(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 563 752**

(51) Int. CI.:

C12N 1/12 (2006.01)
C02F 3/28 (2006.01)
C02F 3/32 (2006.01)
C12M 1/00 (2006.01)
C12P 7/64 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2010 E 10765973 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2015 EP 2491112**

(54) Título: **Procedimiento de cultivo de algas**

(30) Prioridad:

20.10.2009 DE 102009051588

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.03.2016

(73) Titular/es:

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG (100.0%)
Hansastrasse 27c
80686 München, DE

(72) Inventor/es:

TRÖSCH, WALTER

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

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

Procedimiento de cultivo de algas

La presente invención se refiere a la depuración adicional de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia. La presente invención se refiere también al cultivo de algas, en particular microalgas.

La presente invención se refiere a procedimientos de ingeniería en bioprocesos en los que se suministran fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia como constituyentes de medios a cultivos de algas. La presente invención se refiere también a los procedimientos de acuerdo con la invención en la configuración como procedimientos de preparación. La presente invención se refiere también al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia como constituyentes de medios de cultivos de algas. La presente invención se refiere también al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia para la mejora de las condiciones de crecimiento de algas en fotobiorreactores. La presente invención se refiere también al uso de algas para la purificación de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia, en particular de filtrado de agua residual purificado biológicamente de forma anaerobia. La presente invención se refiere también a dispositivos de ingeniería en bioprocesos que contienen un biorreactor, en particular una torre de digestión, y un fotobiorreactor, así como al uso de estos dispositivos para los procedimientos de acuerdo con la invención.

Son conocidos dispositivos y procedimientos para la purificación de agua residual, sobre todo de aguas residuales comunitarias. Son ejemplos de esto las denominadas instalaciones depuradoras o instalaciones de purificación de agua residual. Las mismas sirven sobre todo para la purificación de aguas residuales comunitarias que son recogidas por la canalización pública y se transportan hasta la instalación depuradora. El fin de la purificación del agua residual es la eliminación de constituyentes indeseados del agua residual, de tal manera que se obtenga un agua residual purificada que se puede liberar, por ejemplo, en ríos y aguas (los denominados cauces de desagüe), sin que aparezcan daños para el medio ambiente y la población debido a contaminación química o microbiológica.

Para la eliminación de los constituyentes indeseados se emplean, la mayoría de las veces en combinación, procedimientos mecánicos (físicos), biológicos y químicos. Por consiguiente, las instalaciones depuradoras modernas al menos tienen tres niveles, conectándose uno detrás de otro al menos un nivel de purificación física, al menos un nivel de purificación biológica y al menos un nivel de purificación química.

Los procedimientos biológicos sirven sobre todo para la degradación de compuestos orgánicos en aguas residuales orgánicamente muy contaminadas. Esto se realiza con frecuencia debido a degradación aerobia de los compuestos orgánicos hasta dar productos finales inorgánicos, tales como dióxido de carbono, nitrato, sulfato, fosfato, etc. Para esto se emplea biomasa en forma de lodos activados en los denominados tanques de activación o como césped de bacterias por ejemplo en forma de los denominados lechos bacterianos. Los compuestos orgánicos que se tienen que retirar, a este respecto no solo se emplean energéticamente mediante procesos catabólicos y se “respiran”, es decir, se degradan mediante reacción con oxígeno del aire, sino que sirven en procesos anabólicos para el crecimiento de la biomasa. La biomasa que se acumula se tiene que retirar de forma regular del nivel de purificación biológica y someterse en una torre de digestión a un tratamiento posterior, por ejemplo, una fermentación, liberándose biogás y quedando, a pesar de esto, considerables cantidades de desecho de lodo. Este desecho de lodo se puede usar en parte como fertilizante. Sin embargo, en gran parte la producción de lodo se elimina en instalaciones de combustión con elevados costes.

También es conocida una purificación de agua residual biológica anaerobia. Esta sirve así mismo para la retirada de compuestos de carbono orgánicos perjudiciales o molestos en el agua residual mediante procesos de degradación microbiológica que, sin embargo, transcurren en ausencia de oxígeno. A este respecto, los microorganismos anaerobios obtienen la energía necesaria para su metabolismo de la reacción de los compuestos de carbono orgánicos y hacen transforman los mismos hasta dar ácidos orgánicos, otros hidrocarburos y hasta dar dióxido de carbono y metano. A este respecto, la purificación de agua residual tiene lugar en reactores cerrados de forma estanca al aire.

En general se clasifican los procedimientos anaerobios en sistemas de flujo sin inmovilización de la biomasa, en los que la biomasa se encuentra en esencia en suspensión, y en sistemas de flujo con inmovilización, en los que la biomasa está presente de forma esencialmente inmovilizada a estructuras internas del reactor y alrededor de la cual fluye el agua residual que se tiene que purificar.

Es conocido, por ejemplo, el denominado “tanque clarificador de tipo Emscher", una torre depuradora de dos niveles patentada por Immhoff en 1906 que posibilita una digestión anaerobia en el espacio de digestión que se encuentra por debajo.

Además de las torres de digestión, para la purificación de agua residual anaerobia conocida se emplean también reactores de lecho fluidizado, tanques de activación anaerobios, reactores UASB o reactores de lecho fijo.

Sin embargo, no se tratan solamente aguas residuales comunitarias y lodos de depuradora, sino también otras aguas residuales de forma anaerobia, por ejemplo, aguas residuales de la industria, en particular de la industria alimentaria, o aguas residuales de la fermentación de materias primas renovables. Por ejemplo, en el procesamiento de remolachas azucareras en fábricas de azúcar se produce agua residual muy contaminada que se purifica mediante instalaciones de purificación de agua residual anaerobia conocidas. A este respecto, las aguas residuales se degradan en dos niveles: en un primer nivel, la denominada acidificación, las sustancias de azúcar de alto peso molecular contenidas en el agua residual y otros compuestos orgánicos se transforman por microorganismos hasta dar ácidos orgánicos. Estos ácidos son el sustrato degradable para las bacterias en el segundo nivel, la denominada fase metanogénica. La fase metanogénica, a este respecto, es la fase microbiana que purifica el agua residual al transformarse CSB (sustancia orgánica oxidable disuelta) hasta dar los productos gaseosos CH_4 y CO_2 que, como tales, abandonan el agua sin costes y voluntariamente.

Las concentraciones residuales de impurezas orgánicas alcanzadas en los procedimientos de purificación anaerobia conocidos no permiten una introducción directa en el cauce de desagüe. Por tanto, normalmente se necesitan otros niveles de purificación aerobia biológicos, físicos y/o químicos.

Se conocen procedimientos y dispositivos que sirven para la purificación biológica anaerobia de agua residual, pudiéndose obtener al mismo tiempo biogás, por ejemplo, por el documento DE 10 2005 063 228 A1.

El agua residual purificada de forma anaerobia contiene también biomasa, en particular bacterias, en una concentración que no permite una introducción directa en el cauce de desagüe. Por tanto, esta biomasa con frecuencia se retira mediante procedimientos físicos, en particular mediante filtración, del agua residual. En esta filtración se aplican en particular procedimientos de separación llevados a cabo con ayuda de membranas. Las etapas de separación en la técnica de separación por membrana se pueden clasificar según los límites de separación en las clases micro-, ultra- y nanofiltración así como ósmosis inversa. En el procedimiento de separación se concentra la biomasa como sólido al menos directamente en la membrana, mientras que el líquido filtrado atraviesa la membrana.

Se conocen distintos sistemas de filtro para el tratamiento posterior de aguas residuales purificadas de forma anaerobia. Los documentos DE 100 04 096 A1 y DE 10154549 A1 describen, por ejemplo, sistemas de filtro que son adecuados para la microfiltración o ultrafiltración de aguas residuales tratadas de forma anaerobia. Con frecuencia se aplica una filtración dinámica, en la que en un proceso de espesamiento se obtienen un concentrado (retenido) y un filtrado (permeado). A este respecto, el concentrado contiene las partículas suspendidas, dispersadas o emulsionadas así como las sustancias disueltas de forma correspondiente a la capacidad de separación del sistema de filtro seleccionado, por ejemplo, la membrana seleccionada. Con frecuencia, el concentrado se devuelve a la etapa de purificación anaerobia. El filtrado es el líquido tratado, libre de las partículas cuyos tamaños se encuentran por encima del límite de separación del sistema de filtro.

A pesar de que la eficacia de la purificación en la degradación de compuestos orgánicos con tales purificaciones biológicas anaerobias de aguas residuales, en particular en combinación con un filtrado posterior, es alta, las aguas residuales purificadas de este modo contienen todavía grandes cantidades de fosfato y nitrógeno. Por tanto, es necesario un desecho respetuoso con el medio ambiente de estas aguas residuales para no contaminar los cauces de desagüe con grandes cantidades de fosfato y nitrógeno.

La purificación anaerobia de agua residual conduce a la producción de biogás. La purificación anaerobia de agua residual conduce a la producción de grandes cantidades de CO_2. Se obtienen también grandes cantidades de metano que se puede quemar con formación de CO_2 adicional para la obtención de energía. Para reducir la liberación de CO_2 en cantidades perjudiciales para el medio ambiente, o incluso evitar la misma, por tanto, se tiene que reducir la producción de CO_2 o el CO_2 formado se une o transforma de manera compatible con el medio ambiente. A este respecto, la fotosíntesis es uno de los pocos procesos en la naturaleza que consume CO_2. De CO_2, agua y luz como fuente de energía se fija CO_2 en plantas y algas, a este respecto se produce agua y oxígeno. Anualmente se fijan globalmente a través de la fotosíntesis aproximadamente 360 Gt de CO_2. En los océanos, a este respecto, las microalgas fijan aproximadamente 175 Gt de CO_2. Estas microalgas forman la base de la cadena alimentaria en los océanos.

La producción fotosintética de biomasa puede contribuir de manera significativa a la reducción del contenido de CO_2 de la atmósfera cuando sirve de almacén de carbono y como sustituto de combustibles fósiles o materias primas fósiles. Ya que en el caso del empleo energético de biomasa producida fotosintéticamente se libera solo tanto CO_2 como se haya unido fotosintéticamente durante el crecimiento, con la condición de un proceso sostenible se ahorra CO_2 cuando se reemplaza un producto producido con materias primas fósiles.

Las algas, en particular las microalgas, se caracterizan a causa de su reducido tamaño o distribución fina por una mayor eficacia de fotosíntesis en comparación con las plantas superiores. Este mejor aprovechamiento de la luz solar existente conduce a mayores rendimientos de biomasa que en el caso de las plantas terrestres. Las microalgas en fotobiorreactores tienen una productividad de biomasa hasta diez veces mayor, que conlleva un consumo aumentado de CO_2, que las plantas terrestres. Además, las microalgas pueden producir una pluralidad de sustancias

lipófilas o hidrófilas de alta calidad tales como vitaminas, pigmentos de color, ácidos grasos, aminoácidos y sustancias de efecto farmacéutico, por ejemplo, antibióticos. Son clases de sustancias importantes en este caso, por ejemplo, ácidos grasos esenciales, lípidos, esteroles y carotinoides, polisacáridos, proteínas o aminoácidos y ficobiliproteínas (pigmentos) así como la biomasa total como materia prima rica en proteínas, pobre en ácidos nucleicos. Estos productos se pueden emplear como alimentos de alta calidad, complementos alimenticios, alimentación animal, productos farmacéuticos o como sustitutos de sustancias sintéticas en la industria cosmética y química.

A las microalgas pertenecen, por un lado, las cianobacterias procariotas al igual que las clases de algas microscópicas eucariotas.

Es característico de la biomasa de microalgas en comparación con plantas terrestres superiores la ausencia de lignina, un reducido contenido de celulosa y ácido nucleico y una elevada parte de hidratos de carbono y proteína de hasta el 60 % de la sustancia seca.

El aprovechamiento de CO_2 como producto de desecho es una condición básica para poder producir microalgas con luz solar en condiciones de obtención de energía neta, de tal manera que un aprovechamiento energético de las sustancias o incluso puramente energético de biomasa de algas se haga sostenible. De este modo se puede realizar una aportación a la reducción del CO_2 atmosférico de la combustión de portadores fósiles de energía. Esto se intenta ya en algunas instalaciones piloto junto con la combustión de diferentes portadores fósiles de energía.

Las microalgas necesitan para su crecimiento, aparte de energía solar y CO_2, al igual que cualquier otra planta también sustancias de valor minerales tales como nitrógeno y fósforo así como otros elementos, por ejemplo oligoelementos. Los mismos se disponen normalmente en forma de medios de cultivo sintéticos. En parte, a este respecto se recurre a fertilizantes líquidos para productos agrícolas, que están ajustados a las demandas de flores o plantas de cultivo. Los constituyentes minerales son un factor esencial de los costes de funcionamiento de la producción en el caso del cultivo de microalgas, ya que la luz solar y el CO_2 están disponibles sin costes.

La rentabilidad de la biomasa producida por microalgas en general y de las sustancias específicas en especial se determina en primer lugar por la productividad de las especies elegidas de algas. Sin embargo, solo cuando al mismo tiempo se consigue un elevado grado de eficacia de transformación de energía de radiación solar en la forma deseada de biomasa y se mantienen la complejidad energética y los costes para la producción, instalación y funcionamiento de la instalación extremadamente reducidos. La elevada productividad de biomasa es un problema de la distribución de luz óptima por volumen. La absorción de luz por algas conduce a una intensa reducción de luz con un espesor de capa creciente, al mismo tiempo tiene lugar un auto-sombreado mutuo. Se pueden conseguir grados de eficacia de transformación suficientemente altos de la energía de radiación solar con fotobiorreactores. Los fotobiorreactores son fermentadores en los que se cultivan microorganismos fototróficos, en particular algas, cianobacterias y bacterias púrpura, en los que, por tanto, se posibilita el crecimiento y la multiplicación de estas células o se favorece la producción de diferentes sustancias mediante células fototróficas. Por el documento DE 199 16 597 A1 es conocido un fotobiorreactor particularmente adecuado para el cultivo de microalgas.

El documento EP 2 105 495 A1 describe procedimientos y dispositivos para la transformación de biomasa, en particular purín, sometiéndose la biomasa a una degradación anaerobia y sometiéndose el líquido obtenido de este modo a una filtración, por ejemplo, una micro- o ultrafiltración para separar los microorganismos. La suspensión obtenida se alimenta a un cultivo de algas.

Un problema técnico en el que se basa la presente invención es la facilitación de procedimientos, en particular procedimientos económicos, para la retirada de grandes cantidades de nitrógeno y fósforo de aguas residuales purificadas biológicamente de forma anaerobia.

La invención se basaba también en el problema técnico de poner a disposición medios de cultivo económicos y sencillos para algas y microalgas, en particular en el cultivo en fotobiorreactores.

La invención se basaba también en el problema técnico de poner a disposición procedimientos y dispositivos que posibilitasen aprovechar los productos de degradación obtenidos mediante la purificación anaerobia de aguas residuales y basura orgánica, en particular aprovecharlos de forma económica y de manera energéticamente favorable.

La presente invención se basaba también en el problema técnico de facilitar procedimientos y dispositivos que permitiesen un circuito energéticamente favorable de degradación anaerobia de compuestos orgánicos y generación fotosintética de compuestos orgánicos.

La presente invención se basaba también en el problema técnico de aprovechar los productos de desecho que se producen en la purificación de aguas residuales, en particular las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia, de forma ecológica y económicamente razonable.

La presente invención resuelve el problema técnico en el que se basa en particular también mediante la facilitación de un procedimiento, en particular un procedimiento de ingeniería en bioprocesos, que contiene la etapa: suministro de al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas.

La presente invención resuelve el problema técnico en el que se basa por tanto en particular también mediante la facilitación de un procedimiento de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la reivindicación 1. En una etapa principal del procedimiento se suministra al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas, en particular un cultivo de microalgas.

Por “etapa principal del procedimiento” se entiende la etapa del procedimiento importante para la presente invención del suministro de la al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas.

Además de esta etapa principal del procedimiento, en el procedimiento de acuerdo con la invención pueden estar previstas también otras etapas del procedimiento. Estas etapas del procedimiento adicionales se pueden realizar antes o después de la etapa principal del procedimiento, por tanto, pueden estar antepuestas o pospuestas como etapas del procedimiento a la etapa principal del procedimiento.

De acuerdo con la invención, preferentemente en la etapa principal del procedimiento se suministra la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas.

En relación con la presente invención, por un proceso de ingeniería en bioprocesos se entiende cualquier procedimiento en el que se apliquen etapas de procedimiento biológicas y/o bioquímicas para la transformación y/o producción de sustancias.

En relación con la presente invención, por una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia se entiende una suspensión purificada biológicamente de forma anaerobia que contiene partes orgánicas.

En relación con la presente invención, por una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia se entiende una mezcla heterogénea de sustancias de un líquido, por ejemplo agua, y sólidos finamente distribuidos en su interior, en particular orgánicos, habiéndose sometido la suspensión o al menos los constituyentes sólidos, en particular orgánicos, de la suspensión a una purificación biológica anaerobia. Antes, durante o después de esta purificación se puede añadir entonces líquido, en particular agua, de tal manera que se obtiene una suspensión.

En relación con la presente invención, por una fase acuosa de las suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia se entiende una parte líquida de estas suspensiones que contiene sobre todo agua y sustancias disueltas en su interior, pero que puede contener también otros líquidos. La fase acuosa se puede obtener mediante separación de la fase solida o de una mezcla de líquido y sólidos (concentrado), por ejemplo, mediante filtración. Por tanto, la fase acuosa puede contener una parte del líquido o todo el líquido de las suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia.

En una forma de realización preferente, el concentrado separado de la fase acuosa no se usa como constituyente de medios del cultivo de algas. Los concentrados, por tanto, preferentemente no se suministran al cultivo de algas. En una forma de realización preferente, la fase acuosa no se continúa depurando mediante un filtro percolador aerobio.

En una forma de realización preferente, el filtrado contiene menos del 1 % en peso de sólidos. En una forma de realización preferente, el filtrado contiene solo sólidos en forma disuelta. En una forma de realización preferente, el filtrado contiene menos del 1 % en peso de sólidos, estando presentes los sólidos exclusivamente en forma disuelta en el filtrado.

La fase acuosa se separa en una etapa adicional antes del suministro a un cultivo de algas de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia. Por tanto, se antepone a la etapa principal una etapa de separación en la que se separa la fase acuosa de los restantes constituyentes de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia. De acuerdo con la invención se trata de una separación física.

De acuerdo con la invención, preferentemente la purificación biológica anaerobia es una fermentación anaerobia.

En una forma de realización preferente, la fase acuosa procede de un proceso de fermentación de metano.

En una forma de realización, la purificación biológica anaerobia ya se ha realizado antes de la realización del procedimiento de acuerdo con la invención. Entonces, la purificación biológica anaerobia no es una etapa de procedimiento del procedimiento de acuerdo con la invención. En una forma de realización, la purificación biológica anaerobia ya se ha realizado antes de la realización del procedimiento de acuerdo con la invención. Entonces, la

purificación biológica anaerobia no es una etapa de procedimiento del procedimiento de acuerdo con la invención. En una forma de realización alternativa, la purificación biológica anaerobia es una etapa de procedimiento del procedimiento de acuerdo con la invención que está antepuesta a la etapa principal del procedimiento.

En una forma de realización, la purificación biológica anaerobia se lleva a cabo en una etapa adicional antes del suministro de la fase acuosa al cultivo de algas como metanización monoetápica o bietápica. En una forma de realización, la purificación biológica anaerobia se lleva a cabo en una etapa adicional antes del suministro de la fase acuosa al cultivo de algas como metanización monoetápica. En una forma de realización, se lleva a cabo la purificación biológica anaerobia en una etapa adicional antes del suministro de la fase acuosa al cultivo de algas como metanización bietápica. En una forma de realización se lleva a cabo la purificación biológica anaerobia en una etapa adicional antes del suministro de la fase acuosa al cultivo de algas como metanización multietápica.

En una forma de realización se lleva a cabo la purificación biológica anaerobia en una etapa adicional antes del suministro de la fase acuosa al cultivo de algas como metanización en cascadas. Por tanto, la metanización se lleva a cabo preferentemente en biorreactores conectados en serie, por ejemplo, torres de digestión.

De acuerdo con la invención, preferentemente en el caso de las suspensiones originales orgánicas en particular no purificadas se trata de lodos de depuradora, basura orgánica, aguas residuales de la industria alimentaria, aguas residuales del desecho de agua residual comunitaria y/o aguas residuales de la fermentación de materias primas renovables. De acuerdo con la invención se trata preferentemente en el caso de las suspensiones originales orgánicas en particular no purificadas de lodo de depuradora, basura orgánica y/o aguas residuales. De acuerdo con la invención se trata preferentemente en el caso de las suspensiones originales orgánicas en particular no purificadas de lodo de depuradora y/o aguas residuales.

De acuerdo con la invención, la fase acuosa es un filtrado, es decir un líquido claro filtrado. De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa es un filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia. De acuerdo con la invención, la fase acuosa es un filtrado estéril. De acuerdo con la invención, una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional se filtran antes del suministro al cultivo de algas con al menos un filtro al menos una vez.

Por tanto, en una etapa a) se purifica biológicamente de forma anaerobia la suspensión orgánica, en una etapa b) se filtra la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y en una etapa c) se suministra la fase acuosa, obtenida mediante la filtración, de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas.

De acuerdo con la invención, la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas se filtra con al menos un dispositivo de filtración, en particular dispositivo de microfiltración, seleccionado de un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico y un filtro de lecho profundo cerámico al menos una vez.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas se filtran con al menos un dispositivo de filtración, en particular dispositivo de microfiltración, seleccionado de un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico y un filtro de lecho profundo cerámico al menos una vez dinámicamente.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas se filtran con un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico al menos una vez. En una forma de realización de acuerdo con la invención, la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas se filtran con un filtro de discos rotatorios al menos una vez. De acuerdo con la invención, preferentemente, para el filtrado se usa un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro de discos rotatorios. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro polimérico. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro de lecho profundo cerámico. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro de discos rotatorios dinámico. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro polimérico dinámico. En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa para el filtrado un filtro de lecho profundo cerámico dinámico.

En una forma de realización de acuerdo con la invención se usa un procedimiento de filtración dinámico.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del filtro se trata de un filtro cerámico o de una membrana polimérica. De acuerdo con la invención se trata preferentemente en el caso del filtro de un filtro cerámico.

En una forma de realización de acuerdo con la invención se trata en el caso del filtro de un dispositivo descrito en el documento DE 101 54 549 A1. El contenido de la divulgación del documento DE 101 54 549 A1 está incluido en su totalidad en la presente descripción de la invención. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del filtro se trata de un dispositivo para la separación de sustancias, en particular de sólidos, fases de líquidos de diferente densidad y/o gases, de un líquido, mediante rotación con varios elementos de filtro que dejan pasar el líquido filtrado y que están alojados de forma giratoria alrededor de un eje de giro en una carcasa que presenta una abertura de entrada para el líquido, al menos una abertura de salida para las sustancias pesadas separadas mediante rotación y al menos una abertura de salida para el líquido filtrado, estando previsto en la zona o en proximidad del eje de giro de los elementos de filtro un paso para sustancias que presentan una menor densidad que el líquido.

En una forma de realización de acuerdo con la invención se filtran la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la al menos una fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas. En una forma de realización de acuerdo con la invención se microfiltra o ultrafiltra la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la al menos una fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas. En una forma de realización de acuerdo con la invención se microfiltra la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la al menos una fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas. En una forma de realización de acuerdo con la invención se ultrafiltra la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la al menos una fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas.

La filtración sirve en particular para la separación de posibles sólidos orgánicos, en particular para la separación de microorganismos. Por ello se evita una contaminación del cultivo de algas con otros microorganismos. Una contaminación de este tipo podría impedir, por un lado, el crecimiento de las algas y hacer necesaria, por otro lado, una purificación del cultivo de algas para poder verter al mar las aguas residuales del cultivo de algas. También se podría dificultar la depuración de sustancias que se han de obtener de las algas.

En una forma de realización de acuerdo con la invención puede estar previsto que los concentrados separados en la filtración del filtrado, que se denominan también sustancias residuales de fermentación, se devuelvan de nuevo a una etapa de purificación biológica anaerobia. Pero como alternativa, los concentrados también se pueden evacuar.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, los concentrados son espesos.

De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa está libre de gérmenes fecales. En una forma de realización de la invención, la fase acuosa está completamente libre de gérmenes o prácticamente libre de gérmenes. De acuerdo con la invención, preferentemente en el caso de la fase acuosa se trata por tanto de un filtrado libre de gérmenes fecales, en particular libre de gérmenes. De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa está libre de hongos o prácticamente libre de hongos. De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa está libre de virus o prácticamente libre de virus. De este modo se puede garantizar una producción de biomasa de microalgas pobre en gérmenes, mediante la cual se puede suministrar la biomasa de microalgas a un aprovechamiento de alta calidad.

Sorprendentemente, se ha mostrado que las fases acuosas se pueden depurar sin problemas de tal manera que no contengan bacterias o al menos que contengan bacterias solo en concentraciones tan reducidas que las bacterias no conduzcan ni a una alteración del crecimiento de las algas ni a un peligro para la salud. En particular se ha mostrado, sorprendentemente, que los filtrados de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia prácticamente están libres de bacterias o incluso completamente libres de bacterias.

Además, se ha mostrado que las fases acuosas, en particular filtrados, contienen sustancias toxicas del proceso de depuración en concentraciones tan reducidas que no obstaculizan el crecimiento de las algas.

Se ha mostrado sorprendentemente que las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia se pueden emplear como sustituto y sustituto parcial de medios, por ejemplo medios de sales minerales para el cultivo de algas, en particular microalgas. Sorprendentemente, el uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios conduce a mayores índices de crecimiento de la biomasa de algas que el uso de medios sintéticos convencionales que presentan una facilitación muy buena de nitrógeno.

Gracias al procedimiento de acuerdo con la invención, por tanto, se puede reducir la adición de nitrógeno a cultivos de algas, que se producía de forma compleja, con elevados costes y consumiendo energía mediante el procedimiento de Haber-Bosch, o incluso se puede prescindir por completo del uso de tal nitrógeno en el cultivo de algas.

Se ha mostrado sorprendentemente que las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia gracias a su composición suministran a las algas cantidades suficientes, o incluso ideales de sustancias de valor minerales, en particular nitrógeno y fósforo. Sin quedar ligado a la teoría, a este respecto se

asume que no solo las concentraciones de amonio presentes en las fases acuosas, sino también las cantidades disponibles de carbonato, estimulan el crecimiento de las algas.

De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene de 0,5 a 5 g/l de iones amonio, en particular de 1 a 3 g/l de iones amonio.

De acuerdo con la invención, preferentemente la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene entre 1 y 500 mg/l de fosfato, en particular entre 10 y 200 mg/l de fosfato. En una forma de realización de acuerdo con la invención, la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene al menos 1 mg/l de fosfato. En una forma de realización de acuerdo con la invención, la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene al menos 10 mg/l de fosfato. En una forma de realización de acuerdo con la invención, la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene como máximo 500 mg/l de fosfato. En una forma de realización de acuerdo con la invención, la fase acuosa de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia contiene como máximo 200 mg/l de fosfato.

También se ha mostrado que gracias al metabolismo heterotrófico facultativo de las algas se puede reducir también adicionalmente la CSB (necesidad de oxígeno química) en las fases acuosas.

Por tanto, el procedimiento de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención puede contener, por ejemplo, en particular las siguientes etapas:

a) purificación biológica anaerobia de una suspensión orgánica,

b) filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y

c) suministro del filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas.

En relación con la presente invención, por un constituyente de medios de un cultivo de algas se entiende una determinada parte de una composición líquida que es adecuada para el cultivo de algas, en particular de microalgas. La parte puede ascender a del 1 % al 100 % del medio total de cultivo de algas. El experto en la materia conoce distintos medios para cultivo de algas del estado de la técnica.

De acuerdo con la invención, preferentemente el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 50 % en peso de las fases acuosas como constituyente de medio.

De acuerdo con la invención, preferentemente el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 50 % en peso de las fases acuosas. De acuerdo con la invención, preferentemente el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 60 % en peso de las fases acuosas. En una forma de realización de acuerdo con la invención, el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 75 % en peso de las fases acuosas. En una forma de realización de acuerdo con la invención, el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 80 % en peso de las fases acuosas. En una forma de realización de acuerdo con la invención, el medio total usado para el cultivo de algas contiene al menos el 90 % en peso de las fases acuosas. El medio total suministrado al cultivo de algas puede contener hasta el 99,9 % de la fase acuosa. El medio total usado para el cultivo de algas puede estar compuesto también de la al menos una fase acuosa. El medio total usado para el cultivo de algas puede estar compuesto también solo de las fases acuosas.

Por tanto, de acuerdo con la invención puede estar previsto reemplazar el medio de cultivo de algas convencional por la fase acuosa completa o parcialmente. Por tanto, de acuerdo con la invención puede estar previsto reemplazar el medio de cultivo de algas convencional por la fase acuosa completamente. Por tanto, de acuerdo con la invención puede estar previsto sustituir el medio de cultivo de algas convencional por la fase acuosa parcialmente, por ejemplo, en el 50 %, en el 75 % o en el 90 %.

Ya que la composición de una fase acuosa de una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia depende de la composición de la suspensión de partida, por ejemplo de la composición de agua residual, mediante la adición de oligoelementos se puede mejorar aún más la estimulación del crecimiento en caso necesario.

De acuerdo con la invención también puede estar previsto añadir oligoelementos a la al menos una fase acuosa. De acuerdo con la invención puede estar también previsto añadir a la al menos una fase acuosa fósforo, por ejemplo como fosfato.

De forma correspondiente a aquella composición del medio de sales minerales que garantiza máximos índices de crecimiento de producto para una especie específica de algas, en una forma de realización de acuerdo con la invención se puede compensar la diferencia de ingredientes, en particular fósforo, entre las fases acuosas usadas como medio de acuerdo con la invención y medios de crecimiento óptimos.

De acuerdo con la invención también puede estar previsto ajustar en al menos una fase acuosa la relación entre fósforo y nitrógeno en aproximadamente 3 a 1, por ejemplo en desde 2 a 1 hasta 4 a 1, en particular en 3 a 1. El ajuste se puede realizar mediante la adición correspondiente de fósforo o nitrógeno.

De acuerdo con la invención, preferentemente el cultivo de algas es un cultivo de microalgas.

De acuerdo con la invención, preferentemente se trata en el caso del cultivo de algas de un cultivo de *Phaeodactylum tricornutum*, o de un cultivo de *Haematococcus pluvialis*, o de un cultivo de *Chlorella sorokiniana*, o de un cultivo de *Chlorella vulgaris*, o de un cultivo de *Platymonas subcordiformis*, o de un cultivo de *Tetraseimis suecica*, o de un cultivo de *Nannochloropsis oculata*, o de un cultivo de *Isochrysis* spec., o de un cultivo de *Nannochloropsis limnetica*, o de un cultivo de *Phormidium* spec., o de un cultivo de *Pseudoanabaena* spec., o de un cultivo de *Dunaliella* spec. o de un cultivo de *Monodus subterraneus*.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Phaeodactylum tricornutum*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Haematococcus pluvialis*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Chlorella sorokiniana*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Chlorella vulgaris*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Platymonas subcordiformis*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Tetraseimis suecica*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Nannochloropsis oculata*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Isochrysis* spec. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Nannochloropsis limnetica*. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Phormidium* spec. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Pseudoanabaena* spec. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Dunaliella* spec. En una forma de realización de acuerdo con la invención, en el caso del cultivo de algas se trata de un cultivo de *Monodus subterraneus*.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, el cultivo de algas se usa para la producción de sustancias de valor, en particular de ácidos grasos esenciales, lípidos, esteroles y carotinoides, polisacáridos, proteínas o aminoácidos y ficobiliproteínas.

El cultivo de algas se puede usar también para la obtención, es decir, producción de biomasa como materia prima. A este respecto se forma la biomasa mediante la masa de algas en crecimiento. El cultivo de algas se puede usar también para la obtención de biomasa rica en proteínas, pobre en ácidos nucleicos como materia prima. El cultivo de algas se puede usar también para la obtención de biomasa rica en hidratos de carbono, pobre en ácidos nucleicos como materia prima.

En una forma de realización de acuerdo con la invención se puede usar el cultivo de algas, en particular el cultivo de algas en un fotobiorreactor, como materia prima para una refinería de biomasa. En una forma de realización de acuerdo con la invención puede estar previsto usar el cultivo de algas en un fotobiorreactor como materia prima para una refinería de biomasa, en la que como primer producto se produce al menos una sustancia de valor, en particular al menos una sustancia de valor seleccionada del grupo compuesto por ácidos grasos esenciales, lípidos, esteroles, carotinoides, polisacáridos, proteínas, aminoácidos, ficobiliproteínas o mezclas de los mismos y se produce como segundo producto biomasa.

A este respecto, de acuerdo con la invención, preferentemente se producen del 1 al 10 % de sustancia de valor y del 90 al 99 % de biomasa, en particular del 4 al 6 % de sustancia de valor y del 94 al 96 % de biomasa.

Por tanto, los cultivos de algas cultivados de acuerdo con la invención pueden producir una relación sorprendentemente buena de sustancia de valor a biomasa.

En una forma de realización preferente de acuerdo con la invención, en el caso de la sustancia de valor se trata de al menos un ácido graso omega-3, en particular de un ácido graso omega-3. En particular, en el caso de la sustancia de valor se puede tratar de ácido eicosapentaenoico (EPA). En el caso de la sustancia de valor, no obstante, se puede tratar también por ejemplo de ácido docosahexaenoico (DHA). En una forma de realización alternativa, en el caso de la sustancia de valor se puede tratar también de un carotinoide, en particular de luteína.

Por tanto, en una forma de realización de acuerdo con la invención puede estar previsto que como educto del procedimiento de acuerdo con la invención se use la fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia, por ejemplo, agua residual o lodo de depuradora, y que se obtenga como producto una sustancia de valor, por ejemplo EPA o luteína.

Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención, en particular a un procedimiento de ingeniería en bioprocesos, en el que en una etapa principal del procedimiento se suministra al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas, para la producción de biomasa y/o al menos una sustancia de valor.

Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención en una forma de configuración como procedimiento de producción.

Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención para la producción de biomasa a partir de un cultivo de algas y/o para la producción de sustancias de valor. Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención para la producción de biomasa de un cultivo de algas. Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención para la producción de sustancias de valor.

La invención se refiere también a las biomasas y/o sustancias de valor producidas mediante el procedimiento de acuerdo con la invención.

El cultivo de algas puede usarse también para la depuración adicional de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia. El cultivo de algas se puede usar en particular para la reducción de nitrógeno, fósforo y/o la necesidad de oxígeno química (CSB) en fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia.

Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención, en particular a un procedimiento de ingeniería en bioprocesos, en el que en una etapa principal del procedimiento se suministra al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas, para la producción de suspensiones orgánicas purificadas con un contenido reducido en nitrógeno, fósforo y/o CSB.

Por tanto, la invención se refiere también a un procedimiento de acuerdo con la invención para la purificación de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia.

Las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia se pueden usar para la mejora de las condiciones de crecimiento de algas, en particular de microalgas en fotobiorreactores. Las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia se pueden usar también para la reducción de los costes de funcionamiento debidos al sustrato en el cultivo de algas, en particular de microalgas en fotobiorreactores.

El cultivo de algas se puede usar también para la unión de CO_2 libre.

En una forma de realización de la invención puede estar previsto suministrar al cultivo de algas no solo la fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios, sino adicionalmente también suministrar el CO_2 producido en la purificación biológica anaerobia de la suspensión orgánica al cultivo de algas. Por tanto, el procedimiento de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención puede contener, por ejemplo, en particular las siguientes etapas:

a) purificación biológica anaerobia de una suspensión orgánica,

b) filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia,

c) suministro del filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas,

d) suministro del CO_2 producido durante la purificación biológica anaerobia al cultivo de algas.

Opcionalmente, el metano producido en la purificación biológica anaerobia se puede quemar para la obtención de energía y el CO_2 producido en la combustión se puede suministrar así mismo al cultivo de algas.

Por tanto, el procedimiento de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención puede contener, por ejemplo, en particular las siguientes etapas:

a) purificación biológica anaerobia de una suspensión orgánica,

b) filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia,

c) suministro del filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas,

d) suministro del CO_2 producido durante la purificación biológica anaerobia al cultivo de algas,

e) combustión del metano producido en la purificación biológica anaerobia para la obtención de energía,

f) suministro del CO_2 producido en la combustión de metano al cultivo de algas.

Por tanto, el procedimiento de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención puede contener, por ejemplo, en particular las siguientes etapas:

a) purificación biológica anaerobia de una suspensión orgánica,

b) filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia,

c) suministro del filtrado de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas,

d) combustión del biogás producido en la purificación biológica anaerobia para la obtención de energía,

e) suministro del CO_2 producido en la combustión de metano al cultivo de algas.

La presente invención, por tanto, facilita un procedimiento en el que es posible una conducción en circuito de un proceso de sorción de CO_2. En la etapa del procedimiento antepuesta de la purificación biológica inorgánica se producen como productos finales una fase acuosa y en la fermentación y en la combustión del metano producido y la biomasa producida CO_2. En la etapa del procedimiento pospuesta, de hecho, el cultivo de las algas, estos productos, es decir, la fase acuosa y el CO_2, se pueden emplear como eductos, en particular también emplearse por completo. A partir de estos eductos se produce mediante el cultivo de las algas opcionalmente una sustancia de valor y en relación con esto en particular biomasa. A su vez, esta biomasa se puede usar como educto, produciéndose después de un aprovechamiento energético y posterior depuración una fase acuosa y CO_2. De este modo, el procedimiento de acuerdo con la invención se puede emplear en un circuito en el que se pueden desviar la energía formada y sustancias de valor.

Además, en el procedimiento de acuerdo con la invención se ahorran costes de funcionamiento en el cultivo de algas, en particular en fotobiorreactores, ya que los eductos CO_2 y nutrientes se producen en forma de la fase acuosa mediante la purificación biológica anaerobia de la suspensión orgánica. Así, por ejemplo, en una fábrica se pueden usar las aguas residuales que se producen allí en forma depurada como medios de cultivo para cultivos de algas, mientras que el CO_2 que se produce mediante procesos de combustión en la fábrica se puede alimentar así mismo a estos cultivos de algas.

De este modo es posible un uso económico y al mismo tiempo respetuoso con el medio ambiente de las fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia, en particular de aguas residuales o lodos de depuradora.

De acuerdo con la invención, preferentemente el cultivo de algas se cultiva en un fotobiorreactor.

El experto conoce fotobiorreactores que son adecuados para el cultivo de algas, en particular microalgas.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, el fotobiorreactor es un fotobiorreactor descrito en el documento DE 199 16 597 A1. El contenido de la divulgación del documento DE 199 16 597 A1 está incluido en su totalidad en la presente descripción de la invención.

De acuerdo con la invención, se prefiere un fotobiorreactor que presenta un espacio de reactor de material translúcido. De acuerdo con la invención, se prefiere un fotobiorreactor cuyo espacio de reactor presenta una ampliación de superficie mayor que el área envolvente de área recta de un volumen. De acuerdo con la invención, se prefiere un fotobiorreactor que presenta equipos para una conducción turbulenta del flujo. De acuerdo con la invención, se prefiere un fotobiorreactor que presenta elementos que conducen luz desde el exterior al espacio de reactor.

La presente invención se refiere también al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios de un cultivo de algas, en particular un cultivo de microalgas.

La presente invención se refiere también al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia para la mejora de las condiciones de crecimiento de algas, en particular microalgas, en fotobiorreactores.

La presente invención se refiere también al uso de algas, en particular de microalgas, para la purificación de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia, en particular de filtrado de agua residual purificada biológicamente de forma anaerobia.

La presente invención se refiere también a los productos obtenidos mediante el cultivo de acuerdo con la invención de las algas.

La presente invención se refiere también a un dispositivo de ingeniería en bioprocesos que contiene un biorreactor, por ejemplo una torre de digestión, y un fotobiorreactor.

En el caso del biorreactor se trata, en particular, de un reactor que es adecuado para la purificación biológica anaerobia de suspensiones, es decir, de un reactor anaerobio.

De acuerdo con la invención, preferentemente el dispositivo contiene un dispositivo de filtración.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de filtración es un dispositivo de microfiltración.

De acuerdo con la invención, preferentemente el dispositivo de filtración o el dispositivo de microfiltración presenta medios para la retirada de sólidos.

De acuerdo con la invención, preferentemente el biorreactor presenta una conducción de entrada al dispositivo de filtración y el dispositivo de filtración presenta una conducción de entrada al fotobiorreactor.

De acuerdo con la invención, preferentemente el biorreactor presenta una conducción de entrada de líquido al dispositivo de filtración. De acuerdo con la invención, preferentemente el dispositivo de filtración presenta una conducción de entrada de líquido al fotobiorreactor. De acuerdo con la invención, preferentemente el dispositivo de filtración presenta una conducción de entrada al biorreactor para el traspaso de los concentrados, denominados también sustancias residuales de la fermentación, que se separan del filtrado en el dispositivo de filtración. De acuerdo con la invención, preferentemente puede estar previsto también como alternativa o en particular adicionalmente que el dispositivo de filtración presente una conducción de salida para los concentrados, es decir, sustancias residuales de la fermentación.

Una forma de realización preferente es un dispositivo de ingeniería en bioprocesos que contiene un biorreactor, un dispositivo de filtración y un fotobiorreactor, presentando el biorreactor una conducción de entrada de líquido al dispositivo de filtración y presentando el dispositivo de filtración una conducción de entrada de líquido al fotobiorreactor.

Una forma de realización preferente es un dispositivo de ingeniería de procesos que contiene un biorreactor, un dispositivo de filtración y un fotobiorreactor, presentando el biorreactor una conducción de entrada de líquido al dispositivo de filtración y presentando el dispositivo de filtración una conducción de entrada de líquido al fotobiorreactor y presentando el dispositivo de filtración medios para la retirada de sólidos y/o presentando el dispositivo de filtración una conducción de entrada de sólidos al biorreactor para el traspaso de los concentrados.

De acuerdo con la invención, preferentemente el biorreactor presenta una conducción de salida de gas para la conducción de salida de gases que se producen durante la fermentación, por ejemplo, biogás, metano y/o CO_2.

De acuerdo con la invención, preferentemente el fotobiorreactor presenta una conducción de entrada de gas para la alimentación de CO_2.

En una forma de realización de acuerdo con la invención, el dispositivo presenta un espacio de combustión para la combustión del biogás o metano producido en el biorreactor. De acuerdo con la invención, preferentemente el espacio de combustión está conectado con el biorreactor a través de la conducción de salida de gas y con el fotobiorreactor a través de la conducción de entrada de gas. De acuerdo con la invención, preferentemente la combustión de los gases en el espacio de combustión sirve para la obtención de energía.

De acuerdo con la invención, preferentemente el biorreactor presenta dispositivos para el entremezclado del contenido del reactor.

La presente invención se refiere también al dispositivo de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención en una configuración especial para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención.

La presente invención se refiere también al uso de un dispositivo de ingeniería en bioprocesos de acuerdo con la invención para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención.

Las presentes descripciones en relación con formas de realización de acuerdo con la invención alternativas y/o preferentes del procedimiento de acuerdo con la invención se refieren también a formas de realización de los usos

de acuerdo con la invención, los productos de acuerdo con la invención y los dispositivos de acuerdo con la invención.

Las presentes descripciones en relación con formas de realización de acuerdo con la invención alternativas y/o preferentes de los usos de acuerdo con la invención se refieren también a formas de realización de los procedimientos de acuerdo con la invención, los productos de acuerdo con la invención y los dispositivos de acuerdo con la invención.

Las presentes descripciones en relación con formas de realización de acuerdo con la invención alternativas y/o preferentes de los dispositivos de acuerdo con la invención se refieren también a formas de realización de los usos de acuerdo con la invención, los productos de acuerdo con la invención y los procedimientos de acuerdo con la invención.

Otras formas de realización de la presente invención se encuentran en las reivindicaciones dependientes.

La invención se explica con más detalle en el siguiente ejemplo y las figuras:

La Figura 1 muestra una forma de realización de un dispositivo de acuerdo con la invención que contiene un biorreactor, un dispositivo de filtración y un fotobiorreactor.

La Figura 2 muestra comparaciones de la productividad de biomasa de *Phaeodactylum tricornutum* con distintas fuente de N dependiendo de la disponibilidad de luz relativa (Figura 2A) y de la concentración de sustancia seca (SS) en el reactor (Figura 2B).

La Figura 3 muestra el crecimiento de *Phaeodactylum tricornutum* en un reactor fotobiorreactor de placas planas de tipo *airlift* (FPA) con una intensidad de luz de 400 µE m^{-2} s^{-1}.

Ejemplo:

Dispositivo para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención

En la Figura 1 está mostrada una forma de realización ilustrativa de un dispositivo (100) de acuerdo con la invención. El dispositivo está compuesto de un biorreactor (1), un dispositivo de filtración (2) y un fotobiorreactor (3). El biorreactor (1) y el dispositivo de filtración (2) están unidos entre sí a través de una conducción (12). También el dispositivo de filtración (2) y el fotobiorreactor (3) están unidos entre sí mediante una conducción (23).

El biorreactor (1) puede estar configurado, por ejemplo, como torre de digestión y presentar dispositivos para el entremezclado del contenido del reactor, por ejemplo, un dispositivo de agitación (11). En el biorreactor (1) se purifican biológicamente de forma anaerobia suspensiones orgánicas, por ejemplo, agua residual. El biogás producido a este respecto se puede evacuar y se puede aprovechar para la obtención de energía. Se puede suministrar el CO_2 que se produce en la obtención de energía del biogás al fotobiorreactor (3), donde el CO_2 se une mediante fotosíntesis de las algas contenidas en el fotobiorreactor (3). La suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia, por ejemplo, agua residual, se conduce a través de la conducción de entrada de líquido (12) al dispositivo de filtración (2), por ejemplo, un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico. Allí tiene lugar otra depuración en la que se retiran sólidos. Los sólidos, denominados también concentrado o sustancias residuales de la fermentación, se pueden suministrar a través de la conducción de entrada (24) de nuevo al biorreactor (1) o se retiran del sistema a través de la conducción de salida (25). El filtrado se conduce a través de la conducción de entrada de líquido (23) al fotobiorreactor (3). En el fotobiorreactor (3) están cultivadas algas, por ejemplo, microalgas. En el caso del fotobiorreactor (3) se puede tratar, por ejemplo, de un reactor de placas planas de tipo *airlift* (FPA), que gracias a su construcción especial con mezcladoras estáticas (31) permite una mayor productividad con elevadas concentraciones de células.

El filtrado suministrado se usa por las algas cultivadas en el fotobiorreactor (3) como medio. Eso conduce a un crecimiento de algas particularmente bueno y, al mismo tiempo, a una depuración adicional del filtrado, ya que se retiran fosfato y nitrógeno del mismo.

Las algas se pueden usar para la obtención de biomasa o para la obtención de materias primas específicas.

Análisis de una muestra de filtrado de un proceso anaerobio

Una muestra de filtrado de una digestión bietápica de alta carga para lodo de depuradora (TBB 6.12.08/29.4.08) se ensayó en relación con su contenido en fosfato, nitrógeno de amonio y CSB. El análisis dio los siguientes valores:

P04-P:	26,25 mg/l
Nitrógeno de amonio:	855 mg/l

CSB:	200 mg/l
pH:	7,8
Dureza del agua:	14,2 °dH
Ca:	71,8 mg/l
Mg:	17,8 mg/l

En el caso de una demanda promedio de NH_4 de 30 mg/DO (densidad óptica) para el crecimiento de las microalgas *Phaeodactylum tricornutum*, mediante el uso de filtrado de agua residual como constituyente de medios con el 20 % de sustitución de medio se puede conseguir un aumento de la DO de 7,8 unidades por día en el cultivo de algas.

Cultivo de microalgas con distintas fuentes de nitrógeno conocidas en comparación con una muestra de filtrado de un proceso anaerobio

Se cultivaron microalgas del género *Phaeodactylum tricornutum* en un fotobiorreactor de FPA. En distintos momentos se cambió la fuente de nitrógeno disponible para las microalgas. En los primeros nueve días sirvió cloruro de amonio como fuente de nitrógeno. En los días 10 a 43 sirvió carbonato de amonio como fuente de nitrógeno. En los días 44 a 60 sirvió la muestra de filtrado que se ha mencionado anteriormente de un proceso anaerobio como fuente de nitrógeno. En los días 61 a 74 sirvió carbonato de amonio como fuente de nitrógeno. También se empleó urea como fuente de nitrógeno.

Los índices de producción del cultivo de algas se midieron a lo largo de distintos periodos de tiempo.

Los resultados del ensayo se resumieron en las Figuras 2 y 3. En las Figuras 2A y 2B está dibujada la línea de tendencia polinómica de los puntos de medición para carbonato de amonio. Los puntos de medición para el agua residual se encuentran por encima de esta línea de tendencia.

Se mostró que con el uso de la muestra de filtrado de un proceso anaerobio como fuente de nitrógeno se consiguieron los mejores resultados. Mediante el uso de la muestra de filtrado se pudo conseguir una elevada productividad de biomasa con una concentración de sustancia seca al mismo tiempo alta, a pesar de que la disponibilidad de luz relativa más bien era baja.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de ingeniería en bioprocesos que contiene la etapa: suministro de al menos una fase acuosa de al menos una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios a un cultivo de algas, filtrándose al menos una vez la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas con un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico para la separación de posibles sólidos orgánicos y cultivándose el cultivo de algas en un fotobiorreactor.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, separándose la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro a un cultivo de algas de la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia.

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, procediendo la fase acuosa de un proceso de fermentación de metano.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, filtrándose al menos una vez la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en la etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas con un filtro de discos rotatorios dinámico, un filtro polimérico dinámico o un filtro de lecho profundo cerámico.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, tratándose en el caso de la suspensión orgánica no purificada de lodo de depuradora, basura orgánica, aguas residuales de la industria alimentaria, aguas residuales del desecho de agua residual comunitaria y/o aguas residuales de la fermentación de materias primas renovables.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, conteniendo el medio total usado para el cultivo de algas al menos el 50 % en peso de la fase acuosa como constituyente de medios.

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, siendo el cultivo de algas un cultivo de microalgas.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, tratándose en el caso del cultivo de algas de un cultivo de *Phaeodactylum tricornutum*, o de un cultivo de *Haematococcus pluvialis*, o de un cultivo de *Chlorella sorokiniana*, o de un cultivo de *Chlorella vulgaris*, o de un cultivo de *Platymonas subcordiformis*, o de un cultivo de *Tetraselmis suecica*, o de un cultivo de *Nannochloropsis oculata*, o de un cultivo de *Nannochloropsis limnetica*, o de un cultivo de *Phormidium* spec., o de un cultivo de *Pseudoanabaena* spec., o de un cultivo de *Dunaliella* spec., o de un cultivo de *Monodus subterraneus* o de un cultivo de *Isochrysis* spec.

9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes para la producción de biomasa de un cultivo de algas y/o para la producción de sustancias de valor y/o para la purificación de fases acuosas de suspensiones orgánicas purificadas biológicamente de forma anaerobia.

10. Uso de una fase acuosa de una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia como constituyente de medios de un cultivo de algas cultivado en un fotobiorreactor, filtrándose al menos una vez la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas con un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico para la separación de posibles sólidos orgánicos.

11. Uso de una fase acuosa de una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia para la mejora de las condiciones de crecimiento de algas en fotobiorreactores, filtrándose al menos una vez la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas con un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico para la separación de posibles sólidos orgánicos.

12. Uso de algas cultivadas en un fotobiorreactor para la purificación de una fase acuosa de una suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia, en particular de filtrado de agua residual purificada biológicamente de forma anaerobia, filtrándose al menos una vez la suspensión orgánica purificada biológicamente de forma anaerobia y/o la fase acuosa en una etapa adicional antes del suministro al cultivo de algas con un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico para la separación de posibles sólidos orgánicos.

13. Dispositivo (100) de ingeniería en bioprocesos que contiene un biorreactor (1), un dispositivo de filtración (2) y un fotobiorreactor (3), presentando el biorreactor (1) una conducción de entrada de líquido (12) al dispositivo de filtración (2) y presentando el dispositivo de filtración (2) una conducción de entrada de líquido (23) al fotobiorreactor (3), siendo el dispositivo de filtración (2) un filtro de discos rotatorios, un filtro polimérico o un filtro de lecho profundo cerámico para la separación de posibles sólidos orgánicos.

14. Dispositivo (100) de acuerdo con la reivindicación 13, presentando el dispositivo de filtración (2) medios (25) para la retirada de sólidos.

15. Uso de un dispositivo (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 14 para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9.

Figura 1

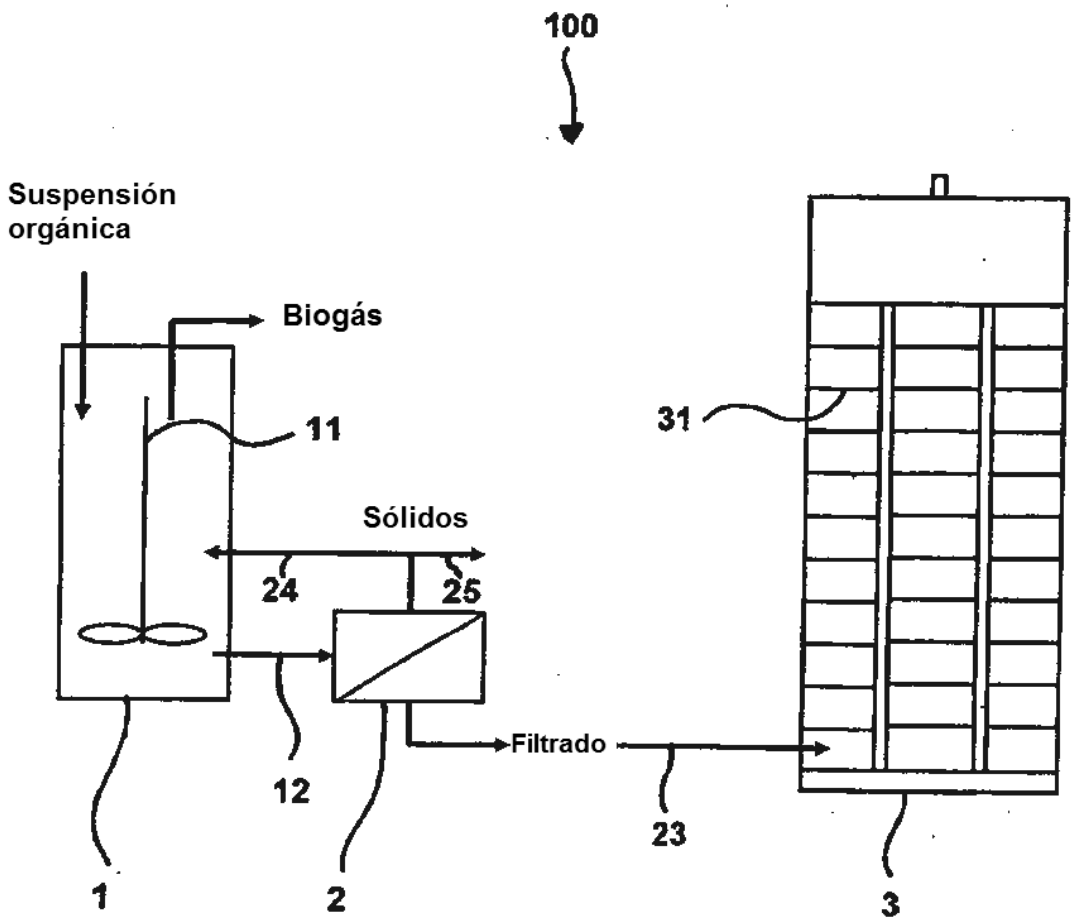
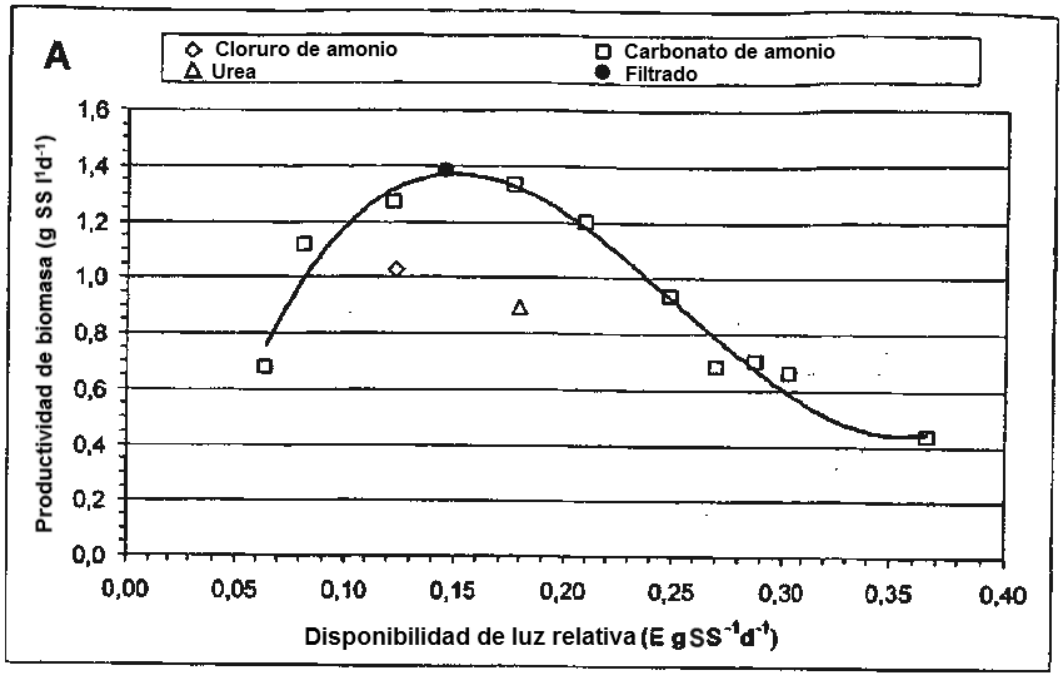

100
Suspensión orgánica
Biogás
11
Sólidos
24
25
31
Filtrado
12
23
1
2
3

Figura 2


A
Cloruro de amonio
Urea
Carbonato de amonio
Filtrado
Productividad de biomasa (g SS l-1d-1)
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
Disponibilidad de luz relativa (E gSS-1d-1)

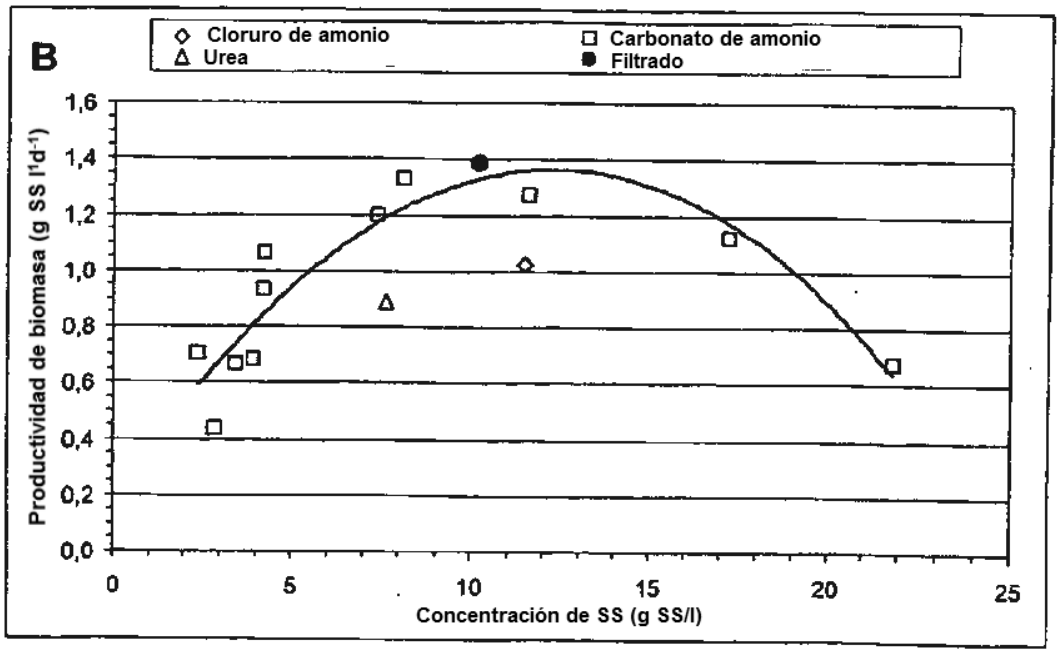
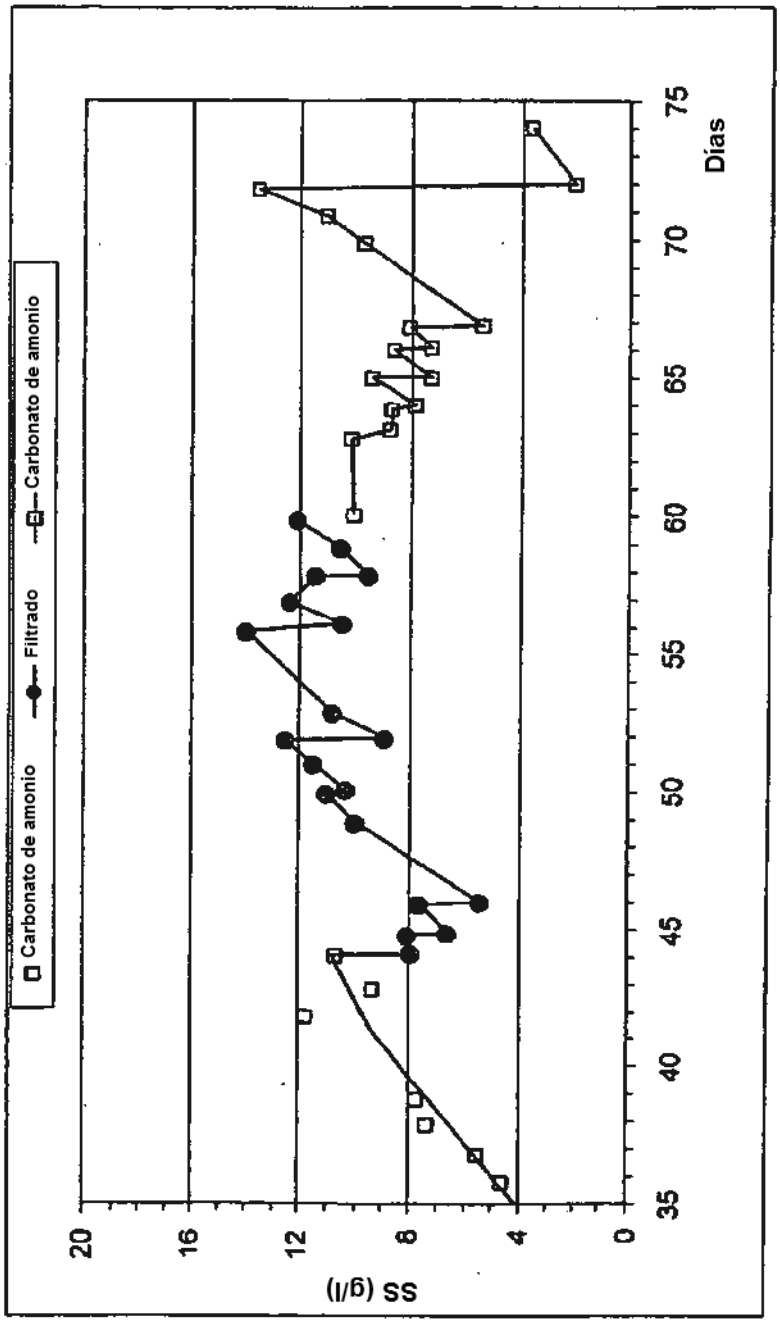

B
Cloruro de amonio
Urea
Carbonato de amonio
Filtrado
Productividad de biomasa (g SS l-1d-1)
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
5
10
15
20
25
Concentración de SS (g SS/l)

Figura 3


Carbonato de amonio
Filtrado
Carbonato de amonio
ss (g/l)
20
16
12
8
4
0
35
40
45
50
55
60
65
70
75
Dias