

(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
28 de enero de 2016 (28.01.2016)

WIPO | PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2016/012637 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
C02F 3/32 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2015/000094

(22) Fecha de presentación internacional:
22 de julio de 2015 (22.07.2015)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201400616 23 de julio de 2014 (23.07.2014) ES

(71) Solicitante: UNIVERSIDAD DE SEVILLA [ES/ES];
Secretariado de Transferencia de Conocimiento y
Emprendimiento, Paseo de las Delicias s/n (Pabellón de
Brasil), E-41013 Sevilla (ES).

(72) Inventores: RAMÍREZ JUIDÍAS, Emilio; Dpto.
Ingeniería Gráfica, E.T.S. de Ingeniería de Edificación,
Avda. Reina Mercedes, s/n, E-41012 Sevilla (ES). VAZ
PARDAL, Rosario; Dpto. Cristalografía, Mineralogía y
Química Agrícola, Facultad de Química, C/ Profesor
García González, 1, E-41012 Sevilla (ES). GUTIERREZ
COTRO, Alfonso Javier; Dpto. Cristalografía,
Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, C/
Profesor García González, 1, E-41012 Sevilla (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, BN,
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, IR, IS, JP, KE,
KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SA, 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.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección regional admisible):
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW,
SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ,
BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

(54) Title: METHOD FOR PURIFICATION AND DISINFECTION OF WASTEWATER BY MEANS OF PHOTOBIOREACTORS

(54) Título : PROCEDIMIENTO PARA DEPURACIÓN Y DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FOTOBIOREACTORES

(57) Abstract: The invention relates to a method for the purification and disinfection of wastewater by means of photobioreactors, said method pertaining to the sector of agriculture in the widest sense of the term, although it can also pertain to the chemical sector and to the sector corresponding to public administration. The invention is novel in that it relates to a method based on pre-treated wastewater, as a result of which high purification and disinfection indices can be obtained. The invention can be used for farming, wherein the water obtained can be used for irrigation and therefore to increase food production, and for human use, as it can be used in areas where the conditions are unsuitable. The invention can also be used as a means for minimising the environmental impact of industrial discharge into public channels.

(57) Resumen: El presente procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, se encuadra en el sector de la agricultura en su más amplia acepción, aunque también puede ser englobado en el sector químico y en el correspondiente a la administración pública. La nueva invención aporta como novedad un procedimiento, a partir de agua residual pretratada, gracias al cual se consiguen elevados índices de depuración y desinfección. Entre los usos de la invención se encuentran tanto el agrícola, en el que se puede utilizar el agua obtenida para riego, y por ende, para el aumento de la producción de alimentos, como el humano, ya que permite su uso en aquellas zonas donde las condiciones de la misma no son las adecuadas. También puede ser utilizado como medida minimizadora de impacto ambiental en vertidos de industrias a cauce público.



WO 2016/012637 A1

Título

Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores

Objeto de la invención

El objeto de la presente invención, es un procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, cuya novedad aporta un procedimiento, a partir de agua residual pretratada, gracias al cual se consiguen elevados índices de depuración y desinfección, obteniendo agua exenta de bacterias patógenas y apta para su uso tanto en agricultura como para el ser humano, a partir de agua residual. Entre los usos de la invención se encuentran tanto el agrícola, en el que se puede utilizar el agua obtenida para riego, y por ende, para el aumento de la producción de alimentos, como el humano, ya que permite su uso en aquellas zonas donde las condiciones de la misma no son las adecuadas. También puede ser utilizado como medida minimizadora de impacto ambiental en vertidos de industrias a cauce público.

La invención se encuadra principalmente en el área técnica de agricultura en su más amplia acepción, aunque también puede ser englobada tanto en el área química como en la perteneciente a la administración pública. En lo que respecta a la primera, podemos considerar que el sector de actividad en el que se aplicaría sería fotobiorreactor para la obtención de agua residual regenerada con calidad para riego, mientras que en la segunda, sería fotobiorreactor para el tratamiento de aguas residuales hasta calidad de vertido a cauce público. En lo referente al tercer sector, administración pública, comentar que queda contenido en el sector al que pertenecen todas aquellas empresas públicas dedicadas a los procesos de depuración y desinfección de aguas residuales, destinados a la obtención de agua en condiciones saludables para el consumo humano a partir de agua residual.

Estado de la técnica

Tal y como es sabido actualmente, las Tecnologías Naturales (TN) son aquellas mediante las cuales conseguimos reproducir la acción depuradora de la naturaleza (ríos, lagos, humedales, etc...). Sin embargo, y según Lebrato, J. (2007), existe otro tipo de tecnología, llamada Tecnología Natural Modificada (TNM), en la que los procesos naturales son forzados a cambios de condiciones, bien sea de presión, pH, temperatura, sobresaturación de oxígeno u otros. Dichos cambios nos llevan a introducir tecnologías novedosas, que con su aplicación de bajo coste y ecología, consiguen que efluentes con elevadas cargas de

contaminación físico-química y biológica pasen a constituirse como efluentes con un alto grado de depuración y desinfección.

Con las TNM se pretende promover el desarrollo de una Ingeniería del Agua posible (Camejo, C. *et al.*, 2007; Vargas, A., *et al.*, 2007) que va a estar íntimamente relacionada y combinada con la ingeniería hidráulica convencional, constituyendo una alternativa eficiente y necesaria para satisfacer los requisitos de calidad del agua a nivel de la UE, al mismo tiempo que prevenir fracasos en países en desarrollo y empobrecidos. El Grupo de Investigación RNM-159 de la Universidad de Sevilla elaboró, en 2005, un Manual de la Ingeniería de Agua Posible que desarrolla proyectos y estudios en todas las fases del ciclo del agua, desde la captación hasta su reutilización.

Como antecedente principal del nuevo procedimiento a patentar, hay que citar el proyecto LIFE "Environmental", dirigido por el Prof. Baccou, J.C. (2003) de la Universidad de Montpellier, donde se plantea la reducción de la carga bacteriana de las aguas residuales gracias a formas reactivas del oxígeno sobresaturado producido por la actividad fotosintética de las microalgas contenidas en el mismo agua. Dicho proyecto es conocido con el nombre de PHOTOREDUC.

El principio en el que se basa PHOTOREDUC consiste en inducir una saturación de oxígeno en un agua que contiene fitoplancton y bacterias patógenas. La sobresaturación se obtiene manteniendo el agua en medio herméticamente cerrado, en presencia simultánea de fitoplancton y energía luminosa. En estas condiciones, la energía captada por el aparato fotosintético de las algas provoca el aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

El proyecto PHOTOREDUC ha servido de base para proceder al desarrollo del nuevo procedimiento que se pretende patentar, ampliando a nivel de laboratorio los trabajos del Prof. Baccou. Dicho procedimiento consiste, básicamente, en, a partir de fotobiorreactores herméticamente cerrados trabajando en régimen continuo y bajo la acción de la luz solar, proceder a la depuración y eliminación de microorganismos patógenos mediante la adición de algas proliferadas propias del agua residual procedente de EDAR tanto en los tratamientos primarios como secundarios.

En lo que a las patentes existentes se refiere, y en relación a la temática y al procedimiento que se pretende patentar, se tiene que la patente ES2305120 presenta una cámara de biorreacción anular con dos paredes cilíndricas coaxiales. Por su parte en la patente ES2125960 se planteó un proceso de producción de lípidos poliinsaturados a partir del cultivo de microalgas (*Porphyridium cruentum*) en un fotorreactor. Esta microalga no se

encuentra en Aguas Residuales (AR). Las microalgas cultivadas en el fotobiorreactor de la patente ES2377619, así como los microorganismos citados en la patente ES2150389, tampoco se encuentran en Aguas Residuales.

La patente ES2364891 propone un biorreactor formado por una pluralidad de cámaras conectadas o unidas por una pared de alojamiento hecha de material plástico flexible, mientras que la WO2010103154 propone otro para el cultivo de microorganismos aptos para la producción de combustible.

La patente ES2362917 formula un procedimiento para la producción de biomasa de algas con un elevado contenido de lípidos en estanques abiertos, sin embargo la ES2370583 propone un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas en régimen continuo pero mediante sistema multi-modular.

El documento patente ES2372509 realiza una depuración simultánea de biogás y efluentes industriales, pero las microalgas y las bacterias se encuentran en un fotobiorreactor diferente que aquellos. Por su parte, ES2254509, postula un procedimiento de fabricación de un biorreactor para el cultivo de microorganismos, no microalgas.

En lo referente a la patente ES2383263 comentar que consiste en un fotobiorreactor, acoplado a la pared de un edificio, cuya única misión es el crecimiento de algas, no el tratamiento de Aguas Residuales. La patente EP2103682 consiste en un fotobiorreactor electromagnético con fotoconvertidores octogonales que influyen positivamente en el intercambio electrónico existente en la fotosíntesis, aumentando consecuentemente la producción de biomasa.

El documento patente ES2080918 consiste en cultivar en un fotobiorreactor Clos microalgas en suspensión y trituradas mediante la re-inyección del oxígeno producido por las mismas, mientras que en nuestro caso ni se Trituran, ni se separan del medio de cultivo, ni se realiza re-inyección de oxígeno. Sin embargo la patente ES2347515 consiste en la producción de microalgas destinadas a absorber gases de emisión de alto contenido en anhídrido carbónico (CO₂). Por su parte, la patente EP2067850 consiste en un fotobiorreactor vertical sumergible para la obtención de biocombustible.

El documento patente ES2071572 no es más que un dispositivo que funciona en discontinuo, semicontinuo o continuo en el cual se obtiene biomasa rica en ácidos grasos poliinsaturados.

El documento patente ES2231566 consiste en un procedimiento para el tratamiento de Aguas Residuales y contaminantes del aire a partir de un agente de acondicionamiento, mientras que la patente WO2012072837 no es más que un fotobiorreactor con una

estructura cónica o troncocónica en el interior del depósito donde se encuentra tanto el medio de cultivo como la biomasa fototropa, prácticamente igual que la ES2356653.

La patente ES2319376, consiste en un fotobiorreactor compuesto por varias canalizaciones y por las que al menos circula un organismo vivo fotosintético, sin embargo dicho organismo no se encuentra en las Aguas Residuales.

Por su parte, la patente WO2011124727 comprende un sistema de cultivo de microalgas con consumo de energía óptimo, para nada parecido al procedimiento que se quiere patentar. El documento patente WO2011061380 no es más que un sistema modular que comprende una serie de fotobiorreactores para el cultivo en continuo de microalgas, las cuales no se encuentran en Aguas Residuales.

El documento patente WO2012153174 se basa en la reducción de oxígeno mediante la desactivación de la digestión aerobia, para después transferir el Agua Residual a otro recipiente donde se realice la fotosíntesis de las algas en condiciones favorables, sin embargo el procedimiento que se pretende patentar se basa, desde el principio, en el aumento del oxígeno disuelto del Agua Residual, la cual no se transfiere a ningún otro recipiente (fotobiorreactor), ni tampoco realiza ningún pre-filtrado, cosa que si hace la patente US2011266215. La patente EP2491112 también realiza un filtrado de las Aguas Residuales, las cuales han pasado por un tratamiento biológico anaerobio.

La patente WO2012019338, consiste en el tratamiento de Aguas Residuales mediante el uso de algas y organismos anaerobios, mientras que el nuevo procedimiento descrito en la presente memoria sólo se basa en el uso de algas existentes en las propias Aguas Residuales.

En lo referente a la patente US2011247977, hay que decir que se trata de un dispositivo para el tratamiento de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, mientras que el nuevo procedimiento a patentar no consiste, en absoluto, en dicho tratamiento.

El documento patente US2010237009 se fundamenta en el uso de organismos heterótrofos, mientras que el procedimiento descrito y desarrollado en la presente memoria utiliza microalgas autótrofas.

La patente CN101306879 utiliza una fuente de luz artificial situada bien en el interior y/o en el exterior del fotobiorreactor, mientras que el nuevo procedimiento descrito sólo utiliza luz natural.

Con respecto al documento patente WO0034189, es importante citar que se basa en la depuración de residuos agrícolas y ganaderos de manera secuencial utilizando dos tipos de

microorganismos, previamente seleccionados, que en ningún momento entran en contacto entre sí. Por su parte, en el nuevo procedimiento que se pretende patentar, se parte de aguas residuales urbanas, cuyo tratamiento lo llevan a cabo simbióticamente dos tipos de microorganismos (especies de microorganismos), no añadidos, sino ya presentes de antemano en el agua residual. Del mismo modo, se pueden citar otras tres diferencias entre la patente WO0034189 y el nuevo procedimiento que se pretende patentar:

a.- En la patente WO0034189 se utiliza en una primera fase un consorcio de organismos procarióticos tipo bacterias rojas no del azufre, que son bacterias fotosintéticas anoxigénicas. En nuestro procedimiento las bacterias no son fotosintéticas (excepto rara vez que se han encontrado cianobacterias) sino que son por lo general bacterias que existen en el ser humano como *Escherichia Coli*, incluyendo las cepas patógenas. Son bacterias heterótrofas, mayormente aeróbicas, y por tanto su misión es totalmente diferente a las bacterias rojas o púrpuras no del azufre.

b.- En el documento patente WO0034189, una vez separadas las bacterias, se añaden a la corriente contaminada algas verdes tipo *Chlorella*. Las algas de nuestro sistema no están seleccionadas y por tanto no pertenecen a un solo grupo, sino a tantos como contenga el agua a tratar y por tanto variables en función de las circunstancias. El objetivo de nuestro procedimiento es favorecer la relación mutualista entre algas y bacterias que se establece en las aguas residuales de forma habitual.

c.- En la patente WO0034189, las bacterias utilizadas realizan una fotosíntesis anoxigénica mientras que en nuestro caso se favorecen en todo momento los procesos aeróbicos de degradación de la materia orgánica, y de ahí que el sistema sea cerrado para provocar la sobreoxigenación.

Por último, falta por hacer alusión a la patente ES2238275, la cual presenta un fotobiorreactor con una cámara de reacción que presenta una superficie ampliada mayor que la superficie envolvente.

Tal y como puede observarse en la documentación que se cita, hasta ahora no se ha planteado ningún procedimiento en el que las microalgas que se cultivan sean las propiamente existentes en las Aguas Residuales pretratadas, las cuales alcanzan su máximo número a los 2 ó 3 días, consiguiéndose valores de oxígeno Disuelto (OD) superiores a 100 mg/L y, valores de concentración de microalgas, dentro del reactor, comprendidos 100.000 y 125.000 células/mL para los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Selenastrum*, por lo que el procedimiento que se propone es totalmente novedoso en ese sentido.

Bibliografía:

- Anker Yaakov, Katz Erez (15/11/2012). WO2012153174.
- Arbona Celaya, A., De La Parra Abad, M.A., Molina Azcona, A., Ripa Ngkaion, I., Paz Yepes, J., Sojo Armentia, M.A. (13/10/2011). WO2011124727.
- Asensio Beltrán, E. (26/05/2011). WO2011061380.
- Baabbad, M. (19/06/2012). ES2383263.
- Baccou, J.C. (2003). Réduction de la charge bactérienne grâce aux formes réactives de l'oxygène sursaturé, produit de l'activité photosynthétique des micro-algues. Projets de démonstration LIFE "Environmental". Comisión Européenne.
- Bahr, M., Muñoz Torre, R., Domínguez Padilla, A., Díaz Prado, M., Díaz Menéndez, J.I. (23/01/2012). ES2372509.
- Camejo, C., Lebrato, J., Lugones, A., Santana, M. (2007). Benefit of the urban residual water using works of the concept of engineering of the possible water in the "Cañada de Juana", Santi Spíritus, Cuba.
- Contreras Gómez, A., Molina Grima, E., García Camacho, F., Valdes Sanz, F. (16/06/1995). ES2071572.
- Díaz García, C., Romero Palazón, E., García-Blairsy Reina, G. (16/09/2010). WO2010103154.
- Fernández González, J. (29/10/2010). ES2347515.
- Gudin, C., Thepenier, C. (16/02/1996). ES2080918.
- Horst Geoff. (13/11/2012). US2010237009.
- Lebrato, J. (2007). I Jornadas Técnicas Internacionales "Sed Cero Ya". Universidad de Sevilla.
- Lee, Choul-Gyun., Kim, Z-Hum. (23/03/2012). ES2377619.
- Longji Wei, Ling Zhang (16/02/2012). WO2012019338.
- Michiels, M. (16/09/2011). ES2364891.
- Muller-Feuga, A., Legrand, J., Pruvost, J., Legentilhomme, P., Le Guedes, M. (01/11/2008). ES2305120.
- Rispoli, G., Fioravanti, E., Bignazzi, R., D'addario, N., De Ferra, F., Capuano, F. (15/07/2011). ES2362917.
- Ripolles Romeu, J.L., Mena Mas, J.F. (06/05/2009). ES2319376.
- RNM-159 (2005). Manual de la Ingeniería de Agua Posible. Universidad de Sevilla.
- Robinson Terry, S., McGraw Kevin, S., Sylvester Jared, W., Weidow Jesse, D. (03/11/2011). US2011266215.
- Sánchez Pérez, J.A., Sánchez Martín, C., Fernández Sevilla, J.M., Acien Fernández, F.G., Molina Grima, E. (16/11/2000). ES2150389.
- Song Kyung Guen, Ahn Kyu Hong, Cho Kang Woo, Cho Jin Woo, Oh Hae Seok, Ki Dong Won. (05/11/2012). US2011247977.
- Stro&IUML, Azzo-Mougin, B.A.J., Gomis Catala, C. (23/09/2009). EP2103682.
- Stro&IUML, Azzo-Mougin, B.A.J., Mengual Molina, M.R. (06/10/2009). EP2067850.
- Tejero Monzón, J.I., Castrillo Melguizo, M., Díez Montero, R. (07/06/2012). WO2012072837.

Tejero Monzón, J.I., Castrillo Melguizo, M., Díez Montero, R., Moreno-Ventas Bravo, X.E. (12/04/2011). ES2356653.

Thepenier, C., Gudin, C., Sarrobert, B. (16/03/1999). ES2125960.

Trisch, W. (16/06/2006). ES2254509.

Trisch, W., Schmid-Staiger, U., Zastrow, A., Retze, A., Brucker, F. (01/09/2005). ES2238275.

Troesch, W. (29/08/2012). EP2491112.

Uphoff, C. (16/05/2005). ES2231566.

Vargas, A., Camejo, C., Lebrato, J., Lugones, A., Santana, M. (2007). Benefit of the urban residual water using works of the concept of engineering of the possible water in the "Cañada The Six, Jatibonico", Santi Spíritus, Cuba.

Wexler, H.M., Startari, J.F. (15/06/2000). WO0034189.

Xiansheng Xiao, Xiankai Xiao, Xiaoping Zhang, Cong Liao, Changqing Wu, Shukai Xie, Xiu Wang. (19/11/2008). CN101306879.

Descripción de la invención

Con el procedimiento que se plantea, se logra obtener agua exenta de bacterias patógenas y apta para su uso tanto en agricultura como para el ser humano, a partir de agua residual.

Este procedimiento se caracteriza por no requerir instalaciones complejas ni conocimientos técnicos elevados, consiste en la depuración y la desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactor trabajando en continuo.

Para ello resulta necesario llenar en su totalidad el fotobiorreactor con agua residual pretratada mediante una bomba hidráulica, para posteriormente, y tras mantener el sistema herméticamente cerrado y expuesto a la radiación solar, obtener un "bloom" de algas a los 2 ó 3 días, alcanzándose valores de O.D. superiores a 10 mg/L, así como valores de concentración de microalgas, en el interior del fotobiorreactor, comprendidos entre 100.000 y 125.000 células/mL para los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Selenastrum*.

Posteriormente, se tiene que realizar la puesta en funcionamiento del sistema en continuo, pero teniendo en cuenta que el flujo de alimentación tiene que ser, aproximadamente, de 180 mL/h.

Teniendo presentes las pautas especificadas, se produce una sobreoxigenación a consecuencia de la acción fotosintética de las microalgas generadas directamente de las algas residuales, alcanzándose valores de O.D. comprendidos, en todo momento, entre 15 mg/L y 35 mg/L. Además, se obtiene una disminución de los contenidos de materia orgánica, medidos como DQO y DBO₅, a consecuencia de la asimilación de la misma por parte de las bacterias existentes en el agua residual.

Tras la recogida del effluente resultante, puede observarse que se alcanzan rendimientos de depuración superiores al 50 %, dando lugar a aguas tratadas que cumplen con la normativa vigente acerca de vertidos.

Del mismo modo, se produce una disminución de los contenidos en sólidos en suspensión y sólidos totales por decantación, con rendimientos superiores al 50 % y 70 % respectivamente, así como unos valores medios de desinfección (estimados por contenido en microorganismos indicadores "coliformes fecales y totales") del 100 % y 99,97 % respectivamente.

El presente procedimiento tiene importantes aplicaciones en la industria destinada a la agricultura, ganadería y el ámbito forestal, ya que es de especial utilidad en aquellas zonas en las que no hay disponible agua de suficiente calidad como para riego, ya sea por problemas de salinidad o de contaminación, o simplemente que el agua escasea en determinadas épocas del año. Es de especial valía en zonas con condiciones climáticas favorables, elevado número de horas de sol al año y temperaturas medias que favorecen la actividad fotosintética de las microalgas y la actividad depuradora de las bacterias. Lógicamente, esta disponibilidad de agua redundará en un aumento de la producción herbácea y como consecuencia una mayor disponibilidad de alimento tanto para el ganado como para el ser humano de zonas bien desarrolladas como en desarrollo.

Respecto la industria química, o aquellas de otros ámbitos que produzcan effluentes con vertidos a cauce público, presenta como aplicación la seguridad de que el vertido cumple con la normativa vigente, por lo que se puede considerar que el uso de éste nuevo procedimiento en éste tipo de industrias es, en sí mismo, una medida de bajo coste en lo que a la minimización del impacto ambiental se refiere.

Para la administración pública en general, así como para aquellas ONGs que lo precisen, es un procedimiento válido, útil y de aplicación tanto en zonas urbanas como rurales de los países con gran poder económico, ya que permitiría obtener mayor cuota de ahorro en el uso del recurso agua, como en los países del denominado tercer mundo o en aquellas zonas danmificadas por catástrofes naturales, donde la escasez de agua o sus malas condiciones da lugar a enfermedades o incluso a la muerte.

Modo de realización de la invención

Como ejemplo comentar el experimento realizado en el laboratorio de análisis de la ETSIA de la Universidad de Sevilla gracias al uso de agua residual pretratada procedente de la EDAR "La Ranilla" (latitud = 37,365161 ; longitud = -5,930806).

En dicho experimento se midieron diferentes parámetros (pH, O.D., C.E., Turbidez, Sólidos Totales, Sólidos en Suspensión, DQO, DBO5, Coliformes Fecales y Coliformes Totales entre otros) tanto de las aguas de entrada como de salida del sistema, los cuales fueron tratados estadísticamente con el SPSS v.14.

De dicho análisis, realizado con un intervalo de confianza del 95 %, se procedió a rechazar la hipótesis nula, en la que se consideraba que las aguas de entrada eran iguales a las de salida, excepto para los coliformes totales, fecales y sólidos en suspensión. En el caso de coliformes fecales, la alta variabilidad de los datos de entrada, hace que estadísticamente no se puedan considerar diferentes entrada y salida, aún cuando se obtienen 0 UFC/100mL (desinfección total) en las últimas. La significación bilateral del par $C.E_{Entrada} - C.E_{Salida}$ mostró ser uno de los parámetros que peores resultados dio entre los que cumplen la hipótesis de partida. Esto implica que el efecto del reactor sobre el contenido final de sales del agua tratada está sujeto a un grado de incertidumbre que obligaría a un control de éstas en caso de desearse reutilización del agua en riego.

Las cantidades de DQO y DBO5 son muy diferentes en la entrada y la salida. Las bacterias son las principales responsables de la asimilación de la materia orgánica contenida en las aguas efluentes.

Los resultados indicaron que es a la salida del sistema donde se produce tanto una desinfección como una decantación, lo que justifica que los rendimientos de depuración aumenten en gran medida. En dicha salida la población de algas fue muy elevada, y por tanto también lo fue su contribución tanto a los sólidos en suspensión como a los totales.

Respecto a los valores de OD, comentar que una vez superados los 2-3 primeros días de arranque del sistema, su evolución fue prácticamente constante, exceptuando lógicamente las oscilaciones propias debidas a los ciclos día-noche, y consecuentemente de radiación solar. El funcionamiento óptimo del sistema se alcanzó en los periodos en los que el OD osciló entre 25 y 30 mg/L. En estas circunstancias se produjo una simbiosis ideal entre algas y bacterias, que tuvo como resultado la depuración. La función fotosintética de las algas evitó la necesidad de utilizar sistemas de aireación externos.

Tras los primeros días de funcionamiento, el pH experimentó una evolución ascendente y continua, con oscilaciones diarias correspondientes a los ciclos día-noche hasta establecerse en un rango óptimo alrededor de $pH = 10$. Todas las observaciones realizadas para explicar la evolución del OD fueron igualmente válidas para la evolución del pH, ya que al superponer las gráficas de OD y pH, ambos parámetros presentaron evoluciones muy similares, como corresponde al equilibrio que se produce entre las especies O_2 y CO_2 disueltas.

En los momentos en los que los valores de OD y pH son más bajos, se produjo un aumento de CE como resultado de una mayor mineralización de la materia orgánica a consecuencia de la actividad bacteriana y de un menor consumo de sales por parte de las algas. La CE osciló, durante el periodo establecido de funcionamiento óptimo del reactor, entre 1.350-1.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el agua resultante podría perfectamente utilizarse para riego agrícola de especies tolerantes a la salinidad.

Reivindicaciones

1. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, caracterizado porque comprende las siguientes fases o etapas:
 - a. Llenar en su totalidad el fotobiorreactor con agua residual pretratada mediante una bomba hidráulica.
 - b. Mantener el sistema herméticamente cerrado y expuesto a la radiación solar hasta que se produzca un “bloom” de algas, preferentemente durante 2-3 días, y se alcancen valores de O.D. superiores a 10 mg/L, y valores de concentración de microalgas en el interior del reactor comprendidos entre 100.000 y 125.000 células/mL para los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Selenastrum*.
 - c. Puesta del sistema en funcionamiento en continuo, con un flujo de alimentación de 180 mL/h.
 - d. Recogida del efluente resultante.
2. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicación 1, caracterizado por producir una sobreoxigenación como consecuencia de la acción fotosintética de las microalgas, alcanzándose en todo momento valores de O.D. comprendidos entre 15 mg/L y 35 mg/L.
3. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado por presentar una disminución de los contenidos de materia orgánica, medidos como DQO y DBO5, como resultado de la asimilación de la misma por parte de las bacterias de las aguas residuales.
4. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque permite alcanzar rendimientos superiores al 50 %, generando aguas tratadas que cumplen con la normativa vigente acerca de vertidos.
5. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado por producir una

disminución de los contenidos en sólidos en suspensión y sólidos totales por decantación, con rendimientos superiores al 50 % y 70 % respectivamente.

6. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado por dar lugar a unos valores medios de desinfección, estimados por contenido en microorganismos indicadores, esto es coliformes fecales y totales, del 100 % y 99,97 % respectivamente.
7. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado por no requerir instalaciones complejas ni conocimientos técnicos elevados.
8. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las microalgas se generan directamente a partir de las aguas residuales.
9. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se basa, esencialmente, en la acción simbiótica de las bacterias/algas presentes en el agua residual.
10. Procedimiento para depuración y desinfección de aguas residuales mediante fotobiorreactores, según reivindicaciones anteriores, caracterizado por su posterior reutilización, tanto en la agricultura como en el consumo humano.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2015/000094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C02F3/32 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Fotorreactor Biológico in régimen continuo, como sistema of depuración-desinfección of aguas residuales. Memoria presentada para optar al grado of Doctor by Alfonso J. Gutiérrez Cotro. Sevilla 9-12-2008. See págs.45-50, Diseño experimental ; págs..123-125, Conclusiones)[online][Retrieved 20-04-2015] Retrieved from Internet URL> http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/939/fotorreactor-biologico-in-regimen-continuo-como-sistema-of-depuracion-desinfeccion-of-aguas-residuales/	1-10
A	US 20140124438 A1 (ANKER ET AL.) 08-05-2014, Paragraphs 0234-0236, claims 1 and 18.	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15/09/2015

Date of mailing of the international search report
(22/09/2015)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
J. López Nieto

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3498426

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2015/000094

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO2012153174 A2	15.11.2012	US2014124438 A1 EP2704999 A2	08.05.2014 12.03.2014
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2015/000094

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD C02F3/32 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
C02F

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	Fotorreactor Biológico en régimen continuo, como sistema de depuración-desinfección de aguas residuales. Memoria presentada para optar al grado de Doctor por Alfonso J. Gutiérrez Cotro. Sevilla 9-12-2008. Ver págs.45-50, Diseño experimental ; págs..123-125, Conclusiones)[online][Recuperado 20-04-2015] Recuperado de Internet URL> http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/939/fotorreactor-biologico-en-regimen-continuo-como-sistema-de-depuracion-desinfeccion-de-aguas-residuales/	1-10
A	US 20140124438 A1 (ANKER ET AL.) 08-05-2014, Párrafos 0234-0236, reivindicaciones 1 y 18.	1-10

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
15/09/2015

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
22 de septiembre de 2015 (22/09/2015)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
J. López Nieto
Nº de teléfono 91 3498426

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2015/000094

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO2012153174 A2	15.11.2012	US2014124438 A1 EP2704999 A2	08.05.2014 12.03.2014
-----	-----	-----	-----