

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 413**

51 Int. Cl.:

C02F 3/28 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.12.2011 PCT/EP2011/071952**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2012 WO12076541**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2011 E 11793427 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2649017**

54 Título: **Un reactor anaerobio para tratamiento de aguas residuales**

30 Prioridad:

06.12.2010 EP 10193829

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

03.05.2019

73 Titular/es:

**NATIONAL UNIVERSITY OF IRELAND GALWAY
(100.0%)
University Road
Galway, IE**

72 Inventor/es:

**O'FLAHERTY, VINCENT y
HUGHES, DERMOT**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 711 413 T3

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

DESCRIPCIÓN

Un reactor anaerobio para tratamiento de aguas residuales

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un reactor anaerobio para el tratamiento de aguas industriales y otras aguas residuales, preferentemente a temperaturas psicrófilas.

10 Antecedentes de la invención

La digestión anaerobia (AD, por su sigla en inglés) conlleva la rotura de moléculas orgánicas complejas mediante metanogénesis mediada por acetato y H_2/CO_2 para producir biogás con metano (CH_4). Las ventajas respecto de los sistemas de tratamiento aerobios convencionales, de mineralización de residuos anaerobios, incluyen: una reducción en la producción de exceso de fangos y la liberación de metano (CH_4), un combustible fácilmente utilizable, que se puede aprovechar para usos de energía externa. No obstante, prácticamente todas las instalaciones de AD a gran escala funcionan en condiciones mesófilas (25-45 °C) (Lettinga et al., 1999), cuyo mantenimiento supone costes financieros considerables, utilizándose una fracción significativa de la energía del biogás. Para elevar la temperatura de muchas aguas residuales hasta el intervalo mesófilico óptimo se requiere una cantidad muy significativa de energía parásita puesto que la gran mayoría de las descargas se liberan para eliminación y/o tratamiento a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente. Si fuera posible eliminar la necesidad del calentamiento, la AD sería mucho más atractiva desde el punto de vista económico. Asimismo, cabe destacar que, en la actualidad, la AD no se aplica generalmente para el tratamiento de aguas residuales diluidas, tal como agua de alcantarilla, puesto que la energía requerida para calentar el digestor a menudo excede la energía recuperable del biogás. Esto constituye una desventaja fundamental de la AD convencional, lo cual ha dado pie a que las tecnologías aerobias de alto consumo energético, tales como los fangos activados, hayan sido las escogidas para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales diluidas durante décadas.

Sin embargo, la AD, o metanogénesis, a baja temperatura, se ha descrito en una variedad de hábitats naturales, incluyendo suelos de tundra y permafrost y los sedimentos de ecosistemas de lagos profundos (Nozhevnikova, 2000), lo cual sugirió que la AD a baja temperatura podría ser una meta viable para una eco-tecnología novedosa. Si se descubriera que la AD a baja temperatura o a temperatura psicrófila (<20 °C) es realmente viable, ofrecería una alternativa sumamente atractiva a las operaciones convencionales, puesto que ofrece una metodología de bajo nivel tecnológico y de bajo coste para el tratamiento de muchos efluentes municipales e industriales (Lettinga et al., 2001). La aplicación de digestión a baja temperatura presenta beneficios económicos evidentes en este contexto y este enfoque sostenible promete cumplir con los criterios socio-económicos para la implementación de sistemas de saneamiento modernos a nivel verdaderamente global. Asimismo, la posibilidad de mineralización anaerobia de aguas residuales farmacéuticas o xenobióticas persistentes en el medio ambiente (Biorremediación) constituye una nueva y fascinante aplicación comercial de la AD a baja temperatura.

Además de eliminar el carbono, el tratamiento de aguas residuales requiere cada vez más la eliminación y la recuperación del fosfato. A nivel global, el fosfato es un recurso escaso, vital para la producción de fertilizantes agrícolas, y cada vez hay más propulsores comerciales y legislativos que requieren su recuperación a partir de aguas residuales. Se conocen varios mecanismos para la atenuación de fosfato en la técnica, incluyendo la atenuación de fosfato mediante materiales absorbentes. En condiciones alcalinas, por ejemplo, los iones fosfato solubles reaccionan con calcio para formar una secuencia de fases de Ca-P. En condiciones ácidas, los aniones fosfato ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) pueden reaccionar con Fe^{3+} , Al^{3+} y Mn^{3+} para formar precipitados de hidroxifosfato insolubles o se pueden fijar mediante óxidos insolubles de Fe, Mn y Al. El intercambio de aniones, que es un mecanismo dependiente del pH, también puede producirse donde los aniones hidroxilo se liberan y se reemplazan por iones fosfato. Con una acidez en aumento, la carga superficial tiende a una carga positiva mayor mientras que el pH en aumento produce una superficie con carga negativa. El proceso conlleva fuerzas electroestáticas no específicas que convierten a los aniones fosfato en aniones fácilmente intercambiables. El ion fosfato también puede reemplazar un hidroxilo estructural para formar un complejo de esfera interior con la superficie de óxido con intercambio de ligandos. Esta reacción también se beneficia con los valores de pH reducidos. Esta reacción también adhiere el fosfato de tal forma que no es posible permitir su rápido reemplazo por otros aniones. Las fuerzas de adhesión implicadas son unión covalente, unión iónica o una combinación de las dos haciendo que la recuperabilidad del fosfato sea muy baja, lo cual constituye una desventaja para el uso de estos materiales.

El documento US4613434 describe un dispositivo para el tratamiento de aguas residuales mediante una fermentación anaerobia, que comprende un tanque cerrado y dentro de él elementos para alimentar aguas residuales a ser tratadas dentro del tanque, elementos para eliminar agua tratada, gas y fangos del tanque, elementos para mezclar los contenidos del tanque y elementos para separar el gas en la parte superior del tanque.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar digestión anaerobia a baja temperatura o a temperatura psicrófila comercialmente viable para la producción de metano y la eliminación de fosfato de las aguas residuales u otros efluentes.

Resumen de la invención

5 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un reactor anaerobio para tratar efluente líquido a temperaturas psicrófilas de acuerdo con la reivindicación 1.

Preferentemente, el material portador comprende un material con base de pumita.

10 Preferentemente, el reactor comprende una válvula unidireccional dispuesta entre la cámara de mezclado y la cámara de biopelícula y colocada para permitir el flujo de fluido desde la cámara de mezclado directa o indirectamente hacia el interior de la cámara de biopelícula.

15 Preferentemente, el reactor comprende una válvula unidireccional dispuesta entre la cámara de biopelícula y la cámara de separación y colocada para permitir el flujo de fluido desde la cámara de biopelícula hacia el interior de la cámara de separación.

20 Preferentemente, el material portador de biopelícula tiene forma granular y tamaño graduado, estando los elementos más grandes ubicados más cerca de la cámara de biopelícula y los elementos más pequeños cerca de la cámara de separación.

Preferentemente, el reactor comprende medios de mezclado dispuestos dentro de la cámara de mezclado para complementar, durante el uso, el mezclado producido por el biogás generado dentro de la cámara de mezclado.

25 Preferentemente, el medio de mezclado comprende un conjunto de deflectores ubicados dentro de la cámara de mezclado.

Preferentemente, la cámara de mezclado funciona, durante el uso, como un lecho de fangos granulares fluidizado.

30 Preferentemente, el reactor comprende un separador en dos fases en la cámara de separación y que funciona para separar biogás de efluente tratado.

Preferentemente, el reactor comprende un desgasificador por vacío pasivo aguas abajo de la cámara de separación y que funciona para separar biogás residual disuelto de efluente tratado.

35 Preferentemente, el material portador tiene una gravedad específica inferior a la del efluente que va a tratarse en el reactor.

40 Preferentemente, el reactor comprende un retenedor poroso para retener el material portador a la vez que permite que el efluente fluya alrededor del material portador.

Preferentemente, el retenedor comprende un receptáculo formado y dimensionado para alojarse dentro de la cámara de biopelícula y que funciona para retener el material portador de biopelícula dentro y tiene una base porosa y tapa para permitir el flujo de fluido a través del receptáculo.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de tratamiento anaerobio de un efluente líquido a temperaturas psicrófilas de acuerdo con la reivindicación 14.

50 Preferentemente, el procedimiento comprende, en la etapa de introducir los iones, provocar la liberación de dichos iones de un material portador de biopelícula con base de pumita colonizada.

Preferentemente, el procedimiento comprende la etapa de separar el efluente tratado de cualquier biogás generado durante el tratamiento del efluente.

55 Preferentemente, el procedimiento comprende la etapa de inmovilizar el material portador dentro de un retenedor poroso dentro del reactor.

60 Preferentemente, el procedimiento comprende la etapa de llevar a cabo el mezclado del efluente dentro de la sección de lecho fluidizado dirigiendo el efluente a través de un conjunto de deflectores dentro de la sección de lecho fluidizado.

65 Como se utiliza en el presente documento, la expresión «material con base de pumita» pretende referirse tanto a pumita de origen natural como a materiales de ingeniería de tipo pumita, en particular materiales que liberan iones hidroxilo, aluminio, manganeso, sodio, potasio, calcio, hierro y/o magnesio como resultado de una activación biológica cuando el material con base de pumita se utiliza como un material portador de biopelícula para uso en el tratamiento anaerobio de aguas residuales o aguas similares.

Como se utiliza en el presente documento, el término «temperatura psicrófila» pretende referirse a una temperatura que oscila entre 4 °C y 20 °C.

Breve descripción de los dibujos

5 La Figura 1 ilustra una representación esquemática de un reactor anaerobio psicrófilo de acuerdo con una realización de la presente invención;

10 la Figura 2 ilustra la eficiencia de la eliminación de DQO en el tratamiento aerobio a gran velocidad de agua de alcantarilla cruda a 12 °C para un reactor de acuerdo con la invención, durante los periodos operativos I-IV, descritos en la Tabla 1. Influyente (σ) y efluente (\square);

15 la Figura 3 muestra la eficiencia de la eliminación de DQO de reactores de control (\blacksquare) y modificados con fenol (O) de la invención, y la concentración de fenol efluente (σ). Velocidad de carga de fenol aplicada: (A) 0,4 kg de fenol $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$; (B) 0,8 kg fenol $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$; (C) 1,2 kg de fenol $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$. (D) Temperatura operativa reducida a 15 °C;

20 la Figura 4 ilustra la eficiencia de la eliminación de fosfato de pumita no colonizada para tratar aguas residuales estériles (Δ); pumita colonizada con biopelícula anaerobia para tratar las mismas aguas residuales (L); y una pumita no colonizada inoculada con un consorcio metanogénico desde el cual se puede observar que cuando se ha llevado a cabo la colonización biológica de la pumita, la eliminación de fosfato se potencia en gran medida y es más eficaz durante un ensayo a largo plazo (O);

25 la Figura 5 ilustra micrografías de electrones que muestran la colonización microbiana temporal del material portador en condiciones psicrófilas en el reactor de la presente invención; y

la Figura 6 es una fotografía que ilustra la formación de precipitados de poli-fosfato en la biopelícula adherida a material de pumita en el reactor anaerobio de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

30 Con referencia ahora a los dibujos que acompañan la presente invención, se ilustra un reactor anaerobio, generalmente indicado con el número 10, para uso en el tratamiento de aguas residuales a temperaturas psicrófilas y en la producción de biogás a partir de dichas aguas residuales.

35 El reactor 10 comprende cuatro cámaras, una cámara de mezclado en forma de una cámara de lecho fluidizado 12 ubicada en y formando una base del reactor 10, una cámara de recirculación 14 ubicada directamente encima de la cámara de lecho fluidizado 12 y en comunicación fluida con esta, una cámara de biopelícula 16 ubicada encima de y en comunicación fluida con la cámara de circulación 14, y una cámara de separación 18 ubicada encima de y en comunicación fluida con la cámara de biopelícula 16. El reactor 10 además comprende una entrada 20 desde la cual, durante el uso, se suministran aguas residuales influentes a la cámara de lecho fluidizado 12 desde un dispositivo de distribución de influente 22.

45 Dentro de la cámara de lecho fluidizado 12, durante el uso, hay fangos granulares anaerobios que se han inoculado con consorcios microbianos anaerobios capaces de llevar a cabo digestión anaerobia en condiciones psicrófilas (4 °C - 20 °C). No obstante, el volumen de biogás producido como resultado del tratamiento anaerobio de las aguas residuales, en condiciones psicrófilas, por lo general, es inferior respecto del producido en condiciones mesófilas o termófilas. Por lo tanto, el mezclado mecánico adicional de las aguas residuales con los fangos granulares dentro de la cámara de lecho fluidizado 12 es beneficioso. En consecuencia, el reactor 10 se proporciona con medios de mezclado no mecanizados en forma de un conjunto de deflectores 24 dentro de la cámara de lecho fluidizado 12, que contribuyen con el mezclado de los fangos anaerobios y las aguas residuales sin consumir energía para mantener la eficiencia del reactor 10. Sin embargo, se apreciará que se pueden emplear medios de mezclado no mecanizados alternativos, por ejemplo, recircular una porción del efluente desde aguas arriba de la cámara de lecho fluidizado 12 para llevar a cabo el mezclado dentro de la cámara 12.

55 Una vez que el efluente se ha filtrado hacia arriba a través de la cámara de lecho fluidizado 12 alcanza una interfaz entre la cámara de lecho fluidizado 12 y la cámara de recirculación 14, que está definida por una válvula unidireccional 26 permitiendo el flujo de tanto el efluente como el biogás desde la cámara de lecho fluidizado 12 hacia el interior de la cámara de recirculación 14. Por lo tanto, la válvula 26 permite que el efluente tratado y el biogás pasen dentro de la cámara de recirculación 14, pero impiden el flujo de efluente/gas en la dirección contraria.

60 La cámara de recirculación 14, como se describirá con mayor detalle más adelante, permite que una porción del efluente tratado y/o biogás producido dentro del reactor 10 sea recirculada para permitir un control de proceso más preciso y la limpieza por burbujeo de la cámara de biopelícula 16. Recirculando efluente y/o biogás hacia el interior de la cámara de recirculación 16, y no de la cámara de lecho fluidizado, es posible impedir que se apliquen esfuerzos cortantes excesivos a los fangos granulares dentro de la cámara de lecho fluidizado 12, como se describirá con mayor detalle más adelante.

65

Desde la cámara de recirculación 14, el efluente y biogás suben hacia el interior de la cámara de biopelícula 16. La cámara de biopelícula 16 contiene, durante el uso, un retenedor en forma de un receptáculo 28 que es poroso para permitir el flujo de tanto el efluente como el biogás a través de él. El receptáculo 28 contiene y confina un material portador de biopelícula (no mostrado), por ejemplo piedra pómez u otros compuestos de pumita o materiales con base de pumita, que durante el uso se coloniza mediante una biopelícula. El material con base de pumita y biopelícula asociada promueven la eliminación sumamente significativa de fosfato de aguas residuales tales como agua de alcantarilla. Esto se puede utilizar para reducir la necesidad de procesos de eliminación de fosfato químico o biológico. El material con base de pumita se puede modificar, por ejemplo, añadiendo grupos funcionales tales como acetonitrilos para introducir una capacidad de eliminación de metales potenciada. Preferentemente, el material portador dentro del receptáculo 28 es graduado, estando los elementos más grandes hacia el fondo del receptáculo 28 y disminuyendo en tamaño hacia la parte superior del receptáculo 28. El efluente y el biogás, una vez que pasan a través del receptáculo 28 y son tratados por la biopelícula inmovilizada dentro de él, pasan a través de una válvula unidireccional 30 hacia el interior de la cámara de separación 18.

La presente invención ha demostrado que es posible conseguir una activación biológica del material con base de pumita durante digestión anaerobia a baja temperatura y que dicha activación se puede aprovechar para conseguir una eliminación de fosfato significativamente mejorada y es, en realidad, responsable de la mayor parte de la eliminación de fosfato durante el tratamiento anaerobio de diversas aguas residuales (p. ej., Figura 4) La activación biológica del material con base de pumita da como resultado la liberación de iones magnesio, calcio y/o potasio que luego son responsables de la atenuación del fosfato.

El reactor 10 comprende un separador 32 en dos fases ubicado dentro de la cámara de separación 18 y que funciona para separar el efluente tratado del biogás producido dentro del reactor 10. El biogás separado se extrae de la cámara de separación 18 por una salida de gas 34 y se envía para limpieza/utilización/almacenamiento. De manera similar, el efluente se extrae de la cámara de separación 18 mediante una salida de efluente 36. La salida de efluente 36 preferentemente alimenta el efluente tratado a través de un desgasificador por vacío pasivo 38 o separador basado en membranas (no mostrado) que funciona para eliminar cualquier metano de biogás residual disuelto de efluente antes de la descarga. A continuación, el biogás desgasificado se alimenta nuevamente a la corriente de biogás que se extrae de la cámara de separación 18 mediante la salida de gas 34.

El control de proceso adicional y la limpieza del material portador contenido en el receptáculo 28 se proporciona mediante la prestación adicional de recirculación de efluente mediante un circuito de recirculación 40 que puede alimentar el efluente al interior de o bien la cámara de recirculación 14 o la cámara de lecho fluidizado 12 en calidad de medio de mezclado, según la concentración y el contenido de sólidos de las aguas residuales. De manera similar el biogás extraído en la salida de gas 32 se puede hacer pasar, mediante un circuito de recirculación de gas 42, a la cámara de recirculación 14 que puede limpiar por burbujeo de manera eficaz la cámara de biopelícula 16, cuando sea necesario, de este modo teniendo la ventaja de evitar que se apliquen esfuerzos cortantes excesivos al lecho de fangos granulares dentro de la cámara de lecho fluidizado 12, que por ende permanece aislado en la cámara de lecho fluidizado 12. La recirculación de tanto el efluente tratado como el biogás se puede controlar mediante ordenador, utilizando sensores distribuidos dentro del reactor 10 y en la salida de gas 32 y la salida de efluente 34, para permitir el funcionamiento automatizado del reactor 10, en particular el aspecto de recirculación del funcionamiento del reactor.

Por consiguiente, la presente invención proporciona un procedimiento y aparato para tratamiento biológico anaerobio a gran velocidad y a baja temperatura de una variedad de aguas residuales. El procedimiento y aparato funcionan preferentemente con tiempos de retención hidráulica de 1-12 horas, una velocidad de carga orgánica de 0,5-35 kg m³ día⁻¹, eficiencia de eliminación de DQO de hasta 99 %, en condiciones psicrófilas (4-25 °C). El procedimiento y aparato son eficaces como sistema para tratamiento de aguas residuales de baja concentración (DQO a partir de 100 mg/l) y para eliminación de fosfato (hasta 90 %) de aguas residuales a un nivel que previamente no se conseguía en condiciones anaerobias.

La invención representa una alternativa a la tecnología anaerobia a gran velocidad para tratamiento de aguas residuales existente en la actualidad, que emplea biorreactores que deben calentarse a temperaturas mesofílicas (alrededor de 37 °C) o termofílicas (>45 °C). La invención también proporciona una alternativa a los procesos aerobios existentes para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, tales como sistemas de fangos activados y también sistemas que proporcionan eliminación de fósforo biológico, tales como reactores de alimentación discontinua aerobios/anaerobios. El procedimiento de la invención se puede emplear como un enfoque de tratamiento único, o en combinación con otras tecnologías tales como filtración por membranas o juncales (humedales construidos) según los requerimientos de las licencias de descargas, y es adecuado para aplicar a una gran variedad de escalas desde 20PE y superiores.

Se presentan dos ejemplos en detalle para ilustrar las características de funcionamiento del reactor anaerobio de baja temperatura 10, 1) Agua de alcantarilla y 2) corrientes fenólicas.

Un objetivo fundamental de los estudios experimentales del reactor 10 fue demostrar el uso de la invención para el

tratamiento de agua de alcantarilla. Se llevaron a cabo ensayos iniciales a largo plazo de agua de alcantarilla que se obtuvo de la planta de tratamiento de agua de alcantarilla del ayuntamiento de la ciudad de Galway en la isla de Mutton y se trató en los reactores 10 en un ensayo de 120 días (Estudio 2; Figura 3). El tratamiento exitoso tanto de agua de alcantarilla de sedimentación primaria como de agua de alcantarilla cruda, para conseguir niveles de descarga, se consiguió mediante los reactores 10 después de un período inicial de 60 días.

Estudio 1: Tratamiento de agua de alcantarilla

El agua de alcantarilla primaria decantada y cruda se sometió a digestión en los reactores 10 a 15 °C y 12 °C, en comparación con un control a 37 °C (Figura 2). La VCO aplicada osciló entre 1,5-6 kg DQO m⁻³ d⁻¹ (Tabla 1; Figura 2).

Tabla 1 - Características operativas y de funcionamiento del biorreactor R1 que trata agua de alcantarilla cruda y el biorreactor R2 que trata agua de alcantarilla de sedimentación primaria.

Biorreactor Período	R1				R2				
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	V
Días	0-37	38-70	71-93	94-141	0-37	38-70	71-93	94-112	113-149
TRH ^a	24	12	8	6	24	12	8	6	3
VLR ^b	1	2	3	4	1	2	3	4	8
SLR ^c	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,4
DQO influente	512,8	291,4	265,4	556	194,1	155,9	100,8	157,2	277,9
Total (mg l ⁻¹)	±207,2	±86,0	±74,6	±85,2	±55,9	±22,6	±24,3	±84,9	±27,8
DQO efluente	175,7	120,8	98,4	200,6	125,3	86,3	65,2	111,8	145,9
Total (mg l ⁻¹)	±60,2	±49,9	±17,0	±44,0	±60,1	±30,5	±11,1	±70,6	±36,4
Eliminación de DQO	57,2	58,3	60,9	63,5	36,8	45,6	32,7	31,7	47,1
Eficiencia (%)									
Fosfato influente (mg l ⁻¹ PO ₄ ³⁻)	17,9	12,7	11,1	20,6	5,1	4,7	2,1	3,8	9,8 ± 3,3
Fosfato efluente (mg l ⁻¹ PO ₄ ³⁻)	±3,8	±4,9	±5	±4,4	±1,3	±2,2	±1,7	±1,6	
AGV efluente (mg l ⁻¹ ácido acético)	4,1 ± 1,4	4,1 ± 0,9	2,1 ± 0,8	4,4 ± 1,9	3,5 ± 2	2,9 ± 1,9	0,6 ± 0,6	1 ± 1	4,2 ± 2,4

Todos los valores son la media de la fase ± desviación estándar de la fase;

^a Tiempo de retención hidráulica (h); ^b Velocidad volumétrica de carga (por su sigla en inglés) (m³ Aguas residuales m⁻³ Reactor d⁻¹); ^c Velocidad de carga de fangos (por su sigla en inglés) (m³ Aguas residuales kg [SVS]⁻¹ d⁻¹);

El funcionamiento del reactor 10 fue eficaz y estable durante el ensayo y dio como resultado una eficiencia de eliminación de DQO que cumplía con los estándares de descarga nacionales (de Irlanda).

Estudio 2: Aguas residuales fenólicas

El fenol se digirió satisfactoriamente en el reactor 10 tanto a 18 °C como a 15 °C (Figura 2), ampliando de este modo el intervalo de descargas que se puede reconocer como adecuado para tratamiento biológico anaerobio a baja temperatura. La VCO aplicada fue 5 kg DQO m⁻³ d⁻¹ a la vez que se consiguió una velocidad de carga de fenol de 1,2 kg de fenol m⁻³ d⁻¹, con hasta 97,5 % de eliminación de fenol (Figura 3).

Se observó un periodo inicial promedio de 60 días para el reactor 10 que trataba aguas residuales tanto reales como sintéticas (los períodos iniciales previos indicados para biorreactores anaerobios psicrófilos eran 120 días), lo cual sugiere que el reactor 10 e inóculos representan un avance significativo en el estado de la técnica del tratamiento anaerobio.

La reproducibilidad de la digestión anaerobia a baja temperatura de la presente invención se ilustró con el

funcionamiento en paralelo de reactores replicados. Durante un ensayo con cinco reactores replicados, los parámetros de funcionamiento, tales como tiempos de retención hidráulica (TRH; 1,5 - 48 h), velocidades de carga orgánica (VCO; 1,5-25 kg DQO m⁻³ d⁻¹) y velocidades volumétricas de carga (0,2-5 m³ m⁻³ d⁻¹) fueron variados con un funcionamiento sumamente reproducible y eficaz. El funcionamiento del reactor 10 indicó la eliminación satisfactoria de DQO de aguas residuales tanto de baja como de media concentración en la industria del procesamiento de alimentos, de agua de alcantarilla y de corrientes recalcitrantes. Asimismo, se consiguieron eficiencias satisfactorias de eliminación de DQO para la digestión de aguas residuales diluidas con base de suero de leche con alta concentración. En general, la acumulación de AGV no fue problemática, pero los niveles aumentados de propionato y acetato en efluentes de digestor se consideraron indicativos de esfuerzos en los reactores iniciados por perturbaciones aplicadas a los experimentos (los datos no se muestran).

En el reactor 10 se observó formación de biopelícula microbiana inmovilizada en condiciones psicrófilas mientras que se registraron de manera constante eficiencias de eliminación de DQO más elevadas para los reactores 10 que para EGSB y controles con FA totalmente empaquetados. La cámara de biopelícula superior 16 del reactor 10 ofrecía una etapa de «pulido» para la degradación de aguas residuales acidificadas desde las fases de flujo ascendente iniciales de la cámara de lecho fluidizado 12. Esto fue más obvio en el tratamiento de aguas residuales recalcitrantes, cuando los fenoles residuales clorados, producidos por degradación de triclorofenol en la cámara de lecho fluidizado 12 del fueron degradados con éxito otra vez por biopelícula formada en la cámara de biopelícula superior 16 empaquetada con pumita. Asimismo, la biopelícula y el material con base de pumita proporcionan un medio de atenuación de fosfato excelente de aguas residuales oscilando la eliminación de fosfato entre 60 y 80 % durante el ensayo al que se refiere la Tabla 1. Esto constituye una ventaja considerable de la presente invención y es única para los biorreactores anaerobios.

Asimismo, la biopelícula y el material con base de pumita proporcionan un medio de atenuación de fosfato excelente de aguas residuales oscilando la eliminación de fosfato entre 60 y 80 % durante el ensayo al que se refiere la Tabla 1. El mecanismo de acción se refiere al uso de biopelículas anaerobias para mediar y potenciar significativamente la capacidad de eliminación de fosfato de materiales absorbentes porosos, tales como piedra pómez mediante:

- (i) La interacción entre las células de la biopelícula anaerobia y la superficie lo cual produce la activación de la superficie, específicamente la liberación de aniones hidroxilo y cationes aluminio, manganeso, sodio, potasio, calcio, hierro, magnesio y/u otros (Figura 4);
- (ii) Eliminación de ácidos grasos volátiles en las aguas residuales mediante biopelículas anaerobias vivas, lo cual aumenta el pH dentro de la biopelícula y hace que se formen fosfato de calcio y otros precipitados de catión-fosfato dentro de la biopelícula;
- (iii) El suministro de material de matriz de polisacáridos de regeneración continua por parte de las biopelículas en crecimiento, lo cual aumenta el área superficial efectiva para la atenuación del fosfato.

La Figura 4 ilustra el resultado de un experimento, que demuestra el efecto de la eliminación de fósforo por medios biológicos en comparación con los procesos de adsorción normal y de intercambio de iones que se producen en pumita no activada por medios biológicos. La Figura 5 ilustra la biopelícula formada en el reactor del presente documento, mientras que la Figura 6 es una fotografía de precipitados de poli-fosfato, que se han formado en la matriz de una biopelícula adherida a una partícula de pumita en el reactor anaerobio 10.

La combinación novedosa de lecho fluidizado con mezclado potenciado mediante medios no mecánicos, un inóculo metanogénico apropiado, la capacidad de reciclar efluente a través de la sección de lecho fluidizado antes de que el líquido sea proporcionado por la cámara de recirculación y la acción del material con base de pumita en la cámara de biopelícula es lo que permite el funcionamiento eficiente del reactor 10 para digestión anaerobia psicrófila, incluyendo para el tratamiento de aguas residuales de baja concentración y la eliminación de fosfato. La actividad metanogénica específica (AME) cotejada a 15 °C para los fangos del reactor fue más elevada que la registrada a 37 °C para los fangos de siembra, indicando un desarrollo satisfactorio de la actividad metanogénica y acetogénica de las comunidades microbianas mediante cultivo en reactor a baja temperatura. Se obtuvo evidencia de comunidades catabolizantes por hidrógeno, butirato y propionato en ensayos de AME en biomasa a partir de los ensayos más largos.

Cabe destacar que el 50 por ciento de las concentraciones inhibitorias (valores de CI₅₀) para una variedad de toxicantes potenciales fueron comparables, o de hecho superiores, para el reactor 10 que para los informados previamente para fangos mesófilos. Esto constituye un indicador adicional de que el reactor 10 es eficaz y adecuado para el tratamiento de una amplia variedad de aguas residuales, incluyendo las que contienen compuestos tóxicos o recalcitrantes.

Por lo tanto, el reactor 10 de la presente invención ofrece las siguientes ventajas:

El procedimiento y reactor 10 de la presente invención emplean consorcios microbianos anaerobios para eliminar contaminantes de las aguas residuales. El reactor 10 no requiere aireación y, en realidad, el proceso es un productor de energía neta puesto que aproximadamente 80-90 % de la energía contenida en las sustancias orgánicas de las aguas residuales se conserva en el biogás rico en metano.

5 La digestión anaerobia convencional da como resultado la producción de fangos residuales netos de $\ll 0,1$ kg de biomasa seca/kg de DBO eliminada. El reactor 10 de la presente invención, puesto que funciona a temperaturas más bajas que las de la AD y que, por ende, el crecimiento microbiano es más lento, normalmente produce fangos netos de $\ll 0,02$ kg de biomasa seca/kg de DBO eliminada. Asimismo, los fangos anaerobios son, a diferencia de los fangos aerobios, un producto valioso como fuente de inóculo de siembra.

10 El reactor 10 funciona a temperaturas ambiente, no requiere calentamiento y funciona con gran eficiencia a temperaturas de aguas residuales de hasta $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura del agua residual del año entero en Irlanda es $12 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. La mayor parte de las descargas industriales oscilan entre $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, se produce un equilibrio energético neto positivo al utilizar la presente invención para tratar muchas aguas residuales de baja concentración, inadecuadas para AD convencional. El calentamiento supone más del 80 % de los gastos de funcionamiento de la AD convencional a gran velocidad y, en consecuencia, la presente invención constituye un enfoque extremadamente eficaz en términos energéticos y económicos.

15 El procedimiento de la invención representa un proceso de tratamiento de una única fase, y el reactor 10 utilizado para llevar a cabo dicho procedimiento tiene una proporción altura:diámetro considerable. Esto significa que la huella espacial del reactor 10 es más pequeña, y la monitorización del proceso mucho más sencilla que en los enfoques aerobios de gran velocidad.

20 La configuración de 4 cámaras del reactor 10 y la presencia del material portador dan como resultado una calidad del efluente que excede las conocidas para sistemas de AD convencionales. En particular, el uso de un material portador con base de pumita promueve la eliminación de fosfato significativa de agua de alcantarilla o aguas similares. La presente invención como proceso de tratamiento de etapa única cumple con los estándares de descarga para agua de alcantarilla doméstica, por ejemplo, en entornos marinos, y simplemente requiere una etapa de pulido pasivo, tal como un humedal construido, para completar el proceso de tratamiento para la descarga en entornos más sensibles.

25 El sistema y procedimiento de la presente invención:

30 Consiguen un tratamiento de aguas residuales anaerobio sumamente eficiente y a gran velocidad (tiempos de retención hidráulica de 1-12 horas; velocidad de carga orgánica de $0,5\text{-}35\text{ kg m}^3\text{ día}^{-1}$; eficiencia de eliminación de DQO de hasta 99 %), en condiciones psicrófilas ($4\text{-}25\text{ }^{\circ}\text{C}$);

35 Son eficaces como sistema para tratamiento de aguas residuales de baja concentración (DQO a partir de 100 mg/l); y consigue una eliminación de fosfato (hasta 90 %) de aguas residuales a un nivel que previamente no era posible en condiciones anaerobias.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor anaerobio (10) para tratar efluente líquido a temperaturas psicrófilas que oscilan entre 4 y 20 grados Celsius, comprendiendo el reactor un material portador de biopelícula liberador de iones hidroxilo, aluminio, manganeso, sodio, potasio, calcio, hierro y/o magnesio colonizado durante el uso por una bacteria anaerobia capaz de llevar a cabo, durante el uso, la atenuación de fosfato por medios biológicos del efluente a través de la formación de precipitados de poli-fosfato en la biopelícula adherida al material portador de biopelícula; una entrada de fluido (20); comprendiendo el reactor cuatro cámaras que comprenden una cámara de mezclado (12) alimentada por la entrada (20) para proporcionar durante el uso una cámara de lecho fluidizado; una cámara de biopelícula (16) en comunicación fluida con la cámara de mezclado (12) dentro de cuya cámara de biopelícula (16) se ubica el material portador de biopelícula; una cámara de separación (18) ubicada encima de y en comunicación fluida con la cámara de biopelícula (16); una cámara de recirculación (14) dispuesta entre la cámara de mezclado (12) y la cámara de biopelícula (16); y al menos una tubería de recirculación (40) que permite la recirculación de efluente y/o biogás desde la cámara de separación (18) hasta la cámara de recirculación (14).
2. Un reactor anaerobio de acuerdo con la reivindicación 1 en el cual el material portador comprende un material con base de pumita.
3. Un reactor anaerobio de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 que comprende una válvula unidireccional (26) dispuesta entre la cámara de mezclado y la cámara de biopelícula y colocada para permitir el flujo de fluido desde la cámara de mezclado directa o indirectamente hacia el interior de la cámara de biopelícula.
4. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una válvula unidireccional (30) dispuesta entre la cámara de biopelícula y la cámara de separación y colocada para permitir el flujo de fluido desde la cámara de biopelícula hacia el interior de la cámara de separación.
5. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el cual el material portador de biopelícula tiene forma granular y tamaño graduado, estando los elementos más grandes ubicados más cerca de la cámara de recirculación y los elementos más pequeños cerca de la cámara de separación.
6. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende medios de mezclado (24) dispuestos dentro de la cámara de mezclado para complementar, durante el uso, el mezclado producido por el biogás generado dentro de la cámara de mezclado.
7. Un reactor anaerobio de acuerdo con la reivindicación 5 en el cual el medio de mezclado comprende un conjunto de deflectores (24) ubicados dentro de la cámara de mezclado.
8. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el cual la cámara de mezclado funciona, durante el uso, como un lecho de fangos granulares fluidizado.
9. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende un separador en dos fases (32) en la cámara de separación y que funciona para separar biogás de efluente tratado.
10. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende un desgasificador por vacío pasivo (38) aguas abajo de la cámara de separación y que funciona para separar biogás residual disuelto de efluente tratado.
11. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el cual el material portador tiene una gravedad específica inferior a la del efluente que va a tratarse en el reactor.
12. Un reactor anaerobio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende un retenedor poroso para retener el material portador a la vez que permite que el efluente fluya alrededor del material portador.
13. Un reactor anaerobio de acuerdo con la reivindicación 12 en el cual el retenedor comprende un receptáculo (28) formado y dimensionado para alojarse dentro de la cámara de biopelícula y que funciona para retener el material portador de biopelícula dentro y que tiene una base porosa y tapa para permitir el flujo de fluido a través del receptáculo.
14. Un procedimiento para tratamiento anaerobio de un efluente líquido a temperaturas psicrófilas que oscilan entre 4 y 20 grados Celsius en un reactor (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, comprendiendo el procedimiento las etapas secuenciales de hacer pasar el efluente a través de una cámara de mezclado de lecho fluidizado (12) del reactor que se ha inoculado con consorcios microbianos anaerobios para llevar a cabo la metanogénesis del efluente antes de tratar el efluente con la biopelícula; hacer pasar el efluente a través de la cámara de biopelícula (16), introduciendo de este modo iones hidroxilo, aluminio, manganeso, sodio, potasio, calcio, hierro y/o magnesio del material portador colonizado de biopelícula en el efluente para llevar a cabo la

5 atenuación de fosfato por medios biológicos del efluente a través de la formación de precipitados de poli-fosfato en la biopelícula adherida al material portador de biopelícula; separar el efluente tratado de cualquier biogás generado durante el tratamiento del efluente en la cámara de separación (18); recircular una cantidad del efluente tratado y/o biogás hacia el interior de la cámara de recirculación (14) del reactor, estando dicha cámara de recirculación (14) dispuesta entre la cámara de mezclado (12) y la cámara de biopelícula (16).

15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14 que comprende, en la etapa de introducir los iones, provocar la liberación de dichos iones de un material portador de biopelícula con base de pumita colonizada.

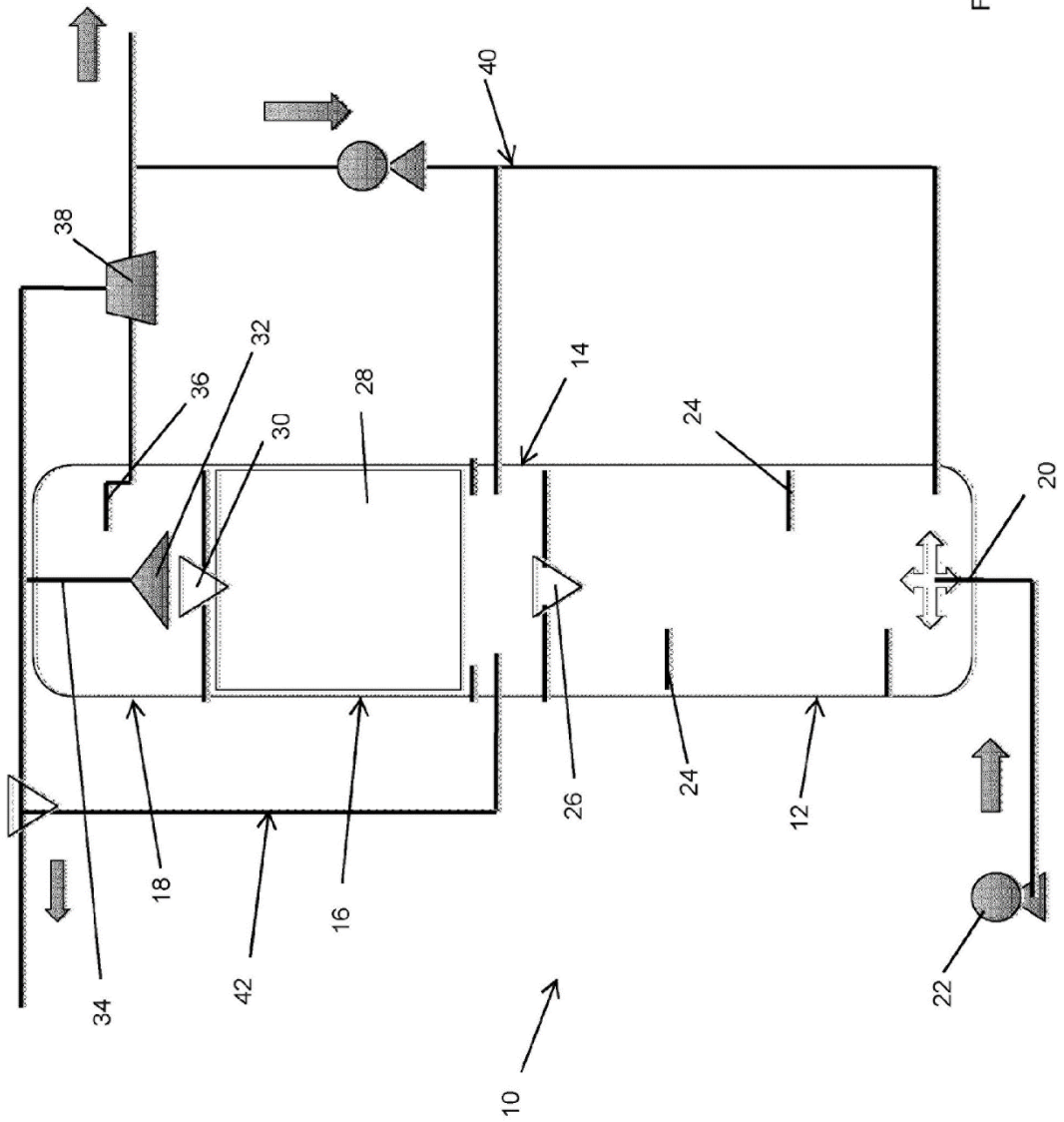


Fig. 1

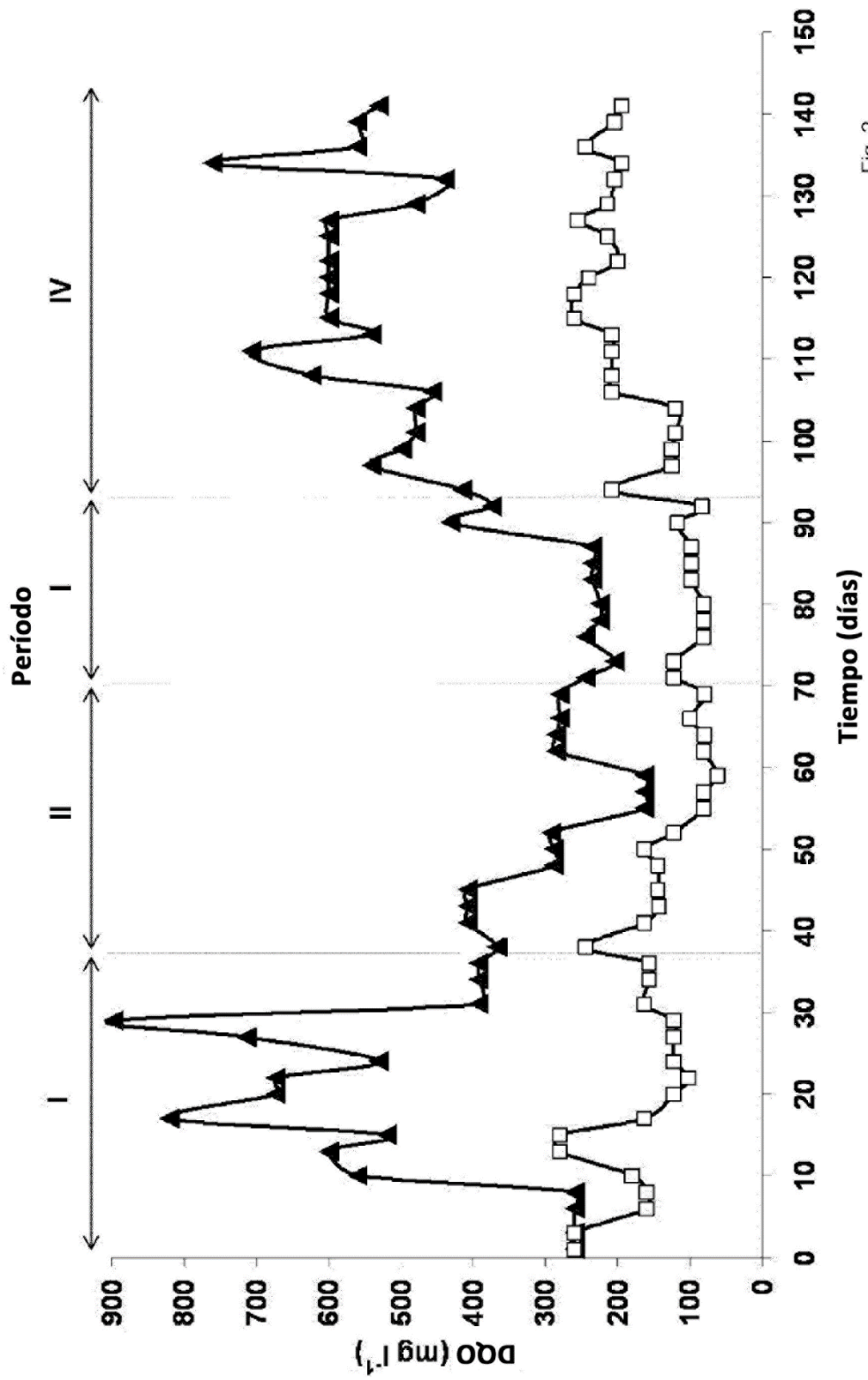


Fig. 2

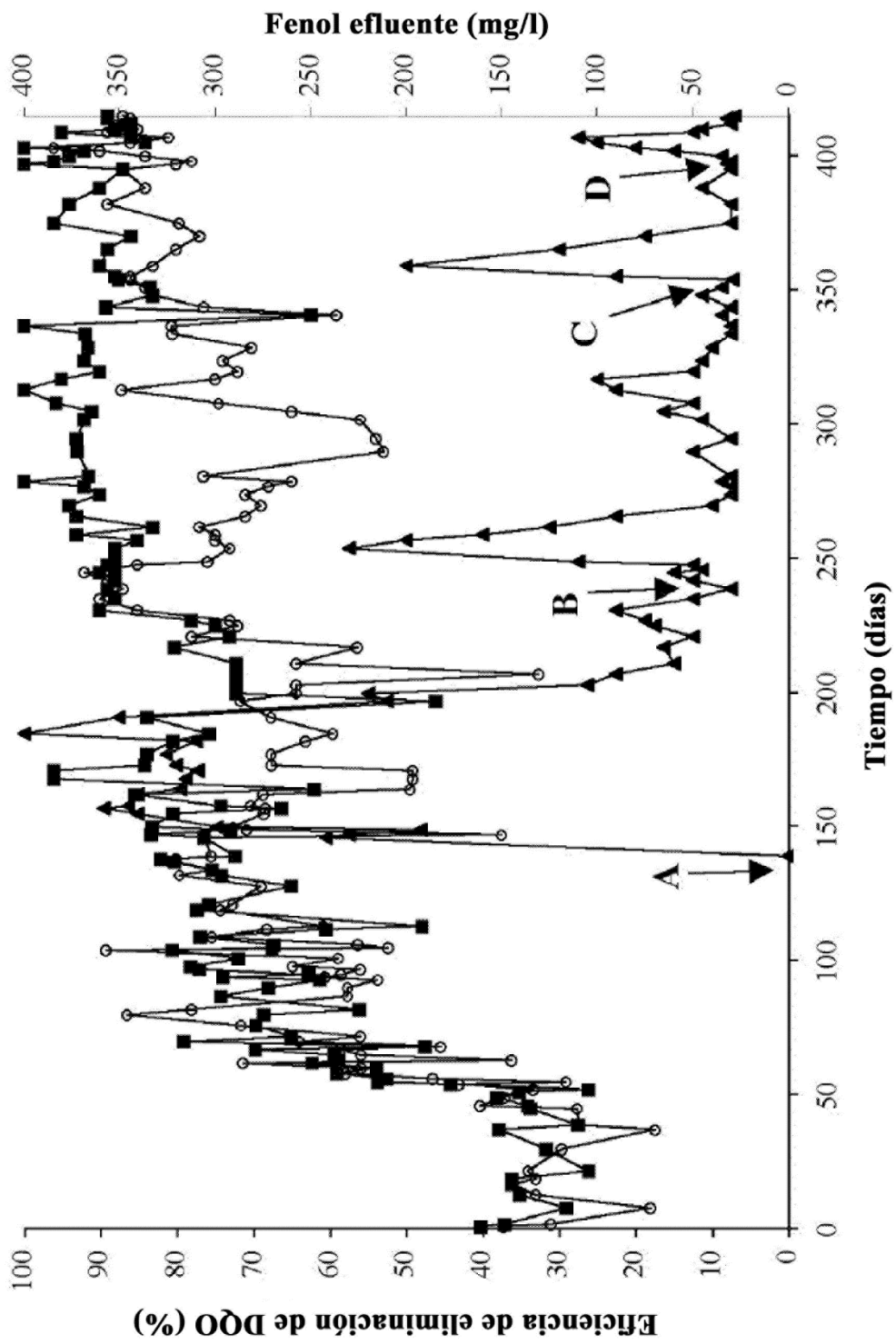


Fig. 3

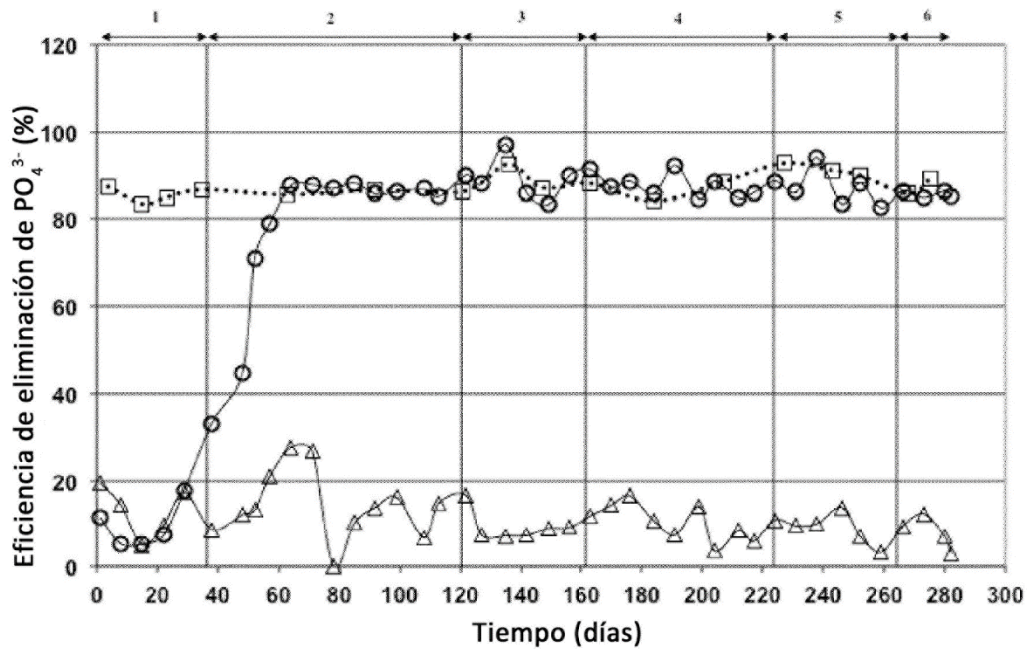


Fig. 4

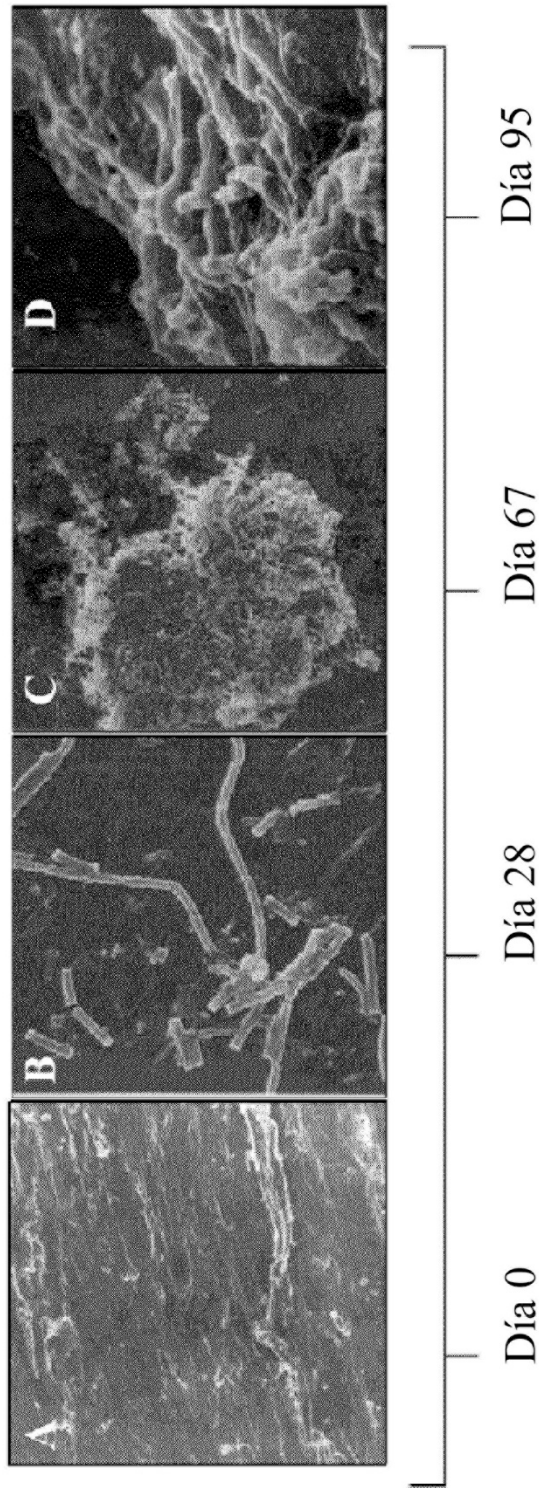


Fig. 5

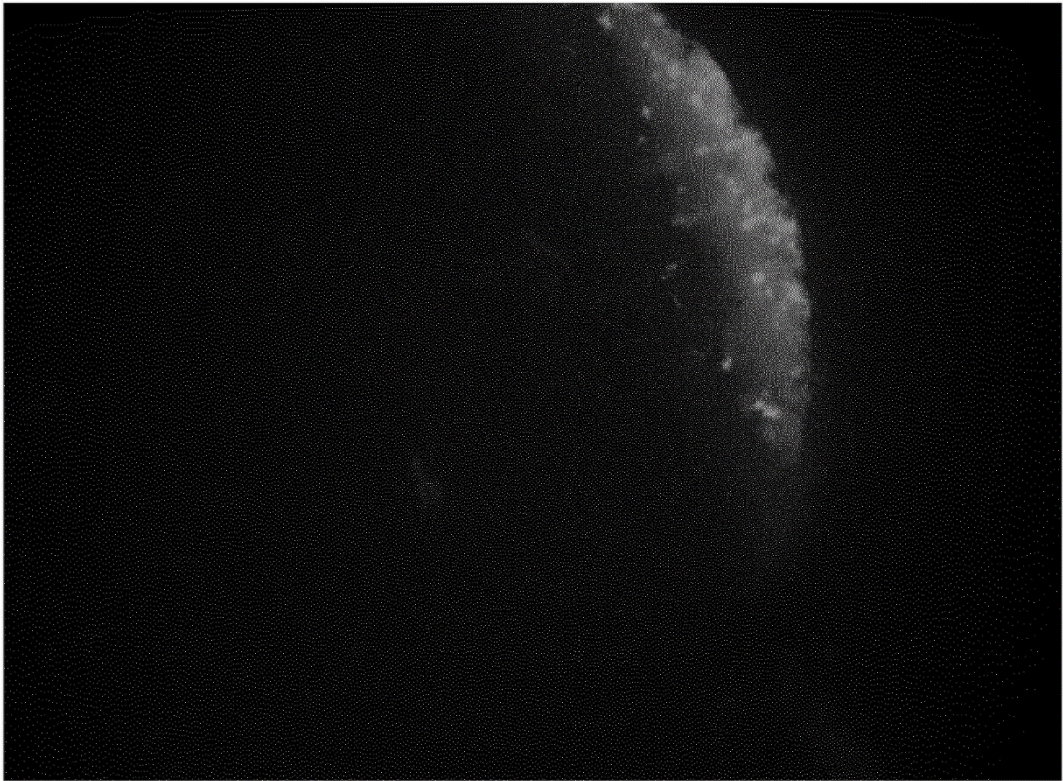


Fig. 6