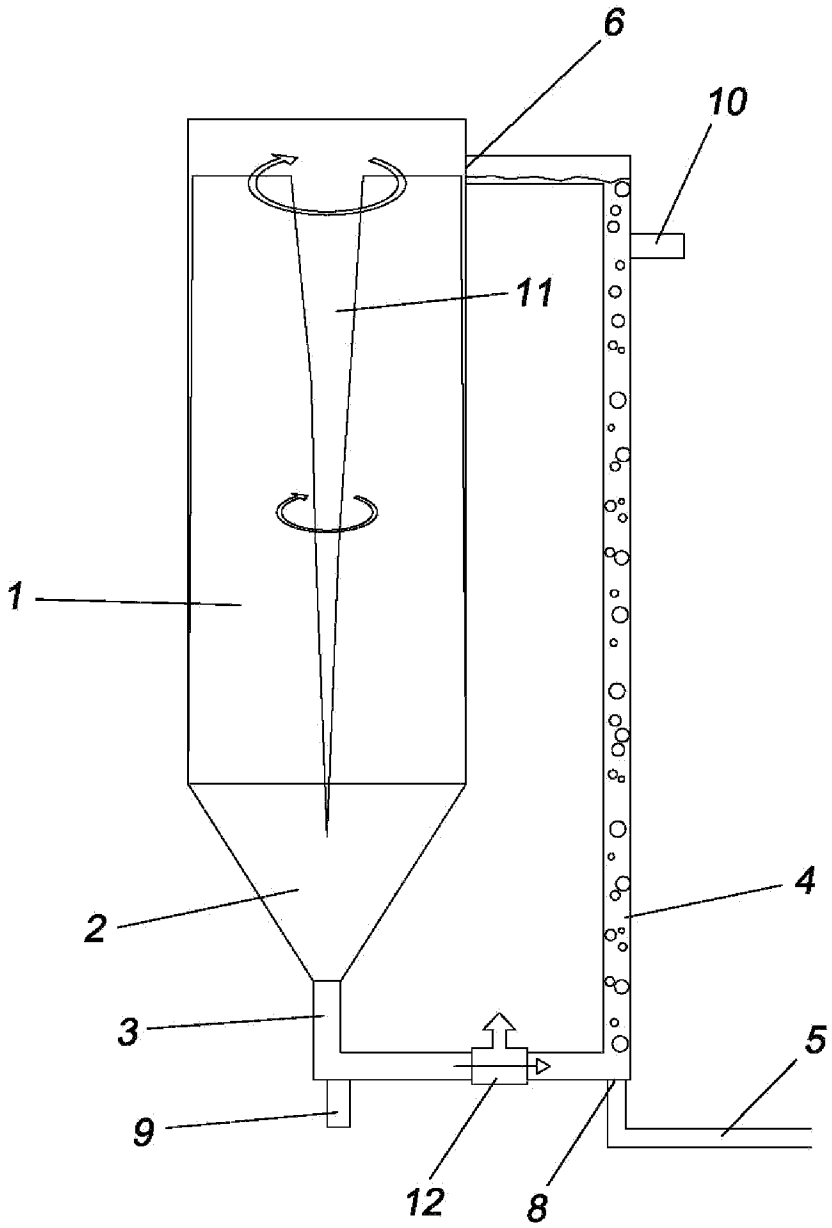


FIG. 1

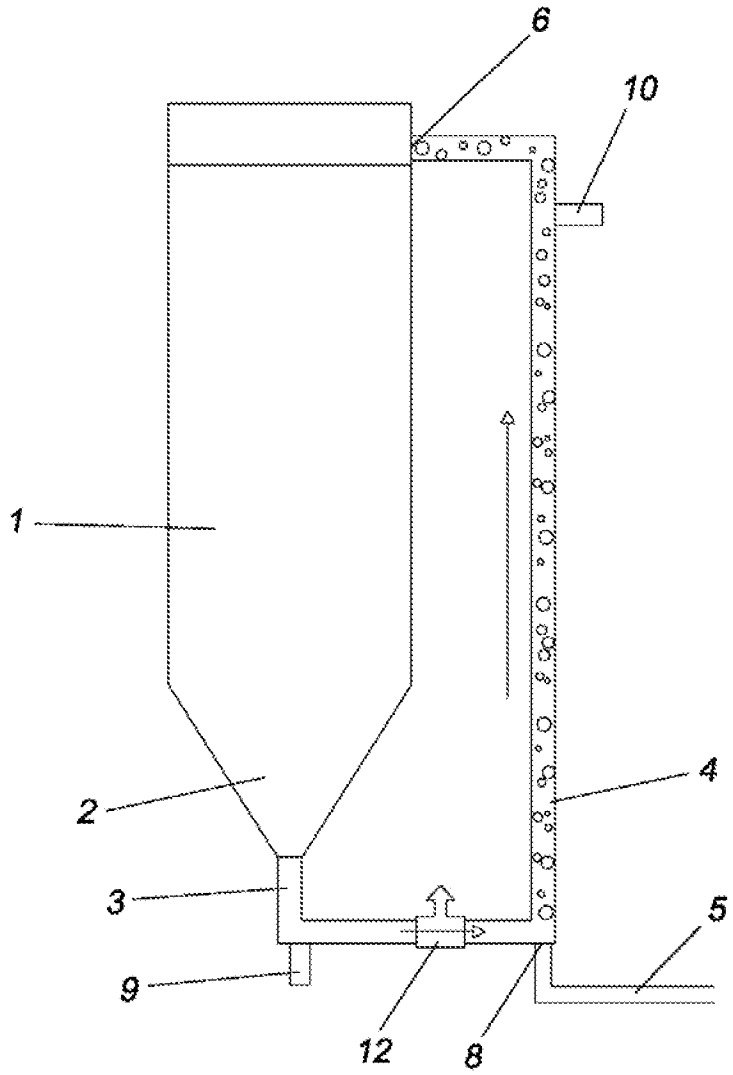


FIG. 2

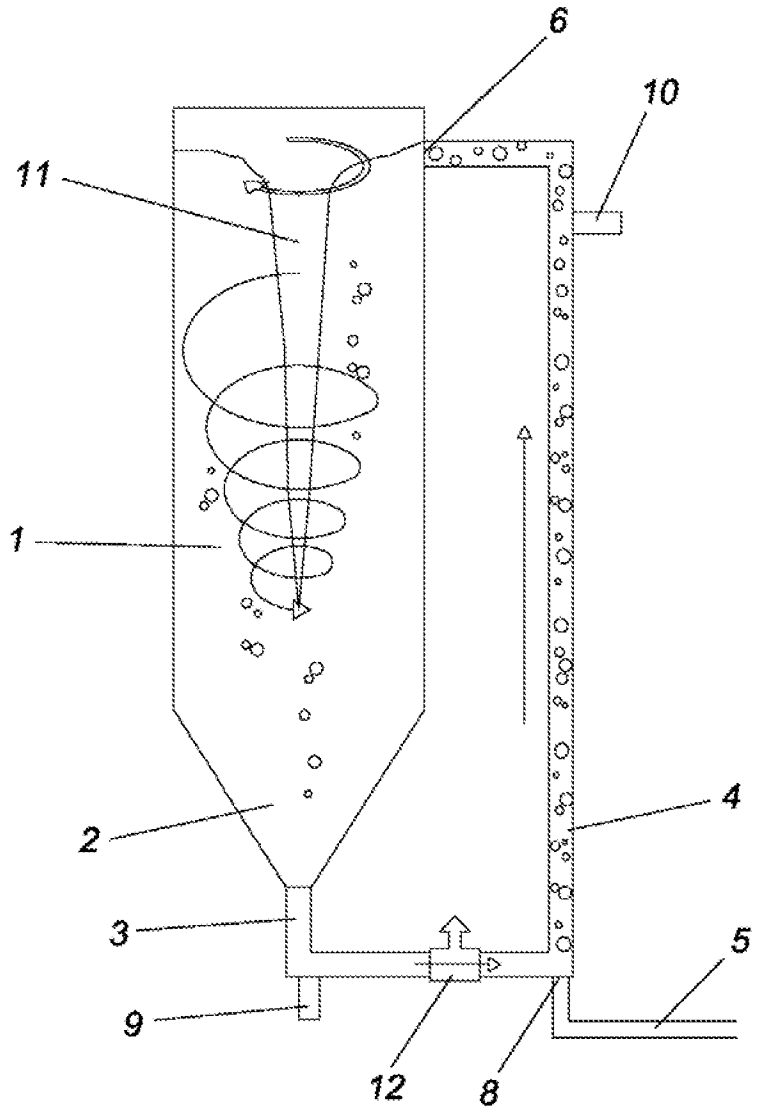


FIG. 3