

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 695 429**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/34 (2006.01)

C12P 7/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2015 PCT/EP2015/061428**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2015 WO15181083**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2015 E 15724635 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 3148942**

54 Título: **Proceso para producir un compuesto de almacenamiento microbiano**

30 Prioridad:

26.05.2014 EP 14169905

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

04.01.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DIJKMAN, HENDRIK;
JIANG, YANG;
TAMIS, JELMER;
MARANG, LEONIE;
KLEEREBEZEM, ROBBERT y
VAN LOOSDRECHT, MARINUS CORNELIS MARIA**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 695 429 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 producir un compuesto de almacenamiento microbiano

5 Campo de la invención

[0001] La invención se refiere a un procedimiento para producir un compuesto de almacenamiento microbiano, en particular un proceso para producir polihidroxialcanoato (PHA) usando microorganismos que acumulan el compuesto de almacenamiento microbiano.

10

Antecedentes

[0002] Se sabe que algunos microorganismos que se han descubierto en residuo usado para el tratamiento de aguas residuales aeróbicas son capaces de producir compuestos de almacenamiento microbiano, tales como por ejemplo poli(hidroxialcanoato) (PHA), como un compuesto de reserva.

15

Recientemente hay interés en procesos de tratamiento de aguas residuales donde la acumulación de polihidroxialcanoato en bacterias acumulación de PHA se maximiza para la recuperación de tal polihidroxialcanoato de estas bacterias, por ejemplo para aplicación en bioplásticos.

20

[0003] Los procesos para la selección de microorganismos capaces de producir PHA u otros compuestos de almacenamiento microbiano se conocen en la técnica y típicamente comprenden diferentes ciclos que alternan una denominada fase de abundancia donde el residuo que comprende bacterias de acumulación de PHA se alimenta con un sustrato que comprende compuestos orgánicos biodegradables fácilmente (denominada demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable o RBCOD) con una denominada fase de carestía donde el sustrato es retenido de la bacteria.

25

En la fase de abundancia de nutrientes, las bacterias que acumulan PHA convierten RBCOD tales como ácidos grasos volátiles en PHA. En la fase de carestía, el PHA acumulado en las bacterias se usa como alimento, dando como resultado la selección de aquellas bacterias que son capaces de acumular PHA u otros compuestos de almacenamiento bacteriano.

30

[0004] Por ejemplo, la WO00/52189 divulga un proceso para la producción de polihidroxialcanoato donde en un primer paso los microorganismos capaces de acumular PHA se seleccionan sometiendo alternadamente los microorganismos a una fase donde se añade el sustrato (fase de abundancia de nutrientes) y una fase donde sustrato se retiene (fase de carestía).

35

En una fase de acumulación, PHA es acumulado sometiendo algunos de los microorganismos seleccionados en la primera fase a un sustrato, preferiblemente un flujo que comprende ácido graso.

En el proceso de la WO00/52189, el paso de selección con las fases de abundancia de nutrientes y de carestía alternantes, se realiza en un primer reactor y el paso de acumulación se realiza en un segundo reactor separado.

40

[0005] La WO2011/073744 también divulga un proceso para la selección de microorganismos (biomasa) capaces de producir PHA sometiendo alternadamente biomasa a condiciones de abundancia y de carestía.

En el proceso de la WO2011/073744, las condiciones de abundancia y carestía se pueden aplicar consecutivamente en el mismo reactor o en reactores separados.

45

El residuo (biomasa) retirado del proceso de selección se puede someter a acumulación adicional en un paso separado o para extracción de PHA.

[0006] La WO2012/023114 divulga un proceso similar como la WO2011073744 para aumentar el potencial de acumulación de PHA de biomasa usado en el tratamiento de aguas residuales sometiendo la biomasa a ciclos repetidos de condiciones de abundancia-carestía en un sistema de reactor discontinuo secuencial (SBR), usando índices de alimentación de demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable específico (RBCOD) en condiciones de abundancia.

50

La WO2014/108864, publicada 17.07.2014, describe nuevamente un método similar con un proceso de carestía secundaria prolongada.

En todos estos métodos, cualquier paso de acumulación se realiza en un reactor separado.

55

[0007] La WO2013/022874 divulga un proceso para la producción de PHA usando un residuo de regreso en una cubeta de aireación de manera que un régimen de abundancia-carestía se proporciona en la misma cubeta de aireación.

El residuo de regreso se puede tratar en un reactor de flujo de regreso donde se aplica una proporción relativamente baja de nutrientes a biomasa. Ninguna acumulación se ha descrito o sugerido.

60

[0008] Serafim et al. Appl.Microbiol.Biotechnol. 81 (2008) 615-628 y Bengtsson et al. Bioresource Technology 99 (2008) 509-516, revelan procesos para la producción de PHA utilizando cultivos mezclados en el lote de secuenciación o reactores continuos, donde los ciclos de abundancia y carestía de alimentos se pueden realizar en un reactor único (selección).

65

Sin embargo, el ciclo de acumulación es siempre realizado en un reactor separado.

Resumen de la invención

[0009] Se ha descubierto que el proceso para selección de microorganismos capaces de producir PHA o de la producción de otros compuestos de almacenamiento microbiano y además la acumulación de tal compuesto de almacenamiento microbiano en microorganismos seleccionados se puede mejorar realizando la denominada fase de abundancia de nutrientes del paso de selección y la acumulación del compuesto de almacenamiento microbiano en microorganismos seleccionados en el mismo reactor y realizando la denominada fase de carestía del paso de selección en un reactor separado.

[0010] Por consiguiente, la invención proporciona un proceso para producir un compuesto de almacenamiento microbiano, que comprende los pasos siguientes:

a) suministro de un flujo de aguas residuales que comprende compuestos orgánicos que incluyen RBCOD a un primer reactor que contiene residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano para formar una mezcla de residuo activado en aguas residuales y someter el residuo en el primer reactor a condiciones de reacción (es decir, acumulación) que producen el compuesto de almacenamiento microbiano, durante un primer periodo de tiempo (la "fase de abundancia"), las condiciones que comprenden la presencia de oxígeno disuelto, para obtener residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en aguas residuales tratadas;

b) transferencia de parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano desde el primer reactor a un segundo reactor y mantenimiento de la parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en el primer reactor;

c) suministro de un flujo de aguas residuales que comprende compuestos orgánicos que incluyen RBCOD al primer reactor que contiene parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano para formar una mezcla de residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en aguas residuales y sometimiento del residuo a condiciones que acumulan el compuesto de almacenamiento microbiano durante un segundo periodo de tiempo (la "fase de acumulación") para obtener un residuo activado que es además enriquecido en el compuesto de almacenamiento microbiano y aguas residuales tratadas, las condiciones de acumulación comprenden la presencia de oxígeno disuelto;

d) retirada del residuo activado que es además enriquecido en el compuesto de almacenamiento microbiano desde el primer reactor como flujo del producto;

e) sometimiento del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en el segundo reactor en un medio de reacción líquido a condiciones de reacción de carestía durante un tercer periodo de tiempo (la "fase de carestía"), las condiciones comprenden la presencia de concentración de oxígeno disuelto y un suministro de sustrato disminuido, para obtener un residuo activado enriquecido con microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano; y

f) transferencia del residuo activado enriquecido con microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano obtenido en el paso e) al primer reactor para formar el residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano en el paso a).

[0011] Una ventaja importante de una forma de realización preferida del proceso según la invención es que la fase de abundancia del paso de selección y el paso de acumulación se puede llevar a cabo en un reactor continuo, donde las aguas residuales con sustrato continuamente se alimentan al reactor y las aguas residuales tratadas pueden ser continuamente retiradas del reactor, sin las desventajas típicas de un proceso continuo tal como un tiempo de retención distribuido de la biomasa (residuo). Descargando el residuo desde el primer reactor después del paso de acumulación c) y descargando el residuo del segundo reactor después de la fase de carestía e), los tiempos de retención de biomasa en cada uno de los pasos a), c) y e) son definidos escasamente.

Así, el proceso combina las ventajas de un reactor discontinuo secuencial con las ventajas de un reactor continuo, es decir, no necesita transportar volúmenes grandes de líquido en un periodo de tiempo corto relativamente y con ello ningún requisito para bombas grandes y capacidad de volumen de tampón.

Una ventaja adicional es que no se necesita ningún reactor de acumulación separado.

La invención se define por el conjunto anexo de reivindicaciones.

Resumen de los dibujos

[0012] Las figuras 1 a 7 esquemáticamente muestran el primer y el segundo reactor y corrientes sólidas y fluidas en pasos secuenciales de una forma de realización del proceso según la invención.

Las figuras juntas 1 a 7 muestran un ciclo completo del proceso.

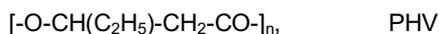
Descripción detallada de la invención

[0013] El proceso según la invención es un proceso para producir un compuesto de almacenamiento microbiano. En el proceso, un flujo de aguas residuales que comprende compuestos orgánicos que incluye la demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (RBCOD) se suministra a un primer reactor que contiene un

residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano deseado.

[0014] En el contexto de la presente invención, se aplican las definiciones siguientes:

- 5 – "Compuestos de almacenamiento microbiano" son compuestos producidos por microorganismos tales como bacterias, hongos y algas, para almacenar su energía en exceso. Los compuestos incluyen ésteres, poliésteres, triglicéridos, otras grasas y aceites, y polisacáridos tales como glicógeno. Los poliésteres resultantes de esterificación intermolecular de ácidos hidroxil-carboxílicos son una clase importante de compuestos de almacenamiento microbiano, los más prominentes son ésteres poli-hidroxicarboxílicos, en particular ésteres poli-β-hidroxicarboxílicos, tal como poli-β-hidroxibutirato (PHB) y poli-β-hidroxivalerato (PHV) con los preparados de abajo, donde n puede variar de decenas a centenas o incluso muchos miles, al igual que sus copolímeros.



[0015] Los ésteres poli-hidroxicarboxílicos (o poli-oxialcanoatos) son comúnmente (y aquí) referidos como polihidroxicarboxilato (PHA).

- 20 – "Demanda química de oxígeno" (COD) se refiere a materia orgánica que se puede oxidar a moléculas menores, en última instancia a dióxido de carbono y agua, y el término expresa la cantidad de oxígeno que se necesitaría para oxidar la materia orgánica en un litro de aguas residuales.
- "COD biodegradable" se refiere a materia orgánica en aguas residuales que se pueden asimilar para crecimiento de biomasa.
- 25 – "Sustrato" significa sustrato para asimilación por microorganismos para permitirles crecer, es decir equivalente a COD biodegradable.
- "Demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (RBCOD)" se refiere a moléculas orgánicas relativamente pequeñas que se pueden asimilar rápidamente por microorganismos como además se ilustra abajo".
- 30 – "Otra demanda de oxígeno químico biodegradable (OBCOD)" se refiere a COD biodegradable diferente del RBCOD, es decir, compuestos orgánicos más complejos y menos accesibles, por ejemplo polisacáridos complejos, grasas y proteínas, al igual que compuestos orgánicos que tienen relativamente pocos grupos que contienen oxígeno y grupos de hidrocarburo relativamente grandes, tales como ácidos grasos de cadena larga.
- 35 – "Aguas residuales" se refiere a un flujo acuoso que comprende COD que necesita ser tratado antes de que se pueda reutilizar o descargar al medio ambiente. El término aguas residuales por ejemplo incluye agua de proceso, corrientes de producto secundario o producto intermedio de industrias biológicas u otras industrias, incluyendo zumos de azúcar o soluciones, aguas residuales municipales, aguas residuales agrícolas y agua de lixiviación de residuos biodegradables de sólido por ejemplo residuos sólidos municipales y residuos sólidos de agricultura.
- 40

[0016] Tal como se ha definido anteriormente, RBCOD se refiere a moléculas orgánicas relativamente simples que se pueden asimilar para el crecimiento de microorganismos y se pueden absorber rápidamente y convertir en un compuesto de almacenamiento, frecuentemente sin requerir hidrólisis.

- 45 Los ejemplos de tal RBCOD incluyen ácidos grasos volátiles, también referidos como ácidos grasos de cadena corta, es decir, que tienen hasta 6 átomos de carbono, tal como ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico, ácido valérico, ácido isovalérico y ácido caproico, hidroxilácidos tal como ácido láctico, carbohidratos tales como mono-sacáridos y disacáridos, ácidos urónicos, alcoholes, cetonas, y aldehídos, preferiblemente alcoholes, cetonas, y aldehídos con hasta seis átomos de carbono y combinaciones de dos o más de los mismos.

En otras palabras, RBCOD incluye 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 cuatro átomos de carbono, preferiblemente que tiene solo átomos de carbono, hidrógeno y de oxígeno, al igual que disacáridos.

- 55 La concentración de RBCOD se puede determinar mediante métodos normalizados de respirometría que determinan la fracción de COD de aguas residuales que se utiliza rápidamente cuando una parte alícuota de aguas residuales con una cantidad específica de biomasa es alimentada por pulsos con sustrato bajo condiciones controladas.

- 60 Un ejemplo de un método normalizado adecuado de respirometría se describe en M. Henze et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Publishing, London, 2000, p. 16-17; ISBN 1900222248.

[0017] El flujo de aguas residuales pueden ser discontinuo o continuamente suministrado al primer reactor en el paso a).

El flujo de aguas residuales puede ser cualquier flujo de aguas residuales que comprende RBCOD. Los ejemplos de tales flujos de aguas residuales incluyen, aguas residuales municipales, industriales o agrícolas o agua de lixiviación de residuos biodegradables sólidos.

El flujo puede ser aguas residuales municipales, industriales o agrícolas o corrientes de proceso o corrientes residuales como tal o, puede ser aguas residuales municipales, industriales o agrícolas que han sido pretratadas, por ejemplo ha sido pre-hidrolizado para convertir los denominados OBCOD a RBCOD, y/o ha sido pre-acidificado o fermentado para convertir sacáridos u otros compuestos a ácidos carboxílicos, preferiblemente ácidos grasos volátiles o ácido láctico.

Así, el proceso de la invención puede comprender un paso precedente en el que las aguas residuales crudas se someten a hidrólisis y/o fermentación en un reactor separado, por ejemplo un reactor de formación anaeróbica donde se consigue la fermentación parcial (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis).

[0018] El flujo de aguas residuales suministrado al primer reactor en el paso a) puede comprender además OBCOD. Preferiblemente, el flujo de aguas residuales comprende más RBCOD que OBCOD. Preferiblemente, el flujo de aguas residuales comprende RBCOD en el rango de 0.5 a 50 gramos por litro, más preferiblemente en el rango de 1 a 20 gramos por litro.

El flujo de aguas residuales preferiblemente comprende ácidos grasos volátiles, más preferiblemente en el rango de 0.5 a 50 gramos por litro de ácidos grasos volátiles, aún más preferiblemente en el rango de 1 a 20 gramos por litro.

[0019] El residuo activado comprende microorganismos que son capaces de la producción del compuesto de almacenamiento microbiano deseado.

Preferiblemente, el compuesto de almacenamiento microbiano es PHA y el proceso es un proceso para producir PHA. En este caso, el residuo activado comprende microorganismos que acumulan PHA, preferiblemente bacterias que acumulan PHA.

Una vez el proceso funciona en el estado de equilibrio, el residuo activado es el residuo activado que es además enriquecido en la acumulación de microorganismos obtenidos en el paso de carestía e) y transferidos al primer reactor en el paso f).

Al principio del proceso, el primer reactor se puede inocular con residuo activado u otras muestras que comprenden tal acumulación de microorganismos o con cepas de microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano deseado, en particular PHA. En el caso de que el flujo de aguas residuales suministrado al primer reactor comprenda microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano deseado, el proceso puede comenzar sin inocular el primer reactor con residuo o con tales microorganismos.

[0020] Las bacterias de acumulación de PHA y otros microorganismos capaces de acumular compuestos de almacenamiento microbiano son típicamente presentes en cultivos sin axénico de microorganismos tal como se encuentran en muestras de tierra, agua natural o biomasa mezclada.

Ellos también pueden ser aislados o enriquecidos de plantas de aguas residuales municipales comunes.

Las bacterias de acumulación de PHA pueden pertenecer a varios géneros tales como genes alcalinos (por ejemplo *A. Latus*), *Ralstonia* (por ejemplo *R. Eutropha*), *Cupriavidus* (por ejemplo *C. Necator*), *Chromatium* (por ejemplo *C. Vinosum*) *Mycobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, etc. Estos pueden específicamente o no específicamente crecer en varias fuentes de carbono tales como glucosa, metanol, etanol, acetato y/o otros ácidos grasos.

Ver 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. Útiles particularmente son las bacterias del género *Plasticumulans*, tales como *P. Acidivorans* (que consume acetato) y *P. Lacatativorans* (que consume lactato), ver por ejemplo Tamis J. et al. *J. Biotechnology* 2014, 192, 161-169.

[0021] Por aguas residuales de suministro al primer reactor en el paso a), una mezcla de residuo activado en aguas residuales se forma en el primer reactor y la mezcla es luego sometida a condiciones de reacción que acumulan el compuesto de reserva microbiana, en particular, condiciones de reacción de acumulación de PHA, durante un primer periodo de tiempo para obtener el residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en aguas residuales tratadas.

El periodo de tiempo se aplica a la mezcla en caso de operación por grupos.

Si las aguas residuales se adicionan intermitentemente o continuamente (y por lo tanto, aguas residuales tratadas son intermitentemente o continuamente descargadas), el periodo de tiempo se aplica al tiempo de retención del residuo, que no se descarga con las aguas residuales tratadas descargadas (continuamente) o al tiempo de retención medio en caso de intercambio de residuo (semi)continuo.

[0022] Las condiciones de reacción que producen el compuesto de reserva microbiana, en particular, las condiciones de reacción de producción de PHA son denominadas condiciones de abundancia y comprenden la presencia de sustrato en forma de RBCOD y la presencia de oxígeno disuelto.

Donde se hace referencia aquí a oxígeno disuelto, esto significa oxígeno molecular disuelto a menos que se indique de otro modo.

Para tener oxígeno disuelto, preferiblemente un gas que comprende oxígeno molecular, más preferiblemente, aire se suministra al primer reactor.

Este se puede realizar continuamente o de forma discontinua, preferiblemente continuamente, durante el paso a).

5

[0023] Las cantidades de RBCOD y de oxígeno disuelto son de manera que estos no son limitativos para la producción del compuesto de almacenamiento microbiano.

Se apreciará que las concentraciones mínimas de RBCOD y oxígeno disuelto dependerán de la cantidad de microorganismos capaces de acumular compuestos de almacenamiento microbiano presentes en el reactor, el compuesto de almacenamiento microbiano que debe ser producido y otras condiciones del proceso tal como temperatura y pH de la mezcla en el reactor.

10

Preferiblemente, la concentración de oxígeno disuelto será al menos 0.32 mg, más preferiblemente al menos 0.5 mg O₂ por litro.

La concentración de RBCOD será preferiblemente al menos 10 mg/L.

15

[0024] En el caso de que el compuesto de almacenamiento microbiano sea PHA y el proceso sea un proceso para producir PHA, las condiciones de reacción acumulación de PHA en el paso a) preferiblemente comprenden un pH en el rango de 4 a 10, más preferiblemente de 6 a 8, una temperatura en el rango de 10 a 50 °C, más preferiblemente de 20 a 40 °C y una conductividad en el rango de 0 a 20 mS/cm.

20

[0025] Durante el paso de abundancia a), los microorganismos capaces de la acumulación del compuesto de almacenamiento microbiano producen el compuesto de almacenamiento microbiano por conversión de RBCOD al compuesto de almacenamiento microbiano.

El compuesto de almacenamiento microbiano así formado se almacena en los microorganismos, típicamente en forma de gránulos.

25

Así, el residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano se forma en las aguas residuales tratadas.

Las condiciones de reacción de acumulación de compuesto de almacenamiento microbiano en el paso a) se mantienen durante un primer periodo de tiempo.

30

El primer periodo de tiempo puede ser un periodo de tiempo predeterminado, preferiblemente un periodo de tiempo predeterminado en el rango de 0.25 a 5 horas, más preferiblemente, en el rango de 0.5 a 2 horas.

Alternativamente, el primer periodo de tiempo termina cuando se consigue una determinada concentración mínima de RBCOD (en el caso de suministro en lotes de aguas residuales y con ello del sustrato), cuando se produce una cantidad determinada del compuesto de almacenamiento microbiano o cuando el consumo de oxígeno se reduce.

35

Alternativamente, la concentración de RBCOD en la mezcla en el primer reactor durante el paso a) puede mantenerse constante ajustando el suministro del flujo de aguas residuales.

El primer periodo de tiempo puede por tanto terminar cuando el caudal de aguas residuales suministra gotas por debajo de un valor determinado.

40

[0026] En el caso de que el compuesto de almacenamiento microbiano sea PHA, el primer periodo de tiempo es preferiblemente de tal manera que las bacterias acumulación de PHA en el residuo activado, al final del paso a), han acumulado al menos 30 % en peso de PHA, basado en el peso en seco de residuo, por ejemplo 30 a 50 % en peso, o incluso al menos 50% de PHA, hasta por ejemplo 80 % en peso de PHA. Preferiblemente el primer periodo de tiempo, si es predeterminado o no, esta en el rango de 0.25 a 5 horas, más preferiblemente en el rango de 0.25 a 2 horas o incluso de 0.5 a 2 horas.

45

En el caso de que las aguas residuales sean semicontinuas o continuamente alimentadas al primer reactor en la fase de abundancia, los periodos de tiempo se refieren a los tiempos de retención (media) del residuo, no de las aguas residuales.

50

[0027] Después del primer periodo de tiempo, es decir después de la fase de abundancia, parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano se transfiere del primer reactor a un segundo reactor y parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano se retiene en el primer reactor (paso b)).

55

Esto se puede realizar por transferencia de parte de la mezcla de residuo activado y aguas residuales tratadas que son contenidas en el primer reactor al segundo reactor al final del paso a).

Preferiblemente, la mezcla contenida en el primer reactor al final del paso a) se concentra en sólidos, es decir en el residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano, antes de ser transferido al segundo reactor.

60

La concentración de sólidos es preferiblemente un factor dos o más, más preferiblemente un factor cuatro o más. Tal concentración puede realizarse por medios conocidos en la técnica, por ejemplo mediante sedimentación de residuo dentro o fuera del primer reactor o por medio de un separador sólido-líquido dentro o fuera del primer reactor.

65

Los separadores sólido-líquidos adecuados se conocen en la técnica e incluyen colonizadoras, hidrociclones, centrifugadoras, membranas y filtros de banda.

Preferiblemente, tal concentración se realiza en un decantador dentro del primer reactor, más preferiblemente mediante sedimentación.

Tal sedimentación se puede conseguir parando el suministro de aguas residuales y de aire al primer reactor al final del paso a).

5

[0028] Una ventaja de concentración del residuo activado antes de transferir tal residuo al segundo reactor es que se puede usar un segundo reactor menor.

Ya que la fase de carestía realizada en el segundo reactor en el paso e) se puede accionar a una proporción (residuo) sólido más alto a líquido que el primer reactor en el paso a), resulta ventajoso para selectivamente transferir el residuo al segundo reactor.

10

Una ventaja adicional de menor transferencia de la fase líquida desde el primer reactor al segundo reactor es que se transfiere menos OBCOD al segundo reactor, así minimizando el crecimiento de poblaciones laterales no deseadas, es decir biomasa que oxida OBCOD no deseada.

15

Además, ya que el compuesto de almacenamiento de acumulación de biomasa deseado es más pesado que la biomasa no deseada, la concentración de residuo activado antes de transferir tal residuo al segundo reactor puede ventajosamente efectuarse de manera que la biomasa no deseada es separada de los microorganismos de acumulación deseados en el residuo activado para ser transferido.

20

[0029] Preferiblemente, parte de las aguas residuales tratadas es transferida del primer reactor al segundo reactor, típicamente con la mezcla (concentrado) de residuo y aguas residuales tratadas, para servir como medio de reacción líquida en el paso de carestía e).

Alternativamente, las aguas residuales tratadas pueden primer ser separadas del residuo sólido en un separador interno o externo y luego parte de las aguas residuales tratadas separadas se pueden transferir al segundo reactor para servir como medio de reacción líquida en el paso de carestía e).

25

En algunas situaciones, por ejemplo en el caso de que el flujo de aguas residuales tenga una concentración de sal alta relativamente y la fase de carestía en el segundo reactor (paso e)) es preferiblemente accionada a una concentración de sal inferior, ninguna o una cantidad mínima de aguas residuales tratadas se transfiere al segundo reactor y un líquido acuoso fresco se suministra al segundo reactor para servir como medio de reacción líquida en el paso de carestía e).

30

[0030] La parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano se retiene en el primer reactor.

Preferiblemente, al menos 30 % en peso del residuo se retiene en el primer reactor después del paso a), más preferiblemente en el rango de 40 a 60 % en peso.

35

El resto, preferiblemente al menos 30 % en peso hasta 70 % en peso, más preferiblemente 40-60 % en peso se transfiere al segundo reactor.

40

[0031] Preferiblemente, una cantidad sustancial de aguas residuales tratadas se retiene en el primer reactor después del paso a) y durante el paso b) de modo que ningún volumen de líquido de tampón grande se necesita para rellenar el primer reactor en el comienzo del paso de acumulación c).

45

[0032] En el paso c), un flujo de aguas residuales que comprende compuestos orgánicos incluyendo RBCOD se suministra al primer reactor donde parte del residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano se retiene para formar una mezcla de tal residuo activado en aguas residuales.

Esta mezcla es luego sometida a condiciones de acumulación de compuesto de almacenamiento microbiano durante un segundo periodo de tiempo (fase de acumulación).

Bajo estas condiciones, los microorganismos de acumulación en el residuo convierten RBCOD en el compuesto de almacenamiento microbiano, con lo que adicional se acumula el compuesto de almacenamiento microbiano.

50

El residuo activado enriquecido además con el compuesto de almacenamiento microbiano se obtiene así.

Nuevamente, en un modo (semi)-continuo, es decir, si las aguas residuales se añaden intermitentemente o continuamente, el periodo de tiempo no se aplica a la mezcla como tal, sino al residuo, que no se descarga con las aguas residuales tratadas (continuamente) descargadas; esto significa que el periodo de tiempo se refiere al tiempo de retención (medio) del residuo.

55

[0033] Las condiciones de acumulación comprenden la presencia de RBCOD y la presencia de oxígeno disuelto. Las cantidades de RBCOD y de oxígeno disuelto en la mezcla en el primer reactor en el paso de acumulación c) son de tal manera que estas no son limitativas para la acumulación del compuesto de almacenamiento microbiano.

Será apreciado que las concentraciones mínimas de RBCOD y oxígeno disuelto dependerán de la cantidad de acumulación de microorganismos presentes en el reactor, el compuesto de almacenamiento microbiano que se debe producir y otras condiciones del proceso tales como temperatura y pH de la mezcla en el reactor.

60

Preferiblemente, la concentración de oxígeno disuelto será al menos 0.5 mg O₂ por litro.

La concentración de RBCOD preferiblemente será al menos 10 mg/L. En el caso del compuesto de almacenamiento microbiano es PHA y el proceso es un proceso para producir PHA, las condiciones de reacción de acumulación de PHA en el paso c) preferiblemente comprenden un pH en el rango de 4 a 10, más

65

preferiblemente de 6 a 8, una temperatura en el rango de 10 a 50 °C, más preferiblemente de 20 a 40 °C y una conductividad en el rango de 0 a 20 mS/cm.

[0034] Las condiciones de acumulación son preferiblemente las mismas que las condiciones de reacción que acumulan el compuesto de almacenamiento microbiano en el paso a).

Para minimizar el crecimiento durante la abundancia (paso a) y acumulación (paso c), las aguas residuales alimentadas al primer reactor son preferiblemente limitadas en uno o más nutrientes, por ejemplo limitadas en nitrógeno (proporción de COD biodegradable a N más del 300 a 1 basado en peso) o limitado en fósforo (proporción de COD biodegradable a P más del 1500 a 1 basado en peso).

[0035] Preferiblemente, el flujo de aguas residuales que se suministra al primer reactor en el paso de acumulación c) es el mismo que el flujo de aguas residuales suministrado al primer reactor en el paso de abundancia a).

En una forma de realización preferida, el suministro continuo de oxígeno molecular y de aguas residuales al primer reactor se detiene temporalmente después del paso a) para permitir al residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano sedimentarse en el primer reactor.

Una parte del residuo sedimentado es luego transferida al segundo reactor en el paso b), típicamente junto con algunas de las aguas residuales tratadas.

El suministro de oxígeno molecular y aguas residuales al primer reactor es luego reanudado para iniciar el paso de acumulación c).

En tal forma de realización con el suministro continuo de aguas residuales y oxígeno molecular al primer reactor, los caudales del suministro de oxígeno y aguas residuales se pueden variar durante el tiempo de ejecución de los pasos a) y c).

[0036] El paso c) se realiza durante un segundo periodo de tiempo.

El segundo periodo de tiempo puede ser un periodo de tiempo predeterminado, preferiblemente un periodo de tiempo predeterminado en el rango de 2 a 24 horas, más preferiblemente en el rango de 4 a 24 horas o incluso de 4 a 12 horas.

Alternativamente, el segundo periodo de tiempo termina cuando una determinada concentración mínima de RBCOD se consigue (en el caso de suministro por lotes de aguas residuales y con ello de sustrato) cuando se produce una cantidad determinada de compuesto de almacenamiento microbiano o cuando el consumo de oxígeno se reduce.

Alternativamente, la concentración de RBCOD en la mezcla en el primer reactor durante el paso c) puede mantenerse constante controlando el suministro del flujo de aguas residuales.

El segundo periodo de tiempo puede luego terminar cuando el caudal de aguas residuales suministra gotas por debajo de un valor determinado.

El segundo periodo de tiempo, es decir, la longitud de la fase de acumulación, es preferiblemente más larga que el primer periodo de tiempo, es decir la fase de abundancia.

En particular, el segundo periodo de tiempo es al menos dos veces, hasta por ejemplo 24 veces el primer periodo de tiempo, más en particular, entre 4 y 20 veces a lo sumo.

[0037] En el caso de que el compuesto de almacenamiento microbiano sea PHA, el segundo periodo de tiempo es preferiblemente de manera que las bacterias de acumulación de PHA en el residuo activado, al final del paso c) hayan acumulado al menos 60 % en peso, más preferiblemente al menos 70 % en peso, aún más preferiblemente al menos 80 % en peso de PHA, hasta por ejemplo 90 % en peso de PHA, basado en el peso en seco de residuo.

[0038] Las aguas residuales tratadas pueden ser continuamente retiradas del primer reactor durante los pasos a) y/o c) o discontinuas al final del paso a) o durante el paso b).

En el caso de que las aguas residuales tratadas sean continuamente retiradas desde el primer reactor durante los pasos a) y/o c), el primer reactor preferiblemente comprende un decantador para separar cualquier residuo de las aguas residuales tratadas de modo que residuo se retiene en el primer reactor.

Tal decantador puede ser situado dentro del reactor, preferiblemente en una parte superior del reactor justo antes de una salida para aguas residuales tratadas o fuera del reactor con reciclaje de residuo separado al primer reactor.

Se apreciará que un decantador para prevenir que el residuo sea retirado desde el primer reactor con el retiro continuo de aguas residuales tratadas es un decantador diferente como un decantador que se puede utilizar para concentrar residuo activado que se transfiere al segundo reactor en el paso b).

[0039] Al final del paso de acumulación c), es decir después del segundo periodo de tiempo, el residuo activado que es además enriquecido en el compuesto de almacenamiento microbiano se retira del primer reactor como flujo del producto en el paso d).

El compuesto de almacenamiento microbiano se puede recuperar de este flujo del producto en uno o más pasos adicionales para aplicación en por ejemplo bioplásticos.

Tales pasos son bien conocidos en la técnica y típicamente comprenden la interrupción de las células microbianas para recoger el compuesto de almacenamiento microbiano y otros pasos de purificación.

[0040] En el paso e), el residuo activado que comprende el compuesto de almacenamiento microbiano en el segundo reactor se somete a un medio de reacción líquida, típicamente a un medio de reacción líquida de aguas residuales tratadas desde el primer reactor, a las denominadas condiciones de carestía durante un tercer periodo de tiempo para obtener el residuo activado enriquecido con microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano.

Las condiciones de carestía comprenden la presencia de oxígeno disuelto y la ausencia de suministro de sustrato, es decir sin BCOD adicionado o la presencia de sustrato a un nivel de promedio inferior que durante la fase de abundancia del paso a) en que, durante el paso e), el suministro de RBCOD es inferior a sustancialmente el índice de absorción por los microorganismos.

Así, el paso e) implica una disminución de RBCOD, lo que significa que la concentración de RBCOD reacciona lejos de los microorganismos que acumulan el compuesto de almacenamiento (tal como PHA), en cuya fase los microorganismos comienzan utilizando el compuesto de almacenamiento para crecimiento.

En particular, el suministro de sustrato es cero sustancialmente.

Los microorganismos no deseados pueden crecer en la fase de carestía por el consumo del OBCOD presente. Esto es por lo que el suministro de OBCOD debería preferiblemente ser minimizado como se ha descrito anteriormente.

[0041] Tales condiciones de carestía son bien conocidas en la técnica y cualquier condiciones de carestía adecuadas conocidas en la técnica pueden ser aplicadas.

En la etapa de carestía e), la concentración de COD biodegradable (RBCOD y OBCOD) en el medio de reacción líquido es preferiblemente menos de 0.1 veces, más preferiblemente menos de 0.02 veces, la concentración de COD biodegradable en el paso de abundancia a); es decir, este alcanza estos niveles inferiores a una fase temprana de paso de carestía e).

En particular, la concentración de solo RBCOD en el medio de reacción líquida del paso e) alcanza preferiblemente menos de 0.1 veces, más preferiblemente menos de 0.02 veces, la concentración de RBCOD en el paso de abundancia a).

La concentración de oxígeno disuelto es preferiblemente de manera que no es limitativa para el crecimiento de los microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano.

Preferiblemente, la concentración de oxígeno disuelto en el segundo reactor en el paso e) es al menos 0.32 mg, más preferiblemente al menos 0.5 mg por litro de medio de reacción de líquido.

[0042] Ya que el paso e) es el paso donde tiene lugar el crecimiento de los microorganismos deseados, es importante que los nutrientes esenciales para este tipo de crecimiento estén presentes en el medio de reacción líquido.

En el caso de que la concentración de nutrientes esenciales limite el crecimiento de tales microorganismos en las aguas residuales tratadas que se transfieren desde el primer reactor al segundo reactor, se prefiere añadir tales nutrientes al segundo reactor justo antes o durante el paso e).

Los nutrientes que se pueden adicionar comprenden una fuente de P, tal como fosfato, una fuente de N, tal como amoníaco, amonio, urea o nitrato, otros elementos de macro u oligoelementos, o combinaciones de los mismos.

[0043] Después del paso e), el residuo activado enriquecido con microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano se retira del segundo reactor y se transfiere al primer reactor para formar el residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular el compuesto de almacenamiento microbiano en el paso a).

[0044] El tercer periodo de tiempo es preferiblemente un periodo de tiempo predeterminado, más preferiblemente un periodo de tiempo predeterminado en el rango de 2 a 24 horas, más preferiblemente 4 a 24 horas, aún más preferiblemente en el rango de 4 a 12 horas.

Se aplica en particular al tiempo de retención del residuo en el segundo reactor o tiempo de retención medio en caso del intercambio de residuo (semi)continuo.

[0045] En una forma de realización preferida de la invención, la etapa de acumulación c) y etapa de carestía e) se realizan simultáneamente y preferiblemente tienen una longitud comparable, es decir el segundo y tercer tiempo de reacción son aproximadamente el mismo.

Así, el tercer periodo de tiempo es preferiblemente al menos dos veces, hasta por ejemplo 24 veces siempre y cuando primer periodo de tiempo, más en particular, entre 4 y 20 veces a lo sumo.

En el caso de que se desee tener un tercer periodo de tiempo (fase de carestía) que sea más largo sustancialmente que el segundo periodo de tiempo (etapa de acumulación), se prefiere operar el proceso según la invención con más de unos segundos reactores, preferiblemente con dos segundos reactores.

En caso de dos segundos reactores, el residuo activado que ha sido enriquecido en los microorganismos de acumulación deseada en una fase de carestía (paso e)) que usa residuo activado obtenido en el paso de abundancia (paso a)) de un ciclo precedente del proceso, es luego transferido al primer reactor en el paso f).

De esta manera, el periodo de permanencia en cada segundo reactor puede ser como mucho dos veces el segundo periodo de tiempo más una vez el primer periodo de tiempo.

Así, el periodo de permanencia en la fase de carestía es luego cerca de dos veces el periodo de permanencia en el paso de acumulación, y puede ser hasta 40 veces la longitud del primer periodo de tiempo (fase de abundancia).

- 5 [0046] Al final del paso de acumulación c), el residuo activado se retira del primer reactor como un flujo del producto (paso d).
Preferiblemente, esencialmente todo el residuo activado se retira del primer reactor en el paso d).
Preferiblemente, el residuo activado es selectivamente retirado desde el primer reactor, es decir reteniendo la mayor parte de la fase líquida en el reactor.
- 10 Una ventaja del retiro selectivo de residuo es que se necesitaría menos líquido de bombeo y de tampón.
Tal retiro selectivo puede realizarse por medios conocidos en la técnica, por ejemplo por primero permitiendo al residuo sedimentarse en el primer reactor antes de retirar el residuo sedimentado.
Alternativamente, un separador sólido/líquido adecuado dentro o fuera del primer reactor puede ser utilizado, tal como un decantador, un centrífugo, un hidrociclón, un filtro o una membrana.
- 15 Si la separación sólido/líquido tiene lugar fuera del primer reactor, esta se hace preferiblemente en un bucle de reciclaje y la mayor parte del líquido separado se recicla al primer reactor.

- [0047] Por alineación de los tiempos de estancia del paso de acumulación el primer reactor y la fase de carestía en el segundo reactor, se hace uso óptimo del primer y el segundo reactor.
- 20 Además, realizando el paso de carestía un reactor diferente a los pasos de abundancia y acumulación, el dimensionamiento del reactor puede ser optimizado, ya que los requisitos para la fase de abundancia y el paso de acumulación en términos de oxígeno y suministro de sustrato son comparables, mientras que aquellos para la fase de carestía son diferentes.
Así, el sobredimensionamiento del reactor, que es normalmente el caso en los procesos del estado de la técnica donde las fases de abundancia y carestía se realizan en un reactor único, se evita.
- 25

- [0048] Las concentraciones de oxígeno disuelto deseadas en los pasos a) y c) en el primer reactor y en el paso e) en el segundo reactor se mantienen suministrando oxígeno molecular de suministro u otro oxidante que comprende oxígeno al primer reactor o al segundo reactor durante estos pasos, preferiblemente por continuamente alimentando un flujo de aire al reactor pertinente.
- 30

- [0049] El volumen del segundo reactor es menor típicamente que el volumen del primer reactor.
Preferiblemente, el volumen del segundo reactor es de 5% a como mucho el 50% del volumen del primer reactor, más preferiblemente, en el rango de 10% a 20% del volumen del primer reactor.
- 35 Esto es principalmente debido al hecho en el paso e) (fase de carestía) de que se puede utilizar una mayor proporción residuo a medio de reacción líquido que en los pasos a) y c) en el primer reactor.
Preferiblemente, la proporción de residuo a medio de reacción líquido en el paso e) está en el rango de 2 a 10 veces mayor que en los pasos a) y c), más preferiblemente en el rango de 5 a 8 veces mayor.

- 40 [0050] En una forma de realización preferida del proceso de la invención, los pasos a) y c) se realizan de forma discontinua o continuamente respecto a la alimentación de las aguas residuales y los pasos b), d) y f) se realizan en forma de lotes respecto al residuo de transferencia, es decir después de la finalización del primer, segundo y tercer periodo de tiempo, respectivamente, como se ha explicado adicionalmente arriba.
En otra forma de realización de la invención, uno o más de los pasos b), d) y f), preferiblemente al menos pasos b) y f) se realizan continuamente o semicontinuosamente (intermitentemente), es decir, durante los pasos a), c) y e), respectivamente.
- 45 En tal modo continuo completamente, los primeros, segundos y terceros periodos de tiempo para someter los varios residuos a las condiciones de abundancia, acumulación y carestía, respectivamente, recurren a los tiempos de retención de residuo medios en el primer reactor y en el segundo reactor; (estos son los tiempos antes de que el residuo retorne al segundo reactor (paso a)) y antes de que el residuo de producto se descargue desde el primer reactor (paso c)) y antes de que el residuo crecido retorne al primer reactor (etapa e)).
- 50

Descripción detallada de los dibujos

- 55 [0051]
Las figuras 1 a 7 esquemáticamente muestran pasos secuenciales diferentes de una forma de realización del proceso según la invención.
Las figuras juntas 1 a 7 muestran un ciclo completo del proceso.
Los números de referencia iguales en las figuras tienen el mismo sentido.
- 60 Las líneas punteadas muestran conductos a través de los cuales ningún flujo está fluyendo, líneas normales muestran conductos a través de los cuales un flujo está fluyendo durante la etapa representada del proceso.
La Figura 1 representa la denominada fase de abundancia (paso a)) del proceso según la invención.
En la figura 1 se muestra el primer reactor 1 y segundo reactor 2. Un flujo de aguas residuales que comprende ácidos grasos volátiles es continuamente suministrado al primer reactor 1 con el conducto 3 y el aire es continuamente suministrado al primer reactor 1 con el conducto 4. El primer reactor 1 contiene una
- 65

mezcla 5 de residuo activado que comprende bacterias de acumulación de PHA dispersadas en aguas residuales (tratadas).

El reactor es accionado bajo condiciones denominadas de abundancia (condiciones de reacción de producción de PHA).

5 Bajo estas condiciones, los ácidos grasos volátiles se convierten en el PHA por las bacterias de acumulación de PHA en el residuo activado.

Así, se obtiene el residuo activado que comprende PHA.

Las aguas residuales tratadas continuamente se retiran del reactor 1 vía el conducto 6. El decantador 7 separa el residuo de las aguas residuales tratadas y con lo que el residuo se retiene en el primer reactor 1.

10 La Figura 2 muestra el paso de sedimentación posterior en el proceso.

Por interrupción los suministros de aguas residuales y aire vía conductos 3 y 4, respectivamente, el residuo activado que comprende PHA se permite sedimentar y se forma una capa 8 de residuo activado que comprende PHA concentrado.

15 La capa de arriba 8, una mezcla más diluida 11 de residuo activado que comprende PHA dispersado en aguas residuales tratadas está presente.

La Figura 3 muestra el paso posterior b) del proceso donde el residuo activado que comprende PHA concentrado se transfiere vía el conducto 9 al segundo reactor 2 (aproximadamente la mitad de la capa 8 se transfiere al segundo reactor 2).

20 El segundo reactor 2 ahora contiene una mezcla concentrada 12 de residuo activado que comprende PHA en aguas residuales tratadas.

La Figura 4 muestra el posterior paso de acumulación c) en el primer reactor 1 y el paso de carestía e) en el segundo reactor 2. Los pasos c) y e) se realizan simultáneamente.

Los suministros de aguas residuales y aire al primer reactor 1 vía conductos 3 y 4 se reanudan y las aguas residuales tratadas continuamente se retiran del reactor 1 vía la línea 6. Las condiciones durante el paso c) son esencialmente los mismos que en el paso a).

25 Durante el paso c) PHA es posteriormente acumulado en las bacterias de acumulación de PHA y se obtiene una mezcla 13 de residuo activado además enriquecida con PHA dispersado en aguas residuales tratadas.

En el paso simultáneo e), el aire se suministra al segundo reactor 2 vía el conducto 14.

30 Ningún sustrato se suministra al segundo reactor 2. Bajo estas condiciones denominadas de carestía, es decir bajo condiciones de que la concentración de sustrato es limitativa, las bacterias que han producido y almacenado PHA en el paso a) selectivamente crecen y se obtiene el residuo activado 15 enriquecido además con bacterias de acumulación de PHA.

La Figura 5 muestra el paso de sedimentación posterior en el proceso.

35 Por interrupción, los suministros de aguas residuales y aire vía conductos 3 y 4, respectivamente, el residuo activado enriquecido además con PHA en el primer reactor 1 se permiten sedimentar y se forma una capa 16 de residuo concentrado enriquecida además con PHA.

La Figura 6 muestra el paso posterior d) donde el residuo concentrado enriquecido además con PHA se retira del primer reactor 1 vía el conducto 17 como flujo del producto.

40 La Figura 7 muestra el paso posterior f) donde el residuo activado enriquecido además con bacterias de acumulación de PHA se transfiere vía el conducto 18 del segundo reactor 2 al primer reactor 1 para formar el residuo activado que comprende bacterias de acumulación de PHA para ser usadas en el paso posterior a), es decir el primer paso de un ciclo posterior del proceso.

Por repetición de los ciclos del proceso como se muestra en las figuras 1 a 7, se consigue una presión de selección para bacterias de acumulación de PHA.

45

Ejemplos

[0052] La conversión de RBCOD presente en aguas residuales para biomasa con un contenido de PHA alto que luego puede ser además purificado requiere dos pasos:

50

[0053] En primer lugar, un proceso de selección eficaz se requiere para producir la cantidad requerida de biomasa con un contenido lo más alto posible de las bacterias de acumulación de PHA deseadas.

Esto típicamente se hace en un régimen abundancia-carestía donde las bacterias en un tiempo breve convierten RBCOD a PHA y en un tiempo más largo crecen por conversión del PHA a biomasa.

55 El tiempo de carestía es típicamente más de 10 veces más largo que el tiempo de abundancia.

[0054] En segundo lugar, esta biomasa necesita ser contactada con una cantidad alta de aguas residuales que contienen RBCOD para maximizar el contenido PHA en las células (paso de acumulación).

60 [0055] Para producir biomasa que contiene aproximadamente 85 % en peso PHA, alrededor de 20 % de las aguas residuales que contienen RBCOD se usa para la producción de biomasa y aproximadamente 80 % para la producción de PHA en el paso de acumulación.

[0056] El estado de la técnica considera la selección y acumulación como pasos separados.

65 La presente invención muestra las ventajas de un sistema integrado donde se combinan selección y acumulación.

Ejemplo (comparativo)

5 [0057] Este ejemplo muestra encolado de biorreactor estimado utilizando un reactor en lote secuencial (SBR) de selección separada (abundancia-carestía) y un reactor de acumulación separada en comparación con un reactor combinado de abundancia/acumulación y un reactor de carestía separada que asume max. 1 kg/m³.h de oxígeno transferido a todos los reactores.

10 El requisito de oxígeno en la fase de abundancia y acumulación se ha descubierto que está alrededor de 0.3 kg O₂ por kg de acetato convertido a PHA. La cantidad absoluta de oxígeno requerido en la fase de carestía es comparable con la fase de abundancia pero ya que el tiempo de carestía es más de 10 veces más largo que la fase de abundancia, el grado de transferencia de oxígeno requerido es más de 10 veces menor en el caso del mismo volumen de reactor se usa para las fases de abundancia y de carestía como es el caso de la configuración de SBR.

15 El grado de transferencia de oxígeno requerido en la fase de abundancia por lo tanto determina el volumen de reactor en el caso de que la transferencia de oxígeno sea limitativa. Esto normalmente será el caso de concentraciones de RBCOD elevadas.

Aguas residuales totales disponibles:

20 [0058]
 Concentración de RBCOD: 4 g/l (kg/m³) de acetato
 Flujo de aguas residuales según el promedio de tiempo: 100 m³/h

Selección en un reactor en lotes secuencial (abundancia-carestía):

25 [0059]
 Flujo de aguas residuales calculado según el promedio de tiempo para selección: 20 m³/h
 Carga de acetato según el promedio de tiempo: 20 x 4 = 80 kg/h
 Ciclo de abundancia + carestía: 12 h, de las cuales el tiempo de abundancia: 40 minutos (0.667 h) y
 30 El tiempo de carestía: 11 h 20 m (11.333 h)
 Absorción de acetato durante la fase de abundancia solo: 80 x 12 h / 0.667 h = 1440 kg/h acetato.
 Requisito de oxígeno en la fase de abundancia = 1440 x 0.3 = 432 kg/h O₂.
 Volumen de reactor basado en máx. de 1 kg/m³.h y medio 1 kg/m³.h O₂ índice de transferencia = 432 kg/h: 1 kg/m³.h = 432 m³.

35 Reactor de acumulación:

40 [0060]
 Las aguas residuales calculadas según el promedio de tiempo para acumulación: 80 m³/h.
 La carga de acetato según el promedio de tiempo: 80 x 4 = 320 kg/h acetato.
 El requisito de oxígeno según el promedio de tiempo en el reactor de acumulación = 320 x 0.3 = 96 kg/h O₂.
 El volumen basado en máx. 1 kg/m³.h O₂ y un promedio de 0.5 kg/m³.h O₂ índice de transferencia = 96/0.5 = 192 m³. → capacidad de reactor total requerida: 432 + 192 = 624 m³

45 [0061] Las desventajas principales de esta configuración:
 - la capacidad de transferencia de oxígeno disponible en el reactor de selección solo se usa durante
 alrededor de 5 a 10 % del tiempo durante la fase de abundancia. Para el resto del tiempo más del 90 %
 de la capacidad de oxidación no se usa.
 50 - en el caso de asentamiento después de que se aplique la abundancia para eliminar OBCOD, el reactor
 se hará funcionar más de la mitad vacío durante más del 90 % del tiempo. Además, al lado de la
 eficiencia inferior este también presenta problemas técnicos para selección de dispositivos de
 aireación.
 - cada ciclo en la selección 12 h x 20 m³/h = 240 m³ de agua necesita ser almacenado y bombeado en
 breve tiempo al principio y el final del ciclo.

55 **Ejemplo (invención)**

60 [0062] Se ha observado según la invención que estos problemas pueden surgir usando el mismo primer reactor
 en volumen también para acumulación y aplicando un reactor de carestía menor en vez de un reactor de
 acumulación separado.

Reactor de abundancia y acumulación combinados:

65 [0063]
 Aguas residuales según el promedio de tiempo para selección: 100 m³/h
 La carga de acetato según el promedio de tiempo: 100 x 4 = 400 kg/h

ES 2 695 429 T3

El requisito de oxígeno según el promedio de tiempo = $400 \times 0.3 = 120 \text{ kg/h O}_2$

El volumen basado en máx. $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h O}_2$ y un promedio de $0.277 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h O}_2$ índice de transferencia = $120/0.277 = 433 \text{ m}^3$.

5 Reactor de carestía

[0064] El reactor de carestía separado puede ser 10 veces menor en comparación con el primer reactor como resultado del requisito de oxígeno inferior y minimizando el caudal hidráulico debido al grosor de residuo después de la fase de abundancia: 45 m^3 . → capacidad de reactor total requerida: $436 + 45 = 481 \text{ m}^3$

10

[0065] Además del volumen de reactor inferior en general y uso más eficaz de la capacidad de aireación instalada y energía, por tanto menos capacidad tamponadora de aguas residuales hidráulicas también es requerida como la cantidad total de agua bombeada en breve tiempo del segundo al primer reactor es inferior a 45 m^3 por ciclo.

15

REIVINDICACIONES

1. Proceso para producir polihidroxialcanoato (PHA), que comprende los pasos siguientes:
 - a) suministro de un flujo de aguas residuales que comprende COD fácilmente biodegradable (RBCOD) a un primer reactor que contiene el residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular PHA y sometimiento del residuo en el primer reactor a condiciones de reacción de acumulación de PHA durante un primer periodo de tiempo de 0.25 a 5 h, las condiciones comprenden la presencia de oxígeno disuelto y la presencia de al menos 10 mg/l de COD fácilmente biodegradable en la mezcla, para obtener un residuo activado que comprende PHA a un nivel de al menos 30 % en peso basado en el peso en seco del residuo;
 - b) transferencia de parte del residuo activado que comprende PHA desde el primer reactor a un segundo reactor y mantenimiento de parte del residuo activado que comprende PHA en el primer reactor;
 - c) suministro de un flujo de aguas residuales que comprende RBCOD al primer reactor que contiene parte del residuo activado que comprende PHA y sometimiento del residuo a condiciones de acumulación de PHA durante un segundo periodo de tiempo de 2 a 24 h, las condiciones comprenden la presencia de oxígeno disuelto y la presencia de al menos 10 mg/l de COD fácilmente biodegradable, para obtener el residuo activado que es además enriquecido con PHA a un nivel de al menos 60 % en peso basado en el peso en seco del residuo, y aguas residuales tratadas;
 - d) retirada del residuo activado que es además enriquecido con PHA desde el primer reactor como un flujo del producto;
 - e) sometimiento del residuo activado que comprende PHA en el segundo reactor en un medio de reacción líquido a condiciones de reacción de carestía durante un tercer periodo de tiempo de entre 2 y 24 h, las condiciones de reacción de carestía comprenden la presencia de oxígeno disuelto, para obtener residuo activado enriquecido con microorganismos capaces de la acumulación de PHA; y
 - f) transferencia del residuo activado enriquecido en microorganismos capaces de acumular PHA obtenido en el paso e) al primer reactor para formar el residuo activado que comprende microorganismos capaces de acumular PHA en el paso a).
2. Proceso según la reivindicación 1, donde los microorganismos son bacterias.
3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, donde la concentración de COD fácilmente biodegradable en el flujo de aguas residuales está en el rango de 0.5 a 50 gramos por litro, preferiblemente de 1 a 20 gramos por litro.
4. Proceso según la reivindicación 3, donde el flujo de aguas residuales comprende ácidos grasos volátiles, preferiblemente en una concentración en el rango de 0.5 a 50 gramos por litro, más preferiblemente de 1 a 20 gramos por litro.
5. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde los pasos c) y e) se realizan simultáneamente.
6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el primer periodo de tiempo en el paso a) está en el rango de 0.5 a 2 horas.
7. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el segundo periodo de tiempo en el paso c) está en el rango de 4 a 12 horas.
8. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el tercer periodo de tiempo en el paso e) es de 4 a 12 h.
9. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el flujo de aguas residuales es continuamente suministrado al primer reactor durante los pasos a) y c) y un flujo de aguas residuales tratadas es continuamente retirado del primer reactor durante los pasos a) y c).
10. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde los pasos b), d) y f) se realizan después de la finalización del primer, segundo y tercer periodo de tiempo, respectivamente.
11. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, donde uno o más de los pasos b), d) y f) son realizados continuamente.
12. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde en el paso b) la parte transferida es al menos 40 % en peso y la parte retenida es al menos 30% del residuo activado que comprende PHA.
13. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la parte del residuo activado que comprende PHA transferido desde el primer reactor al segundo reactor en el paso b) se concentra antes de ser suministrado al segundo reactor.

14. Proceso según la reivindicación 13, donde la parte del residuo activado que comprende PHA transferido desde el primer reactor al segundo reactor se concentra en el primer reactor antes de ser retirado del primer reactor.
- 5 15. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el volumen del segundo reactor es 50% o menos del volumen del primer reactor.

Fig. 1

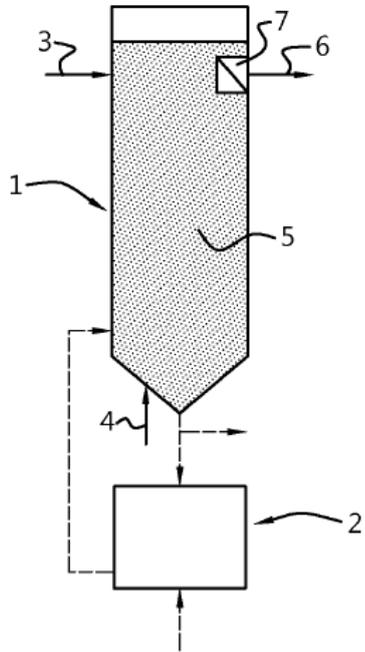


Fig. 2

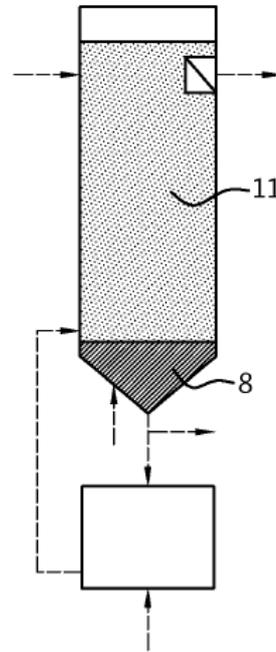


Fig. 3

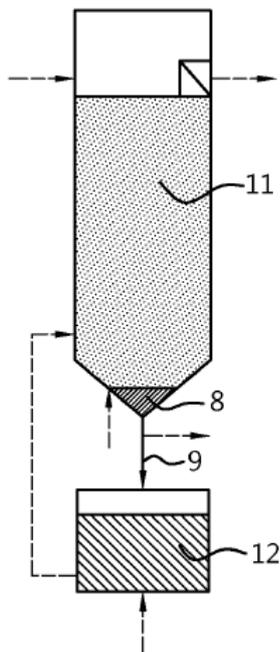


Fig. 4

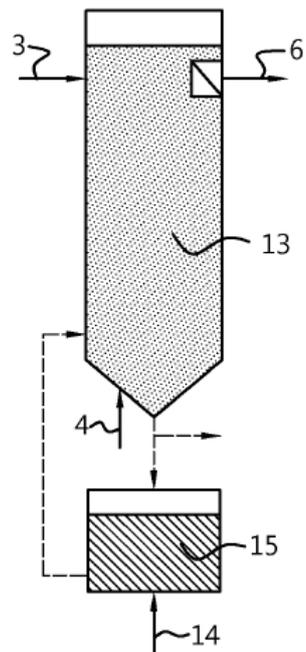


Fig. 5

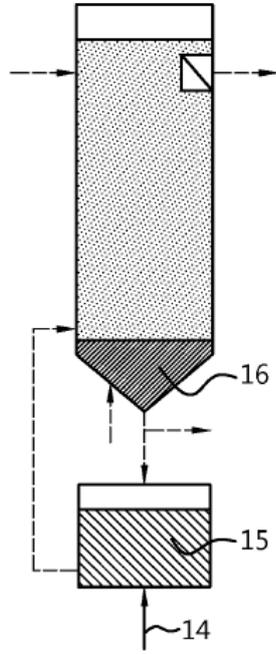


Fig. 6

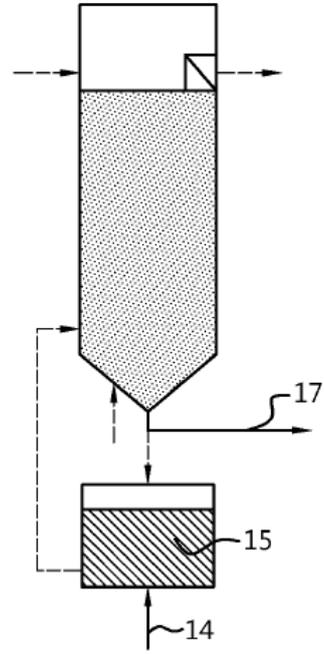


Fig. 7

