

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 148**

51 Int. Cl.:

**C12P 7/42** (2006.01)

**C12P 7/62** (2006.01)

**C02F 3/12** (2006.01)

**C02F 3/30** (2006.01)

**C02F 3/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.07.2017 PCT/EP2017/067906**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.01.2018 WO18011413**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2017 E 17737303 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 3485025**

54 Título: **Proceso para el tratamiento de aguas residuales que contienen material orgánico y amoníaco**

30 Prioridad:

**15.07.2016 EP 16179754**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.04.2021**

73 Titular/es:

**PAQUES I.P. B.V. (100.0%)  
Tjalke de Boerstrjitte 24  
8561 EL Balk, NL**

72 Inventor/es:

**DIJKMAN, HENDRIK**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 821 148 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**

Proceso para el tratamiento de aguas residuales que contienen material orgánico y amoníaco

5

**Campo de la invención**

[0001] La presente invención se refiere a un proceso para tratar aguas residuales que contienen DQO (demanda química de oxígeno) fácilmente biodegradable y amoníaco para producir un compuesto de almacenamiento microbiano (MSC, por sus siglas en inglés), en particular un proceso para producir polihidroxialcanoato (PHA), utilizando microorganismos que acumulan el compuesto de almacenamiento microbiano.

10

**Estado de la técnica**

[0002] Los procesos para la producción de PHA u otros compuestos de almacenamiento microbiano se conocen en la técnica y comprenden típicamente ciclos que alternan una fase denominada "festín", donde el lodo que comprende bacterias acumuladoras de PHA se alimenta con un sustrato que comprende compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (denominado demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable o DQOFB) con una fase denominada "hambruna", donde el sustrato se retiene en las bacterias. En la fase de festín, las bacterias acumuladoras de PHA están convirtiendo DQOFB, como los ácidos grasos volátiles (AGV), en PHA. En la fase de hambruna, el PHA acumulado en las bacterias se usa como alimento, lo que da como resultado la selección de aquellas bacterias que son capaces de acumular PHA u otros compuestos de almacenamiento bacteriano.

15

20

[0003] La US 8030021 (Leland Stanford Jr) divulga dicho proceso en el que cultivos mezclados de microbios productores de PHA convierten AGV en PHA en un biorreactor de secuenciación con ciclos repetidos de condiciones similares a un festín (exceso de materia prima, AGV y nutrientes limitados, nitrógeno, fósforo etc.), y condiciones similares a hambruna (exceso de nutrientes y materia prima limitada).

25

[0004] La WO2015/181083 (Paques) divulga un proceso producción de PHA que comprende someter las aguas residuales a microorganismos acumuladores de PHA en una reacción de acumulación de PHA de dos etapas en un primer reactor retirando parte de los microbios acumuladores de PHA después de las primeras etapas y sometiénolas a condiciones de hambruna en un segundo reactor en paralelo con la reacción de acumulación de la segunda etapa.

30

[0005] Se describen procesos adicionales para producir PHA, por ejemplo, en la WO 2014/102297 y WO 2011/073744.

35

[0006] Innerebner et al., *Systematic and Applied Microbiology* 30 (2007) 408-412 revelan una planta de desamonificación monofase y monotanque para tratar aguas residuales que contienen amonio, donde el amonio se convierte en nitrito por medio de bacterias anaeróticamente oxidantes (AOB, por sus siglas en inglés) y luego el amonio y el nitrito se convierten en nitrógeno elemental por medio de bacterias anaeróticamente oxidantes (llamadas frecuentemente bacterias Anammox). El lodo se extrae del reactor y se separa en dos fases: una fase pesada, que comprende principalmente bacterias Anammox, y una fase ligera. Se describen procesos similares, por ejemplo, en la WO 00/05176 y EP 2163525, donde la fase ligera (lodos no granulares) se descarga en gran medida y la fase pesada (lodos granulares) se devuelve en gran medida al reactor. La WO2014/171819 divulga un proceso similar realizado a bajas temperaturas (5-25 °C), lo que implica un control cuidadoso de los tiempos de retención hidráulica y los tiempos de retención del lodo granular. La WO 2008/046139 divulga un proceso biológico por etapas para reducir los niveles de nitrógeno y fósforo en las aguas residuales y para producir PHA en el mismo reactor.

40

45

50

**Resumen de la invención**

[0007] Según la presente invención, se proporciona un proceso en el que la producción de MSC y la eliminación de amoníaco se combinan de manera que se minimiza el control del pH usando niveles no deseados de álcali y ácido. Esto se logra devolviendo el gas que contiene CO<sub>2</sub> producido en la etapa de tratamiento biológico de amoníaco a la etapa precedente de tratamiento biológico de residuos orgánicos para mantener un pH por debajo de 9 y para producir MSC.

55

**Breve descripción de los dibujos**

[0008] La presente invención se analizará con más detalle a continuación, con referencia al dibujo adjunto, en el que la figura ilustra esquemáticamente una forma de realización de la invención.

60

**Descripción detallada**

[0009] La presente descripción se refiere a un proceso para producir un compuesto de almacenamiento microbiano (MSC) a partir de una corriente de alimentación que contiene una demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (DQOFB) y amoníaco. El nivel de DQOFB es de al menos 250 mg/l y el nivel de amoníaco es al

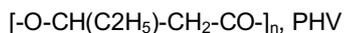
65

menos el 20 % en peso del nivel de DQOFB. El proceso se define adicionalmente en la reivindicación adjunta 1, y las formas de realización preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes; debe entenderse que cualquier combinación de formas de realización preferidas constituye una descripción de una forma de realización preferida adicional.

[0010] Las corrientes de alimentación típicas que se van a tratar son corrientes de pH neutro a pH alto ricas en ácidos grasos volátiles y amoníaco disuelto, tales como los efluentes de lixiviación y eliminación de ácidos grasos volátiles de residuos verdes o ciertas corrientes de condensado, por ejemplo, condensados de las operaciones de secado de lodos municipales. El hecho de que estas corrientes contengan sales de amoníaco y ácidos grasos volátiles como componentes principales da como resultado un aumento adicional del pH cuando los ácidos grasos volátiles se convierten en compuestos de almacenamiento como PHA. Para un funcionamiento estable del proceso biológico en el proceso de producción de MSC, se requiere la adición de ácido para mantener el pH por debajo de 9. La ventaja del proceso es que no se requiere ningún ácido externo, lo que reduce el costo operativo y disminuye la concentración de sal en el agua tratada. El ácido requerido se libera en un proceso de eliminación de nitrógeno aguas abajo donde la oxidación del amoníaco reduce el pH y convierte el carbonato y el bicarbonato en dióxido de carbono ácido. Al reciclar al menos parte del dióxido de carbono liberado al paso de producción de PHA, el pH en ese paso se puede controlar por debajo pH 9 sin necesidad de añadir ácido externo.

[0011] En el contexto de la presente descripción se aplican las siguientes definiciones:

- Los "compuestos de almacenamiento microbiano" son compuestos producidos por microorganismos, tales como bacterias, mohos y algas, para almacenar su exceso de energía. Los compuestos incluyen ésteres, poliésteres, polioésteres, triglicéridos (triacilgliceroles), otras grasas y otros aceites, y polisacáridos, como el glicógeno. Los poliésteres resultantes de la esterificación intermolecular de ácidos hidroxicarboxílicos son una clase importante de compuestos de almacenamiento microbiano, donde los más destacados son los ésteres polihidroxicanoicos, en particular los ésteres poli-p-hidroxicanoicos, como el poli-p-hidroxiacetato (PHB) y el poli-p-hidroxi-valerato (PHV) que tienen las siguientes fórmulas, donde n puede variar de decenas a centenas o incluso muchas unidades de millar, así como sus copolímeros.



[0012] Los ésteres polihidroxicanoicos (o polioxicanoatos) se denominan comúnmente (y en el presente documento) polihidroxicanoato (PHA).

[0013] Los triglicéridos (triacilgliceroles: RAG) que tienen grupos acilo variables, principalmente C16-C18, también son compuestos de almacenamiento bacteriano importantes.

- La "demanda química de oxígeno" (DQO) se refiere a un material orgánico que se puede oxidar a moléculas más pequeñas, finalmente a dióxido de carbono y agua, y el término expresa la cantidad de oxígeno que se necesitaría para oxidar completamente el material orgánico en un volumen dado de aguas residuales.
- La "DQO biodegradable" se refiere al material orgánico en las aguas residuales que se puede asimilar para el crecimiento de la biomasa y también expresa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente el material orgánico en un volumen dado de aguas residuales.
- La "demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (DQOFB)" se refiere a moléculas orgánicas relativamente pequeñas que pueden ser asimiladas rápidamente por microorganismos, como se ilustra posteriormente. Los ejemplos de tales DQOFB incluyen ácidos grasos volátiles, también denominados ácidos grasos de cadena corta, es decir, que tienen hasta 6 átomos de carbono, tal y como se define a continuación, carbohidratos, tales como monosacáridos y disacáridos, ácidos urónicos, alcoholes, polioles, cetonas y aldehídos, preferiblemente alcoholes, polioles, cetonas y aldehídos con hasta seis átomos de carbono y combinaciones de dos o más de los mismos. En otras palabras, la DQOFB se refiere a compuestos orgánicos que tienen hasta 6 átomos de carbono por molécula y que tienen al menos un átomo de oxígeno hidroxílico (C-OH) o cetónico (C=O) por molécula y al menos un átomo de oxígeno por cada cuatro átomos de carbono, preferiblemente que tienen solo carbono, átomos de hidrógeno y oxígeno, así como disacáridos. La concentración de DQOFB se puede determinar mediante medios de métodos estandarizados de respirometría que determinan la fracción de DQO de aguas residuales que se utiliza rápidamente cuando una alícuota de aguas residuales con una cantidad especificada de biomasa se alimenta por pulsos con sustrato en condiciones controladas. Un ejemplo de un método de respirometría estandarizado adecuado se describe en M. Henze et al., *Activated Sludge Models ASM1, ASM2; ASM2d and ASM3*, IWA Publishing, Londres, 2000, p. 16-17; ISBN 1900222248.
- Los "ácidos grasos volátiles" (AGV) se refieren a ácidos grasos que tienen puntos de ebullición en condiciones ambientales por debajo de 250 °C y/o que tienen hasta seis átomos de carbono por molécula, como ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico, ácido valérico, ácido

isovalérico y ácido caproico, y ácidos grasos hidroxilo, como ácido láctico y ácidos grasos cetona, que se pueden obtener mediante digestión anaeróbica de material de residuos orgánicos.

- 5 – "Otra demanda química de oxígeno biodegradable (ODQOB)" se refiere a la DQO biodegradable que no sea DQOFB, es decir, compuestos orgánicos más complejos y menos accesibles, por ejemplo, polisacáridos, grasas y proteínas complejas, así como compuestos orgánicos que tienen relativamente pocos grupos que contienen oxígeno y grupos de hidrocarburo relativamente grandes, tales como los ácidos grasos de cadena larga. El "amoníaco" incluye azano (trihidruro de nitrógeno,  $\text{NH}_3$ ) y cualquiera de sus formas ionizadas, incluidas las protonadas ( $\text{NH}_4^+$ ), ya sea libre o como un complejo, como una sal; las cantidades de amoníaco se expresan en peso de nitrógeno elemental.
- 10 – La "DQOFB empobrecida" y el "amoníaco empobrecido" se refieren a un contenido de DQOFB y amoníaco, respectivamente, que está significativamente por debajo del nivel original. En particular, significa que los niveles se han reducido en al menos un 40 %, más en particular en al menos un 70 %.
- 15 – Las "aguas residuales" se refieren a una corriente acuosa que comprende DQO que necesita ser tratada antes de que pueda reutilizarse o descargarse al medio ambiente. Las aguas residuales, por ejemplo, incluyen agua de proceso, productos secundarios o corrientes de productos intermedios de base biológica u otros sectores.
- 20 – El "lodo" se refiere a cualquier sólido o material tipo sólido presente en un reactor o su afluente o efluente que se puede separar de la parte líquida del reactor (o afluente o efluente) por medios físicos, tales como filtros, (hidro)ciclones, sedimentadores, centrifugadoras, membranas y similares. El lodo puede comprender una parte orgánica, que incluye todo el material biológico, así como compuestos orgánicos no solubles o no finamente dispersables, y una parte inorgánica, que incluye sales no solubles o no finamente dispersables y otro material inorgánico. Por lo tanto, el "lodo orgánico seco" comprende material sólido, del cual se han separado o tenido en cuenta materiales inorgánicos (sales, cenizas) y agua y otros líquidos para calcular niveles de productos.
- 25 – La "etapa de reactor" se refiere a una entidad de contenido de reactor que está separada de otra entidad de contenido de reactor en el espacio y/o tiempo. Por ejemplo, puede ser un compartimento o una zona de un reactor que está parcial o totalmente separado físicamente (por una pared, un estrechamiento u otra barrera) de otra zona del reactor. También puede ser un reactor separado. Además, una fase de reactor puede ser una fase de reactor que tiene un contenido, una composición o un conjunto de condiciones diferentes de otra fase, en el mismo espacio, que sigue o precede a la etapa de reactor (en un proceso no continuo).
- 30 – Los "elementos esenciales para el crecimiento" o "nutrientes esenciales para el crecimiento" comprenden los elementos comúnmente conocidos, distintos de los elementos estructurales carbono, oxígeno e hidrógeno, que la célula requiere para un crecimiento apropiado. Estos incluyen macroelementos N, P, K y S, microelementos Mg, Ca, Fe, y oligoelementos, tales como Mn, Mo, Zn, Co, Cu, Ni, B, Se, W, Cl, así como vitaminas. Si bien se puede usar cualquiera de los elementos, incluidas las vitaminas, para controlar el crecimiento de organismos, se pueden usar de manera ventajosa nitrógeno y fósforo. Dado que el nitrógeno normalmente no será limitante en el presente proceso, el fósforo es el elemento principal para controlar el crecimiento microbiano. Los elementos esenciales para el crecimiento se pueden proporcionar en cualquier forma convencional y apropiada, preferiblemente hidrosoluble, por ejemplo, ácido fosfórico, sales de fosfato, sales de potasio, magnesio, calcio o hierro (cloruro, nitrato, acetato, etc.), sales de sulfato, sales de metales traza, vitaminas o sales vitamínicas, etc.
- 35 – El "tiempo de retención hidráulica" (TRH) es el tiempo medio de retención de líquido (aguas residuales) en el reactor o sistema de reactor o en consideración. En una operación continua, el TRH es equivalente al volumen efectivo del contenido de reactor dividido entre el volumen de líquido añadido al (y descargado del) reactor por unidad de tiempo.
- 40 – El "tiempo de retención de lodos" (TRL) es el tiempo medio de retención del lodo total en el (sistema de) reactor. Puede ser diferente del TRH por separación parcial y retorno de lodos. El TRL también se puede definir como la cantidad calculada según el promedio de tiempo del lodo presente en el reactor (kg de sólidos secos) dividida entre la cantidad calculada según el promedio de tiempo de sólidos producidos en el sistema y eliminados del sistema (kg de sólidos secos/h).
- 45 – De forma similar, el "tiempo de retención de lodos granulares" (TRLG) y el "tiempo de retención de lodos no granulares" (TRLNG) son los tiempos de retención promedios de lodos granulares y lodos no granulares, respectivamente, en un reactor del presente proceso.
- 50 –
- 55 –

[0014] El proceso de la invención comprende:

- 60 (a) someter la corriente de alimentación que contiene demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (DQOFB) a un nivel de al menos 250 mg/l, y amoníaco a un nivel que es al menos de 0,2 g N por g de DQOFB, a microorganismos acumuladores de compuestos de almacenamiento (SCAM, por sus siglas en inglés) en presencia de oxígeno disuelto, mientras se añade dióxido de carbono según sea necesario para mantener un pH por debajo de 9, en una o más etapas, para producir SCAM que contengan MSC en un nivel de al menos 50 % en peso en base al peso en seco de la parte orgánica de los microorganismos, y aguas residuales empobrecidas en DQOFB;
- 65 (b) separar al menos una parte de los SCAM después del paso (a) de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB;

- (c) devolver opcionalmente una parte de los SCAM separados al paso (a);  
 (d) someter aguas residuales empobrecidas en DQOFB producidas en el paso (a) a microorganismos oxidantes de amoníaco (AOM, por sus siglas en inglés) para producir aguas residuales empobrecidas en DQOFB y empobrecidas en amoníaco, y un gas que contiene dióxido de carbono molecular;  
 (e) alimentar una parte de dicho gas que contiene dióxido de carbono al paso (a);  
 (f) recolectar al menos una parte de los SCAM separados en el paso (b), y  
 (g) aislar opcionalmente el MSC de los SCAM recolectados, donde el compuesto de almacenamiento microbiano (MSC) comprende un polihidroxialcanoato (PHA) y donde los microorganismos acumuladores de compuestos de almacenamiento (SCAM) comprenden microorganismos acumuladores de PHA.

[0015] En una forma de realización especialmente preferida ejemplar, el presente proceso comprende:

- (a) someter la corriente de alimentación, que contiene compuestos orgánicos con hasta 6 carbonos y al menos un oxígeno hidroxílico o cetónico por molécula, como DQOFB, a microorganismos acumuladores de PHA (PHA-AM) en presencia de oxígeno disuelto, mientras se añade dióxido de carbono según sea necesario para mantener un pH por debajo de 9, en una o más etapas, mientras se limita el nivel de al menos un elemento esencial para el crecimiento, como el fósforo, para producir PHA-AM que contiene PHA a un nivel de al menos 50 % en peso en base al peso en seco de la parte orgánica de los microorganismos, y aguas residuales empobrecidas en DQOFB;  
 (b) separar al menos una parte del PHA-AM que contiene PHA producida en el paso (a) de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB;  
 (c) devolver opcionalmente una parte del PHA-AM separado al paso (a);  
 (d) someter las aguas residuales empobrecidas en DQOFB producidas en el paso (a) a microorganismos oxidantes de amoníaco (AOM) para producir aguas residuales empobrecidas en DQOFB y empobrecidas en amoníaco, y un gas que contiene dióxido de carbono molecular;  
 (e) alimentar una parte de dicho gas que contiene dióxido de carbono al paso (a);  
 (f) recolectar al menos una parte del PHA-AM separado en el paso (b), y;  
 (g) aislar PHA del PHA-Am recolectado.

[0016] En el paso (a) del presente proceso, DQOFB, tal y como se definió anteriormente, se convierte parcialmente o incluso en gran parte en material de almacenamiento microbiano, que comprende polihidroxialcanoato, en una o más etapas o uno o más reactores, como se describe adicionalmente a continuación. En el paso (d), al menos parte de la corriente empobrecida en DQOFB resultante

[0017] que todavía contiene amoníaco, se trata para reducir significativamente el nivel de amoníaco por oxidación biológica. También las DQOFB y ODQOB residuales se puede oxidar en este paso (d).

[0018] El paso (a) del presente proceso puede comprender cualquier biosistema que convierta la DQOFB en un compuesto de almacenamiento microbiano (MSC), que comprenda polihidroxialcanoato (PHA) en presencia de oxígeno molecular (disuelto). Por lo tanto, el paso (a) es típicamente una etapa del proceso aireado. La concentración de oxígeno disuelto en el paso (a) es preferiblemente de 1,0 a 3,0 mg/L.

[0019] Los microorganismos acumuladores de MSC (SCAM) para su uso en el paso (a) se conocen en la técnica. Las bacterias acumuladoras de PHA y otros microorganismos capaces de acumular compuestos de almacenamiento microbiano, tales como las bacterias acumuladoras de triacilglicerol están típicamente presentes en cultivos no axénicos de microorganismos, tales como los encontrados en el suelo, el agua natural o muestras de biomasa mixta. También pueden aislarse o enriquecerse a partir de plantas de aguas residuales municipales comunes. Las bacterias acumuladoras de PHA pueden pertenecer a varios géneros, tales como los *Alcaligenes* (por ejemplo, *A. latus*), *Ralstonia* (por ejemplo, *R. eutropha*), *Cupriavidus* (por ejemplo, *C. necator*), *Chromatium* (por ejemplo, *C. vinosum*), *Mycobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Thauera*, etc. Estos pueden crecer de forma específica o no específica sobre diversas fuentes de carbono, tales como glucosa, metanol, etanol, acetato y/o otros ácidos grasos. Véase, por ejemplo, Tan G-Y.A. et al. *Polymers* 2014, 6, 706-754; Huang Y-T. et al. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2012, 22, 1141-47. Particularmente útiles son las bacterias del género *Plasticumulans*, tales como *P. acidivorans* (que consumen acetato) y *P. lacatatorans* (que consumen lactato), véase, por ejemplo, Jiang et al. *Int. J. Systematic Evolutionary Microbiology* 2011, 61, 2314-2319, Tamis et al. *J. Biotechnology* 2014, 192,161-169. Los microorganismos acumuladores de TAG pueden pertenecer a varios géneros, tales como *Streptomyces*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Dietzia* y *Gordonia*. Niveles particularmente altos de TAG pueden ser producidos, por ejemplo, por especies de *Rhodococcus*, tales como *R. Opacus*. Véase, por ejemplo, Brigham et al. *J. Microbial Biochem. Technol.* 2011; S3.

[0020] En el paso (a) (o en la primera etapa (a1) del mismo, como se describe a continuación), preferiblemente al menos un elemento que es esencial para el crecimiento está limitado para permitir que se incorpore suficiente carbono en los microorganismos como MSC, en lugar de utilizarse para el crecimiento. Más convenientemente, el elemento de limitación comprende fósforo. Preferiblemente, la proporción en peso, en base a elementos, de fósforo a DQOFB-carbono en el paso (a) ( $P_{a1}/C_a$ ) es inferior a 1/100, más preferiblemente inferior 1/125, hasta, por ejemplo, 1/5000, preferiblemente hasta 1/2400. Como una guía general, la cantidad de DQOFB-carbono es aproximadamente 1/3 de la cantidad de DQOFB (expresada en consumo de oxígeno), por lo que la proporción en

peso de fósforo a DQOFB en el paso (a) es inferior a aproximadamente 1/33, preferiblemente inferior a aproximadamente 1/42, hasta aproximadamente 1/1700, preferiblemente hasta aproximadamente 1/800.

5 [0021] En el caso de que las aguas residuales entrantes tengan niveles de fósforo que superen los niveles necesarios para controlar el crecimiento frente a la acumulación de MSC, el fósforo, como el fosfato, se puede eliminar parcialmente de las aguas residuales mediante un pretratamiento en el que se añade magnesio a las aguas residuales y la estruvita precipitada (fosfato de magnesio y amonio) se separa de las aguas residuales antes del paso (a). Alternativa o adicionalmente, la proporción de fósforo sobre carbono (o fósforo sobre DQOFB) se puede reducir añadiendo DQOFB, como se describe a continuación. Si el elemento de limitación comprende otro elemento, su nivel puede ser determinado por la persona experta, basándose en la composición conocida y las necesidades elementales de las bacterias. Por ejemplo, los niveles de limitación de azufre y hierro pueden tomarse 10 2 veces y 20 veces, respectivamente, por debajo del nivel de fósforo. Por lo tanto, a modo de ejemplo, la proporción en peso, en base a elementos, de azufre o hierro a DQOFB-carbono en el paso (a) ( $S_{a1}/C_a$ ;  $Fe_{a1}/C_a$ ) es 15 preferiblemente inferior a 1/200 (S) o 1/2000 (Fe), más preferiblemente inferior a 1/250 (S) o 1/2500 (Fe), hasta, por ejemplo, 1/10<sup>4</sup> (S) o 1/10<sup>5</sup> (Fe), preferiblemente hasta 1/4800 (S) o 1/48,000 (Fe). La persona experta podrá determinar los niveles de limitación de otros elementos que incluyen oligoelementos y vitaminas, si se elige uno de estos para asegurar un crecimiento limitado, mediante una experimentación rutinaria adecuada que implique niveles variables del elemento o la vitamina en cuestión. Los elementos esenciales que no se utilizan a un nivel de limitación de crecimiento, a menudo ya están presentes en las aguas residuales en cantidades suficientes o se pueden suministrar si es necesario, para alcanzar niveles no limitativos. Las mezclas de elementos comunes y disponibles comercialmente contienen los diversos elementos en los niveles relativos requeridos.

[0022] En una forma de realización particular, el paso (a) comprende dos etapas de reactor. En la etapa (a1), la corriente de alimentación está sujeta a SCAM en presencia de oxígeno disuelto y con la limitación de uno o más nutrientes que son esenciales para el crecimiento, como el fósforo, para reducir el nivel de DQOFB para almacenar MSC en los SCAM. En la etapa (a2) aguas abajo de la etapa (a1), los nutrientes que son esenciales para el crecimiento, preferiblemente incluido el fósforo, se suministran a la corriente que tiene un contenido de DQOFB reducido para permitir que los microorganismos crezcan evitando el consumo completo del MSC almacenado. Las etapas (a1) y (a2) pueden funcionar en serie, ya sea en el tiempo en el lugar (dos reactores o compartimentos de reactores). Alternativamente, la etapa (a2) se puede operar como una corriente lateral, devolviendo los SCAM crecidos a la etapa (a1).

[0023] En la etapa (a2), la cantidad de fósforo suministrado dividido entre la cantidad de DQOFB-carbono suministrada en la etapa (a1) ( $P_{a2}/C_a$ ) es preferiblemente inferior a 1/60, hasta, por ejemplo, 1/500, más preferiblemente inferior a 1/75, aún más preferiblemente inferior a 1/100, preferiblemente hasta 1/375. Los niveles de otros elementos esenciales para el crecimiento son al menos los niveles inferiores correspondientes, a menos que uno de estos otros elementos se utilice como factor decisivo o de limitación, en cuyo caso se aplica su nivel inferior y el fósforo está por encima de dicho nivel inferior.

[0024] En el paso (a), o en los pasos (a1) y (a2), el pH se mantiene preferiblemente entre 7 y 9, más preferiblemente entre 8,3 y 8,7. El nivel de oxígeno disuelto está preferiblemente entre 0,5 y 4, más preferiblemente entre 1,0 y 3,0 mg/L. La temperatura se mantiene preferiblemente en el rango de 10 a 50 °C, más preferiblemente de 20 a 40 °C, y la conductividad está preferiblemente en el rango de 0 a 20 mS/cm.

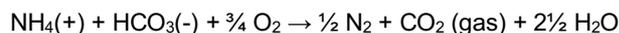
[0025] Los periodos de tiempo de las etapas (a1) y (a2) son preferiblemente entre 0,5 y 8 h, más preferiblemente entre 1 y 6 h para la etapa (a1) y entre 0,1 y 6 h, más preferiblemente entre 0,2 y 3 h, para la etapa (a2). Los tiempos de retención hidráulica (TRH) tienen preferencias correspondientes. El tiempo de retención de lodos (TRL) total en el paso (a), o en los pasos combinados (a1) y (a2), es preferiblemente entre 6 y 72 h, más preferiblemente entre 12 y 48 h. La combinación del TRL aplicado, la concentración de amoníaco, el nivel de limitación de nutrientes y el pH y la temperatura previenen la oxidación biológica del amoníaco en el paso (a).

[0026] En una forma de realización preferida, una parte de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB y empobrecidas en amoníaco producidas en el paso (d) se puede reciclar al paso (a) para reducir la concentración de amoníaco en el paso (a) y reducir adicionalmente el pH reciclando dióxido de carbono disuelto. Este reciclaje opcional es especialmente relevante para corrientes que contienen concentraciones de amoníaco muy altas en la corriente de alimentación. Se prefiere mantener las concentraciones de amoníaco totales en el paso (a) por debajo de 1000 mg/l a pH 9 y a una temperatura de 30 °C o por debajo de 3000 mg/l a pH 8,5 y a una temperatura de 30 °C.

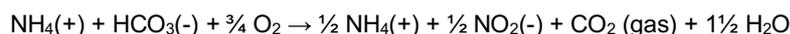
[0027] En el paso (b), al menos una parte del compuesto de almacenamiento que contiene microorganismos (SCAM) que contiene MSC producido en el paso (a) se separa de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB usando separadores conocidos de forma convencional, dentro o fuera del reactor (o uno de los reactores) del paso (a). Preferiblemente, de manera esencial, todos los SCAM que contiene MSC se separan del efluente del paso (a). En el paso (c), una parte de los SCAM separados en el paso (b) se puede devolver al paso (a); sin embargo, si el TRH del paso (a) es suficientemente largo, por ejemplo, más de 6 horas, se puede prescindir de la devolución de parte de los SCAM al paso (a). Otra parte de los SCAM que contiene MSC, o todo, se puede recolectar y valorizar.

5 [0028] La oxidación biológica de amoníaco del paso (d) puede ser cualquier reacción de oxidación en la que los microorganismos (bacterias, arqueas, etc.) convierten el amoníaco en especies de nitrógeno de mayor estado de oxidación que incluyen el estado de oxidación 0 (elemental), mientras que las especies alcalinas se convierten en especies neutras o ácidas, por lo que los iones de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) se convierte en dióxido de carbono gaseoso. Esto incluye bioreacciones que convierten el amoníaco en gas nitrógeno, nitrito y/o nitrato en una o más etapas.

10 [0029] El efluente del paso (a) contendrá amoníaco en forma de bicarbonato de amonio. La conversión de todo el amonio en gas  $\text{N}_2$  liberaría el  $\text{CO}_2$  según la siguiente ecuación simplificada:



15 La conversión del 50 % del amonio en nitrito también liberaría el  $\text{CO}_2$  según:



20 En caso de que más del 50 % del amonio se oxidara a nitrito, el pH descendería significativamente por debajo de pH 7 a menos que también estuvieran presentes otras sales de tampón de pH, tales como, por ejemplo, bicarbonato de sodio. En ese caso, podría liberarse más  $\text{CO}_2$  mediante una mayor oxidación de amonio a nitrito o nitrato.

25 [0030] Se prefiere convertir predominantemente amoníaco en nitrógeno molecular inocuo. Esto se puede hacer mediante la oxidación parcial de amoníaco a nitrito y luego la conversión del nitrito con el amoníaco restante en nitrógeno molecular usando microorganismos capaces de oxidar amoníaco a nitrito en presencia de oxígeno (a veces denominados "nitrificantes", típicamente de los géneros *Nitrosomonas* o *Nitrosococcus* entre otros) y microorganismos capaces de convertir amoníaco en nitrógeno molecular en presencia de nitrito (denominados microorganismos Anammox, que son típicamente planctomicetos de los géneros *Brocadia*, *Kuenenia*, *Anammoxoglobus*, *Jettenia*, entre otros). Ventajosamente, los microorganismos capaces de oxidar amoníaco a nitrito están presentes en el borde externo de los gránulos microbianos y los microorganismos capaces de convertir amoníaco en nitrógeno molecular (Anammox) están presentes en el núcleo de los gránulos. En muchos casos, las bacterias que oxidan nitrito a nitrato ("nitrificantes", típicamente del género *Nitrobacter*, pero también *Nitrospira* y otros) no son deseables y estas bacterias se pueden suprimir en el reactor, por ejemplo, aplicando un tiempo de retención de lodos no granulares (TRLNG), en particular, inferior a tres veces o incluso menos de dos veces el TRH.

40 [0031] En la forma de realización del paso (d) usando nitrificantes y microorganismos Anammox, un tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 0,2 y 2 días y un tiempo de retención para lodos granulares de al menos 6 veces el TRH y un tiempo de retención para lodos no granulares de no más de 3 veces el TRH se mantienen preferiblemente en el paso (d). La concentración de oxígeno disuelto en el paso (d) es preferiblemente de 0,4 a 4 mg/l, más preferiblemente de 1,0 a 3,0 mg/L. El pH en el paso (d) se mantiene en un rango entre pH 6 y pH 8 preferiblemente entre 6,5 y 7,5. La temperatura mantenida en el paso (d) puede estar entre 5 y 45 °C, más preferiblemente entre 10 y 40 °C, de la manera más preferible entre 20 y 35 °C y pueden ser esencialmente la misma que la temperatura del paso (a). Puede ser necesario añadir nutrientes en el paso (d), en particular nutrientes, como el fósforo, que han sido limitativos en el paso (a). Se pueden encontrar más detalles de este proceso de oxidación de amoníaco, por ejemplo, en la WO 00/05176, la EP 2163525 y la WO2014/171819.

50 [0032] Además de la oxidación del amoníaco, también se pueden oxidar simultáneamente las DQOFB y ODQOB residuales en el paso (d), lo que da como resultado la producción adicional de dióxido de carbono. En una forma de realización preferida, el paso (a) da como resultado que las aguas residuales empobrecidas en DQOFB se alimenten e el paso (d), que tiene una proporción de DQO biodegradable (expresada como oxígeno) a amoníaco (expresada como N) de menos de 1 en base al peso.

55 [0033] Un paso importante del presente proceso es el paso (e) de transferir dióxido de carbono liberado en el paso (d) al paso (a). La producción de  $\text{CO}_2$  gaseoso es impulsada por el suministro de aire del paso (d). Preferiblemente, el suministro de aire en el paso (d) se controla de tal manera que (i) se alcanza el nivel de oxígeno disuelto, como se ha indicado anteriormente, y (ii) el gas que sale del paso (d), y el reactor correspondiente, se reduce sustancialmente en oxígeno, mientras que contiene niveles significativos, por ejemplo, al menos 2 % en volumen de  $\text{CO}_2$ . La cantidad de aire suministrada también se puede controlar midiendo y aplicando puntos de ajuste para uno o más, pero no limitado a, otros parámetros, tales como la concentración de amonio disuelto, la concentración de nitrito disuelto, la concentración de nitrato disuelto, la concentración de pH y  $\text{CO}_2$  en el gas de escape. El gas que contiene  $\text{CO}_2$  originado del paso (d) puede constituir, o se puede añadirse al aire usado para la aireación del paso (a), o se puede introducir por separado. Una parte del  $\text{CO}_2$  liberado permanecerá en solución como  $\text{CO}_2$  disuelto en el efluente del paso (d). Por lo tanto, el reciclaje adicional del efluente líquido del paso (d) al paso (a) puede ser ventajoso para reducir aun más el pH en el paso (a).

[0034] El lodo activado cargado con MSC y/o el lodo activado cultivado recogido en el paso (f) tiene un alto contenido de MSC, en particular de al menos el 50 % en peso. Preferiblemente, este contiene al menos el 60 %, más preferiblemente al menos el 70 %, más preferiblemente al menos el 80 % de MSC en base al peso en seco de la parte orgánica del lodo. El compuesto de almacenamiento microbiano (MSC) comprende, en particular, uno o más polihidroxialcanoatos (PHA).

[0035] En muchos tipos de aguas residuales que se pueden usar como alimentación para el presente proceso, el nivel de DQOFB es relativamente bajo, lo que puede ser una desventaja cuando se desea una alta producción de MSC. El nivel puede ser incrementado ventajosamente incorporando un paso de proceso, paso precedente (a), de fermentar anaeróbicamente las aguas residuales para aumentar el nivel de DQOFB, en particular de ácidos grasos volátiles (C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>), de ácidos grasos de cadena media (C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>), de lactato, de glicerol y/o de etanol. Por lo tanto, el proceso puede comprender un paso precedente en el que las aguas residuales sin tratar se someten a hidrólisis y/o fermentación en un reactor separado, por ejemplo, un reactor anaeróbico en el que se logra una fermentación parcial (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis). Ventajosamente, también durante este paso, se elimina parte de los nutrientes, en particular fósforo, presente en las aguas residuales, lo que reduce la proporción de nutriente a DQOFB. Si es necesario, el fósforo se puede reducir de forma alternativa o adicional mediante la adición de magnesio para producir estruvita y separar el precipitado de estruvita.

[0036] La divulgación también se refiere a un sistema de reactor para tratar aguas residuales que contienen DQOFB y amoníaco, que comprende

- al menos un primer reactor que tiene medios de aireación en el fondo, una entrada para aguas residuales sin tratar, una entrada para nutrientes, al menos una entrada de gas en el fondo, una salida de efluente de gas en la parte superior, una salida de efluente líquido en la parte superior y un medidor de pH para medir el pH del contenido de reactor;
- un primer separador, dentro o fuera del primer reactor, conectado a la salida de efluente líquido del(de los) primer(os) reactor(es) para separar sólidos del efluente del(de los) primer(os) reactor(es), con una salida de sólidos y una salida de líquido;
- un segundo reactor que tiene medios de aireación en el fondo, una entrada de líquido conectada a la salida de líquido del primer separador, una entrada para nutrientes, una entrada de gas con medios de aireación en el fondo, una salida de efluente de gas en la parte superior, una salida de efluente líquido en la parte superior, donde la salida de gas está conectada a una entrada de gas del(de los) primer(os) reactor(es) a través de una válvula controlable que controla la corriente del gas alimentada desde el segundo reactor hasta el primer reactor sobre la base del pH medido por el medidor de pH del(de los) primer(os) reactor(es);
- un segundo separador, dentro o fuera del segundo reactor, conectado a la salida de efluente líquido del segundo reactor para separar sólidos granulares del efluente del segundo reactor, con una salida de sólidos y una salida de líquido, con una línea continua desde el segundo separador hasta el segundo reactor para devolver los sólidos granulares al segundo reactor;
- y preferiblemente una línea de líquido que conecta la salida de líquido del segundo separador a la entrada para aguas residuales sin tratar del primer reactor a través de una válvula controlable que controla la corriente del líquido alimentado desde el segundo reactor hasta el primer reactor.

#### Descripción detallada del dibujo

[0037] La figura adjunta ilustra una forma de realización del presente proceso y aparato. Muestra un afluente que contiene DQOFB 1 y un efluente tratado 2, y opcionalmente un efluente parcialmente tratado 3. El afluente 1 se introduce en un reactor aeróbico (o conjunto de reactores) 10, que contiene(n) microorganismos acumuladores de compuestos de almacenamiento (SCAM). El aire se puede suministrar a través de medios de aireación 11. El aire consumido del reactor 10 que contiene dióxido de carbono y oxígeno se suministra a través de la línea 24 y el aire consumido del reactor 10 se ventila a través de la línea 12 y posiblemente se trata con posterioridad. Los nutrientes se pueden suministrar a través de la entrada 19. El reactor (o cada reactor si hay más de uno) está provisto de un medidor de pH (no mostrado) para medir el pH del contenido de reactor. El efluente 13 del(de los) reactor(es) 10 se separa en el separador 15, donde el líquido clarificado resultante se introduce en el reactor oxidante de amoníaco 20 a través de la línea 14; una parte de este se puede descargar a través de la línea 3 sin pasar por el reactor 20. El lodo separado en el separador 15 a través de la línea 16 se devuelve parcialmente al reactor aeróbico 10 a través de la línea 17 y se extrae parcialmente a través de línea 18 para la recolección y el procesamiento de los SCAM enriquecidos.

[0038] El reactor oxidante de amoníaco 20 está provisto de medios de aireación 21 controlables. Los nutrientes se pueden suministrar a través de una entrada adicional (no mostrada). El aire consumido, que contiene dióxido de carbono, se recoge a través de la línea 22 y se extrae parcialmente a través de la salida de aire 23 y se introduce parcialmente al reactor aeróbico 10 a través de la línea 24 de una manera controlada, es decir, bajo el control de una señal que emite el medidor de pH dispuesto en el reactor 10. El reactor 20 puede estar provisto de uno o más analizadores (no mostrados) para medir el pH, el nivel de amoníaco, el nivel de nitrato o el nivel de nitrato en el contenido de reactor o el nivel de CO<sub>2</sub> en el gas de escape, y los datos medidos se pueden usar para controlar el suministro de aire a través de la línea 21. El efluente 26 del reactor 20 se separa en el separador 25, donde el

líquido clarificado 27 resultante se descarga parcial o completamente como efluente tratado 2 y se devuelve parcialmente al reactor aeróbico 10 a través de la línea 28 en caso de una carga excesiva de nitrógeno del afluente 1 o para un mayor suministro de CO<sub>2</sub> disuelto. El lodo no granular separado en el separador 25 se extrae a través de la línea 29. El lodo granular separado en el separador 25 (o en otro lugar, por ejemplo, en un separador interno del reactor 20) se recoge en la línea 31 y se devuelve parcialmente al reactor 20 a través de la línea 32 y se extrae parcialmente a través de la línea 33.

### Ejemplos

#### Ejemplo 1

[0039] Una corriente de condensado de 100 m<sup>3</sup>/h a partir de una unidad de secado de lodos municipales contiene 100 mmol/l de NH<sub>4</sub> (10 kmol/h = 140 kg N/h), 60 mmol/l de acetato (6 kmol/h = 354 kg de acetato/h, equivalente a 384 kg/h de DQOFB), 20 mmol/l HCO<sub>3</sub> (2 kmol/h), 10 mmol/l de Na y menos de 0,02 mmol/l P (< 2 mol/h = 62 g P/h) en un pH de 9,0. En los cálculos proporcionados para este ejemplo, se supone que no hay DQOFB presente en la corriente de condensado. La corriente se introduce en un biorreactor que tiene un volumen efectivo de 300 m<sup>3</sup> para producir 3,9 toneladas/día de biomasa de sólidos secos que contiene 80 % en peso de PHA aireado y limitando la cantidad de fosfato suministrada a 0,7 kg P/h (DQOFB ≈ 550:1). El reactor se mantiene a pH 8,6 reciclando 1500 Nm<sup>3</sup>/h de gas de escape a partir de un reactor Anammox dispuesto aguas abajo del biorreactor de PHA que contiene 4,6 % de CO<sub>2</sub> y 16 % de O<sub>2</sub> y reciclando 50 m<sup>3</sup>/h de efluente líquido a partir del biorreactor de Anammox de vuelta al reactor de PHA. El THR resultante es de 2 h. Adicionalmente, se suministran y controlan 200 m<sup>3</sup> de aire fresco en función de la concentración de oxígeno disuelto. El pH resultante en el reactor de PHA es de 8,6 con 0,65 % de CO<sub>2</sub> y 12,7 % de oxígeno en el gas de escape. En el reactor de PHA, se producen 4,6 kmol/h de CO<sub>2</sub> junto con la conversión de acetato en PHA, se reciclan 3,1 kmol/h de CO<sub>2</sub> con el gas de escape de 1500 Nm<sup>3</sup>/h a partir del reactor de Anammox y se reciclan 0,7 kmol/h de CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub> al reactor de PHA por medio del reciclado de efluente líquido de 50 m<sup>3</sup>/h a partir del reactor de Anammox.

[0040] Del efluente líquido de 150 m<sup>3</sup>/h del biorreactor de PHA, se tratan 100 m<sup>3</sup>/h en un biorreactor de Anammox de 800 m<sup>3</sup> (THR = 8 h). El reactor de Anammox se airea suministrando 2500 Nm<sup>3</sup>/h de aire. El lodo granular que contiene bacterias Anammox se recicla continuamente al reactor de Anammox y se descarga una pequeña cantidad de lodo para sostener un TRLG de aproximadamente 30 días. Se suministran pequeñas cantidades de nutrientes que contienen P y otros elementos de crecimiento esenciales al reactor de Anammox. Como resultado de la reacción de Anammox, el pH en el reactor cae a pH 7,0 y el reactor se controla en una salida de concentración de amonio residual de 1 mmol/l controlando la cantidad de aire suministrada. En general, en el proceso, el 66 % del amoníaco se convierte en gas nitrógeno, lo que da como resultado suficiente CO<sub>2</sub> liberado para mantener el pH en el reactor de pH aguas arriba a 8,6. La temperatura en ambos reactores se mantiene a 30 grados Celsius.

#### Ejemplo 2

[0041] La producción de PHA a partir de un condensado con alto contenido de amoníaco y ácidos grasos volátiles (AGV) se demostró a escala de laboratorio utilizando dióxido de carbono gaseoso para el control del pH. Durante más de dos meses se operó una instalación continua que incluía dos reactores de vidrio de doble pared. El sistema constaba de un reactor de acumulación de PHA, un sedimentador y un reactor de crecimiento. El condensado se bombeó continuamente al reactor de acumulación de PHA y el efluente se envió al decantador. El desbordamiento del sedimentador consiste en el condensado empobrecido en AGV tratado. Una parte del subdesbordamiento del sedimentador (lodo) se bombeó al reactor de crecimiento y se descargó otra parte del lodo. El nivel en el reactor de crecimiento se mantuvo constante y el exceso de agua con lodo se bombeó de vuelta al reactor de acumulación de PHA. Se añadieron nutrientes esenciales al reactor de crecimiento para el crecimiento, incluido el fosfato. Se aplicaron los siguientes ajustes:

- Reactor de acumulación de PHA (1): volumen de 3,5 litros, temperatura controlada a 30 °C, pH controlado a pH 8,5 usando un suministro adicional de dióxido de carbono, aireación usando aire que asegura una concentración de oxígeno disuelto superior al 20 % de saturación.
- La corriente de alimentación al reactor de PHA: 0,6 l/h de condensado con un pH de 9 y una alcalinidad de bicarbonato de 75 mmol/l que contiene 1700 mg/l de amoníaco, 540 mg/l de acetato, 510 mg/l de propionato, 880 mg/l de butirato, 470 mg/l de isobutirato, 510 mg/l de valerato, 740 mg/l de isovalerato y de 83 mg/l caproato. La concentración total de DQO disuelta se midió en 7,9 g/l con una concentración estimada de DQOFB basada en el AGV especificado de 6,6 g/l. La conductividad fue de 8,6 mS/cm y el fósforo fue inferior a 0,5 mg/l de P. Una pequeña cantidad de una solución concentrada que contiene NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> y MgCl<sub>2</sub> se añadió directamente al reactor para llegar a 80 mg/l Na, 25 mg/l K, 25 mg/l Mg y 50 mg/l aprox.
- Sedimentador: 10 cm de diámetro con fondo cónico
- Reactor de crecimiento: volumen de 1,3 litros, temperatura controlada a 30 °C, pH controlado a pH 8,5 usando un suministro adicional de dióxido de carbono y aireado usando aire que asegura una concentración de oxígeno disuelto superior al 20 % de saturación. Pulsar la adición cada 15 minutos de una mezcla comercial de nutrientes que contiene P (como H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y metales traza, donde P es el compuesto de limitación. A cada pulso se le añaden 2,7 mg de P.

## ES 2 821 148 T3

- Descarga de lodos del sedimentador: 0,08 l/h
- Reciclaje de lodos desde el sedimentador hasta el reactor de crecimiento y desde el reactor de crecimiento de vuelta al reactor de acumulación de PHA: 1,2 l/h.

5

[0042] Las características del sistema son las siguientes:

- Tiempo de retención hidráulica en el reactor de acumulación de PHA: 1,9 horas
- Tiempo de retención hidráulica en el reactor de crecimiento: 1,1 horas
- Tiempo medio de retención de lodos (TRL): alrededor de 48 horas
- Proporción P añadida en el reactor de crecimiento: DQOFB en la alimentación en peso: 1/ 366
- Tasa de carga de DQOFB al reactor de PHA: 27 kg/m<sup>3</sup>.d

10

15

[0043] Cuando se puso en marcha el sistema en las condiciones anteriores, los reactores se sembraron con lodo que ya contenía una mezcla de organismos acumuladores de PHA tomados de otro reactor de laboratorio alimentado con una solución de acetato de sodio sintético y controlado a pH 8,5 y a 30 °C. El otro reactor de laboratorio se sembró originalmente con lodo aeróbico a partir de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

20

[0044] En estas condiciones se alcanzó un estado estable después de unas pocas semanas. Se confirmó mediante análisis que normalmente las concentraciones residuales de todos los ácidos grasos volátiles en el reactor de acumulación de PHA y el desbordamiento del sedimentador eran inferiores a 100 mg/l y que la DQO disuelta residual era de alrededor 1 g/l. El contenido de PHA se analizó en muestras tomadas tanto del reactor de acumulación de PHA como del reactor de crecimiento. El contenido de PHA en el lodo en la acumulación de PHA alcanzó el 52 % en peso en base al contenido orgánico, mientras que el contenido de PHA en el reactor de crecimiento fue un pequeño porcentaje más bajo (alrededor del 48 % en peso).

25

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Proceso para producir un compuesto de almacenamiento microbiano (MSC) a partir de una corriente de alimentación que contiene una demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (DQOFB) a un nivel de al menos 250 mg/l, y de amoníaco a un nivel que es al menos de 0,2 g N por g de DQOFB, que comprende:
- 10 (a) someter la corriente de alimentación a microorganismos acumuladores de compuestos de almacenamiento (SCAM) en presencia de oxígeno disuelto, mientras que se añade dióxido de carbono según sea necesario para mantener un pH por debajo de 9, en una o más etapas, para producir SCAM que contienen MSC en un nivel de al menos 50 % en peso en base al peso en seco de la parte orgánica de los microorganismos, y aguas residuales empobrecidas en DQOFB;
- 15 (b) separar al menos una parte de los SCAM que contienen MSC producidos en el paso (a) de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB;
- (c) devolver opcionalmente una parte de los SCAM separados en el paso (b) al paso (a).
- (d) someter al menos una parte de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB a microorganismos oxidantes de amoníaco (AOM) en presencia de oxígeno disuelto para producir aguas residuales empobrecidas en DQOFB y empobrecidas en amoníaco, y un gas que contiene dióxido de carbono molecular;
- 20 (e) alimentar al menos una parte de dicho gas que contiene dióxido de carbono al paso (a); y
- (f) recolectar al menos una parte de los SCAM separados en el paso (b), donde el compuesto de almacenamiento microbiano (MSC) comprende un polihidroxialcanoato (PHA) y donde los microorganismos acumuladores de compuestos de almacenamiento (SCAM) comprenden microorganismos acumuladores de PHA.
- 25 2. Proceso según la reivindicación 1, donde la cantidad de gas que contiene dióxido de carbono alimentada al paso (a) en el paso (e) se controla en base a un punto de ajuste para el pH en el paso (a).
- 30 3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, donde los AOM comprenden microorganismos capaces de oxidar amoníaco a nitrito en presencia de oxígeno y microorganismos capaces de convertir amoníaco en nitrógeno molecular en presencia de nitrito (Anammox).
- 35 4. Proceso según la reivindicación 3, donde los microorganismos capaces de oxidar amoníaco a nitrito están presentes en el borde externo de gránulos microbianos y los microorganismos capaces de convertir amoníaco en nitrógeno molecular (Anammox) están presentes en el núcleo de los gránulos.
- 40 5. Proceso según la reivindicación 4, donde un tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 0,2 y 2 días y un tiempo de retención para lodos granulares de al menos 6 veces el TRH y un tiempo de retención para lodos no granulares inferior a 3 veces el TRH se mantienen en el paso (d).
- 45 6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde una parte de las aguas residuales empobrecidas en DQOFB y empobrecidas en amoníaco producidas en el paso (d) se recicla al paso (a) para reducir la concentración de amoníaco y reducir aun más el pH aumentando el nivel de dióxido de carbono disuelto devuelto al paso (a).
- 50 7. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde las aguas residuales empobrecidas en DQOFB producidas en el paso (a) tienen una proporción de DQO biodegradable (expresada como oxígeno) a amoníaco (expresada como nitrógeno) de menos de 1,0.
- 55 8. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el paso (a) implica un tiempo de retención de lodos (TRL) total de entre 12 y 72 h.
9. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde, en las aguas residuales suministradas en el paso (a), la proporción en peso, en base a elementos, de fósforo a DQOFB-carbono ( $P_{a1}/C_a$ ) es inferior a 1/100.
- 60 10. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el paso (a) comprende dos etapas de reactor donde en la primera etapa (a1) la corriente de alimentación está sujeta a SCAM en presencia de oxígeno disuelto y con limitación de fósforo u otro nutriente que es esencial para el crecimiento para reducir el nivel de DQOFB y en la segunda etapa (a2) aguas abajo de la etapa (a1) se suministra fósforo y/u otro nutriente, que es esencial para el crecimiento, a la corriente con un contenido de DQOFB reducido; donde las etapas (a1) y (a2) se operan en serie, o la etapa (a2) se opera como una corriente lateral de regreso.
- 65 11. Proceso según la reivindicación 10, donde, en la etapa (a2), la cantidad de fósforo suministrada en el paso (a) dividida entre la cantidad de DQOFB-carbono suministrada en la etapa (a1) ( $P_{a2}/C_a$ ) está entre 1/60 y 1/500, o un nivel correspondiente para otro elemento esencial para el crecimiento.
12. Proceso según la reivindicación 10 u 11, donde el tiempo de retención hidráulica (TRH) de la etapa (a1) es de entre 0,5 y 8 h y el TRH de la etapa (a2) es de entre 0,1 y 6 h.

13. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además:

(g) aislar el MSC de los SCAM recolectados; y/o

5 en el que el lodo activado cargado con MSC y/o lodo activado crecido separado en el paso (b) contiene al menos 60 %, preferiblemente al menos 70 % de MSC en base al peso en seco de la parte orgánica del lodo.

14. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que está precedida por un paso de fermentar anaerómicamente las aguas residuales para aumentar el nivel de DQOFB, en particular de ácidos grasos volátiles, de ácidos grasos de cadena media, de lactato, de etanol y/o de glicerol.

10

