

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 064**

51 Int. Cl.:

C12P 19/04 (2006.01)

C12P 19/14 (2006.01)

C12P 5/02 (2006.01)

C12N 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2016 PCT/TR2016/050156**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2016 WO16209183**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2016 E 16741716 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 3314003**

54 Título: **Hidrólisis de celulosa de lodo de papel para la producción de biogás**

30 Prioridad:

24.06.2015 TR 201507790

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.07.2019

73 Titular/es:

**EPISOME BIYOTEKNOLOJIK ÜRÜNLER SANAYI
VE TICARET ANONIM SİRKETİ (100.0%)
Gebze OSB Mahallesi Kemal Nehrozoglu Cad. No:
507/1
Gebze/Kocaeli, TR**

72 Inventor/es:

**BALABAN, MURAT y
KILINC, MURAT BAHADIR**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 720 064 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

Hidrólisis de celulosa de lodo de papel para la producción de biogás

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para la hidrólisis de celulosa y producción de biogás a partir de celulosa hidrolizada.

Antecedentes de la invención

10 Es importante optimizar la economía de los procesos de producción de biogás que recuperan los materiales de entrada que contienen celulosa tales como lodo de papel, o corrientes intermedias del proceso que contienen celulosa al menos parcialmente hidrolizada. Tales procesos tratan habitualmente con grandes volúmenes debido al alto contenido de agua en las corrientes. En consecuencia, capacidades limitadas en el tratamiento de residuos en instalaciones a gran escala se corresponden con altos costes de instalación debido al alto contenido de agua de manera volumétrica en el lodo que contiene celulosa.

15 El documento JP S53 98 305 A describe un método de hidrólisis de celulosa que incluye una etapa que comprende: poner en contacto un medio de fermentación que comprende lodos de papel como fuente de carbono con celulosa obtenida en el sitio a partir de bacterias de celulosa.

La celulosa es un sustrato difícil de digerir por los microorganismos que normalmente se encuentran en la flora de reactores de biogás. La baja digestibilidad de la celulosa como tal la convierte en una mala fuente de energía y carbono, dando como resultado bajos rendimientos en cuanto a producción de biogás.

20 El contenido bacteriano de las mezclas de materiales procesados (por ejemplo, durante la aireación en un recipiente sin tapa) es difícil de controlar frente a la propagación de enfermedades y olores, al permitir el crecimiento de microorganismos no deseados que provocan enfermedades y olores. Por tanto, la invasión microbiana es una preocupación realista, siempre y cuando se utilicen métodos de eliminación de desechos aerobios para la eliminación de lodos de papel. Por tanto, deben buscarse métodos adecuados para procesar tales fluidos microbianos con un contenido de agua disminuido.

25 También el alto contenido de agua en tales mezclas acuosas que contienen celulosa requiere grandes volúmenes de reactor y también bajas velocidades de reacción debido a la baja concentración de sustancias que reaccionan. Existe un inconveniente adicional que requiere mejoras, que las corrientes de desecho que contienen celulosa no procesada permiten solo tasas bajas de liberación de biogás, principalmente debido a limitaciones de transferencia de masa relacionadas con la baja fluidez. La obtención de altos rendimientos con bajos costes de proceso es difícil con los procesos actuales de producción de biogás que usan corrientes de entrada relacionadas con lodos de papel.

30 Otro inconveniente del uso de materiales a base de celulosa como materia prima de biogás es la baja digestibilidad de la celulosa por los consorcios bacterianos que producen biogás. Las bacterias que se especializan en la producción de metano son malos digestores de celulosa como tales.

35 El calentamiento y enfriamiento de corrientes con alto contenido de agua requieren grandes cantidades de energía. Además, para obtener una fluidez adecuada, las corrientes se diluyen incluso con grandes cantidades de agua dulce, que se corresponden con métodos no respetuosos con el medio ambiente, lo que también es una preocupación muy importante. El alto contenido de agua de las corrientes que van a airearse también aumenta los costos de aireación de las mismas.

40 Las técnicas de generación de aceite sintético tales como CatLiq, gasificación térmica y pirólisis requieren materiales fluidos bombeados en recipientes de muy alta presión. El lodo de papel, tal como está en forma semiseca (desde el 10% de contenido de materia seca y por encima) forma agregados y no se comporta como un fluido bombeable.

El lodo de papel no puede usarse como corrector de suelo o fertilizante directamente, debido a los niveles desequilibrados de nitrógeno, fósforo y potasio, y las largas cadenas de celulosa hacen que el mezclado del lodo de papel con el suelo sea más difícil.

45 Objetos de la invención

El objeto principal de la presente invención es superar las desventajas mencionadas anteriormente de la técnica anterior.

Otro objeto de la presente invención es la provisión de un método para obtener un producto intermedio a partir de lodo de papel que va a recuperarse en el proceso de producción de biogás.

50 Un objeto adicional de la presente invención es la provisión de un método para obtener un proceso de producción de biogás de alto rendimiento y bajo coste a partir de lodo de papel.

Otro objetivo de la presente invención es la provisión de un método para obtener un producto intermedio a partir de lodo de papel que va a usarse en la producción de aceite sintético por medio de procesos de pirólisis, gasificación térmica o CatLiq™.

5 Un objeto adicional de la presente invención es la provisión de un método para obtener un producto que va a usarse en la preparación de compost a partir de lodo de papel de una manera acelerada.

Sumario de la invención

10 La presente invención propone un método de hidrólisis de celulosa que incluye poner en contacto un medio de fermentación que comprende lodo de papel como fuente de carbono con celulosa obtenida en el sitio a partir de bacterias de celulosa, hasta que el número medio de monómeros de glucosa de las moléculas de celulosa en el medio de fermentación disminuya hasta un intervalo de entre 5 y 500.

Descripción detallada de la invención

La presente invención propone un método de hidrólisis de celulosa que incluye una etapa (Y) que comprende:

15 poner en contacto un medio de fermentación que comprende lodo de papel como fuente de carbono con celulosa obtenida en el sitio a partir de bacterias de celulosa, hasta que el número medio de monómeros de glucosa de las moléculas de celulosa en el medio de fermentación disminuya hasta un intervalo de entre 5 y 500,

en el que el método comprende además la etapa (X) anterior a la etapa (Y):

X) producción de bacterias que comprende las etapas secuenciales de:

20 a) cultivo de bacterias celulolíticas a partir de reservas ultracongeladas en placas de agar nutriente o placas de caldo Luria, e incubarlas a una temperatura dentro del intervalo de entre 30°C y 40°C durante una primera duración dentro del intervalo de entre 1 día y 3 días,

b) inoculación de un cultivo iniciador de la fermentación en forma líquida con tres o más colonias tomadas de dichas placas,

25 c) incubación del cultivo iniciador de la fermentación a una temperatura dentro del intervalo de entre aproximadamente 30°C y aproximadamente 40°C durante una duración dentro del intervalo de entre aproximadamente 1 día y aproximadamente 4 días,

d) incubación de un cultivo de producción durante un periodo dentro del intervalo de entre 36 horas y 72 horas, que comienza mezclando el cultivo iniciador de la fermentación en una cantidad dentro del intervalo de entre el 1% en peso y el 10% en peso con respecto al peso total del cultivo de producción,

30 se recoge la biomasa tras el final de la etapa (d) como un producto fluido, mediante aplicación de una fuerza centrífuga correspondiente a una aceleración sobre el cultivo de producción dentro de un intervalo de entre 29000 m/s² y 80000 m/s², opcionalmente seguido por secado de la biomasa bajo circulación de aire a una temperatura dentro del intervalo de entre 40°C y 50°C hasta que la razón de materia sólida en la biomasa alcanza al menos el 90% en peso para obtener un producto sólido,

35 y la etapa (Y) comprende una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando lodo de papel con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 25% en peso y el 40% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:

- de 5 kg a 10 kg de licor de maceración del maíz, o de 12,5 kg a 25 kg de melazas de remolacha, o de 2,5 kg a 5 kg de extracto de levadura, o de 5 kg a 10 kg de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos,

40 - de 50 g a 250 g de MgSO₄,

- de 100 g a 200 g del producto sólido, o de 25 litros a 50 litros del producto fluido, además en el que dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de entre 30°C y 40°C durante un periodo de entre 24 horas y 72 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa.

45 Las bacterias celulolíticas pueden ser *Cellulomonas*, por ejemplo *Cellulomonas fimi*. En una alternativa preferida, en la etapa (d), el cultivo de producción comprende los componentes a continuación antes del mezclado con el cultivo iniciador de la fermentación:

- de melazas de remolacha o melazas de caña de azúcar en una cantidad del 0,5% en peso al 4% en peso, con respecto al volumen total del cultivo de producción,

50 - fertilizante NPK (7-7-7) en una cantidad del 0,5% en peso al 1,5% en peso, con respecto al peso total del cultivo de producción,

- licor de maceración del maíz en una cantidad del 0,15% en peso al 0,5% en peso, o extracto de levadura en una cantidad del 0,05% en peso al 0,25% en peso, o desechos de levadura de cerveza en una cantidad del 0,05% en peso al 0,25% en peso, con respecto al peso total del cultivo de producción,

5 y en el cultivo, el pH se mantiene a un valor de alrededor de 7,0, la temperatura se mantiene dentro de un intervalo de entre 30°C y 40°C.

Se recoge la biomasa tras el final de la etapa (d) como un producto fluido, mediante aplicación de una fuerza centrífuga correspondiente a una aceleración sobre el cultivo de producción dentro de un intervalo de entre 29000 m/s² y 80000 g m/s², valores que corresponden a aproximadamente 3000xg y 8000xg donde g simboliza la aceleración de la gravedad (en la que $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$).

10 Preferiblemente, el cultivo iniciador comprende caldo Luria, caldo nutriente; o más preferiblemente un medio nutritivo acuoso (denominado "EpiMilk" por los inventores) preparado mezclando del 0,5% en peso al 2% en peso de leche en polvo, del 0,5% en peso al 2% en peso de polvo de suero lácteo, del 0,5% en peso al 1% en peso de cloruro de sodio y del 0,05% en peso al 0,25% en peso de licor de maceración del maíz, con respecto al peso total del medio nutritivo, con un fluido acuoso. Este medio es una mezcla de bajo coste que proporciona una alta eficacia en
15 crecimiento de cultivos bacterianos.

Se realizó una aplicación a modo de ejemplo según el método anterior, y se presentó como "Ejemplo A2" para obtener una producción (A).

Parte de la producción (A) de este método puede reservarse para usarse en la hidrólisis de lotes adicionales, mediante lo cual los microorganismos en tal parte se hacen crecer en tales lotes adicionales sin suministro de
20 microorganismos adicionales. Para este fin, la etapa (Y) comprende una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando lodo de papel con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 25% en peso y el 40% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:

25 - de 300 kg a 350 kg de la producción (A), que contiene microorganismos celulolíticos (bacterias celulolíticas, preferiblemente *Cellulomonas*);

- de 6,5 kg a 13 kg de licor de maceración del maíz, o de 16,5 kg a 33 kg de melazas de remolacha, o de 3,75 kg a 6,5 kg de extracto de levadura, o de 6,5 kg a 13 kg de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos;

- de 65 g a 350 g de MgSO₄;

30 - de 6,5 g a 13 g del producto sólido, o de 1,65 litros a 3,3 litros del producto fluido;

en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de entre 30°C y 40°C durante un periodo de entre 24 horas y 72 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto hidrolizado (B) para su uso en la producción de biogás.

35 También se da a conocer un método (que se presentó como aplicación a modo de ejemplo denominada "Ejemplo A3"), la etapa (Y) comprende una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando lodo de papel con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 30% en peso y el 50% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:

40 - de 20 kg a 40 kg de licor de maceración del maíz, o de 40 kg a 80 kg de melazas de remolacha, o de 10 kg a 20 kg de extracto de levadura, o de 20 kg a 40 kg de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos;

- de 100 g a 500 g de MgSO₄;

- de 200 g a 400 g del producto sólido, o de 50 litros a 100 litros del producto fluido;

- agua en una cantidad para reducir el contenido sólido de la mezcla acuosa hasta un intervalo de entre el 8% en peso y el 15% en peso;

45 en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de entre 30°C y 40°C durante un periodo de entre 24 horas y 72 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto (C). Entonces la mezcla acuosa se somete a una separación sólido-líquido para la obtención de una fracción de celulosa hidrolizada que contiene una mezcla con bajo contenido líquido y de una fracción fluida que contiene enzimas celulolíticas y microorganismos celulolíticos. En otras palabras, la mezcla acuosa se somete a
50 separación sólido-líquido por medio de una prensa de filtro o decantador, dejando las enzimas y microorganismos celulolíticos en la fracción líquida, constituyendo un producto líquido. Los sólidos separados están compuestos por lodo de papel que contiene celulosa hidrolizada, que puede usarse en la producción de biogás (y otros procesos como compostaje, aceite sintético, etc.).

- Parte del producto (C) puede reservarse mediante separación usando un separador (por ejemplo una prensa de filtro o un decantador) para separar una fracción líquida que contiene microorganismos celulolíticos (bacterias) (producto C1) que va a usarse en la hidrólisis de lotes adicionales, mediante lo cual los microorganismos en tal parte se hacen crecer en tales lotes adicionales sin suministro de microorganismos adicionales. La parte sólida obtenida (por ejemplo en una prensa de filtro tal como se mencionó anteriormente) contiene lodo de papel hidrolizado, que puede usarse en la producción de biogás (como producto C2). En tal caso, la etapa (Y) comprende una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando lodo de papel con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 30% en peso y el 50% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:
- 5 - de 2000 kg a 3000 kg del producto (C1), que contiene microorganismos celulolíticos;
 - de 400 kg a 600 kg de agua;
 - de 20 kg a 40 kg de licor de maceración del maíz, o de 40 kg a 80 kg de melazas de remolacha, o de 10 kg a 20 kg de extracto de levadura, o de 20 kg a 40 kg de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos;
 - de 100 g a 500 g de $MgSO_4$;
 - 10 - de 16 g a 32 g del producto sólido, o de 4 litros a 8 litros del producto fluido;
- en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de entre 30°C y 40°C durante un periodo de entre 24 horas y 72 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto hidrolizado (D) para su uso en la producción de biogás.
- Por consiguiente, se da a conocer el uso de los productos hidrolizados (B o D) en la producción de biogás (que se presentó como "Ejemplo B1"). Para este fin, se propone una etapa adicional (Z), que comprende mezclar el producto hidrolizado (B y/o D) con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 30% en peso y el 40% en peso (es decir el contenido sólido del producto B y/o D se dispone a tales valores mediante adición o eliminación de agua), con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el producto hidrolizado, cantidades de los componentes adicionales que se dan por kilogramo del producto hidrolizado:
- 20 - de 0,5 kg a 1,5 kg de estiércol avícola con del 20% en peso al 30% en peso de contenido sólido,
 - de 20 kg a 30 kg de un lodo de reactor de biogás con del 7% en peso al 8% en peso de contenido sólido en el que además esta mezcla se incuba en condiciones anaerobias a una temperatura de entre 35°C y 40°C durante un periodo de entre 7 días y 12 días, y preferiblemente mezclado intermitentemente.

Ejemplos

- 30 La invención se ha descrito con referencia a diversas realizaciones de ejemplo.
- Ejemplo A1 (ejemplo de referencia)
- Como etapa (X), se realizó una producción de bacterias antes de la etapa (Y) siguiendo las etapas secuenciales (correspondientes a las etapas (a) a (d)):
- 35 a) se cultivaron bacterias de reservas ultracongeladas a -80°C en placas de agar nutriente, y se incubaron a 35°C durante una primera duración de 2 días,
 - b) se inoculó un cultivo iniciador de la fermentación en forma líquida con tres colonias tomadas de dichas placas,
 - c) se incubó el cultivo iniciador de la fermentación a 35°C durante una duración de 3 días,
 - d) se incubó un cultivo de producción durante un periodo de 48 horas, que comienza mezclando el cultivo iniciador de la fermentación en una cantidad del 5% en peso con respecto al peso total del cultivo de producción.
- 40 En la etapa (d), el cultivo de producción comprendía los componentes a continuación antes del mezclado con el cultivo iniciador de la fermentación:
- melazas de remolacha en una cantidad del 2,5% (v/v), con respecto al volumen total del cultivo de producción,
 - fertilizante NPK (7-7-7) en una cantidad del 1% en peso, con respecto al peso total del cultivo de producción,
 - licor de maceración del maíz en una cantidad del 0,35% en peso con respecto al peso total del cultivo de producción,
- 45 y en el cultivo, el pH se mantiene a un valor de alrededor de 7,0, la temperatura se mantiene a aproximadamente 35°C. Se recoge la biomasa tras el final de la etapa (d) como un producto fluido, mediante aplicación de una fuerza centrífuga correspondiente a una aceleración sobre el cultivo de producción de aproximadamente 5000 g

(correspondiente a aproximadamente 49050 m/s^2 , en donde la aceleración de la gravedad g corresponde a $9,81 \text{ m/s}^2$). Esto va seguido por secado de la biomasa bajo circulación de aire a aproximadamente 47°C hasta que la razón de materia sólida en la biomasa alcanza el 90% en peso para obtener un producto sólido.

- 5 Como cultivo iniciador, se usó el medio nutritivo acuoso (denominado "EpiMilk" por los inventores) que se prepara mezclando el 1% en peso de leche en polvo, el 1% en peso de polvo de suero lácteo, el 0,5% en peso de cloruro de sodio y el 0,15% en peso de licor de maceración del maíz, con respecto al peso total del medio nutritivo, con un fluido acuoso.

Ejemplo A2

- 10 En este ejemplo, la etapa (Y) comprendía una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando 20 kg de lodo de papel con un contenido sólido del 30% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel:

- 150 g de licor de maceración del maíz;
- 3 g de MgSO_4 ;
- 3 g del producto sólido;

- 15 y dicha mezcla acuosa se aireó a una temperatura de 35°C durante un periodo de 48 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener una producción (A) (es decir una sustancia celulósica hidrolizada) que contiene microorganismos celulolíticos.

- 20 Parte de la producción (A) se reservó para usarse en la hidrólisis de un lote adicional, mediante lo cual los microorganismos en esa parte se hicieron crecer en el lote adicional sin requerir que se suministraran microorganismos adicionales. Para este fin, la etapa (Y) comprendía una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando 15 kg de lodo de papel con un contenido sólido del 35% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel:

- 5 kg de la salida (A), que contiene microorganismos celulolíticos;
- 150 g de licor de maceración del maíz;
- 25 - 3 g de MgSO_4 ;
- 150 g del producto sólido;

en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de 35°C durante un periodo de 48 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto hidrolizado (B) para su uso en la producción de biogás.

- 30 Ejemplo A3 (ejemplo de referencia)

Como ejemplo para someter a prueba este último método, la etapa (Y) comprendía una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando 10 kg de lodo de papel con un contenido sólido del 40% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:

- 35 - 300 g de licor de maceración del maíz;
- 3 g de MgSO_4 ;
- 1 litro del producto fluido (correspondiente a aproximadamente 4 gramos de producto secado o sólido);
- 30 kg de agua para reducir el contenido sólido de la mezcla acuosa hasta aproximadamente el 10% en peso;

- 40 en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de 35°C durante un periodo de 48 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto (C) (es decir, celulosa hidrolizada) que contiene microorganismos celulolíticos.

- 45 Parte del producto (C) de esta versión del método se reservó para usarse en la hidrólisis de un lote adicional, mediante lo cual los microorganismos en esa parte se hicieron crecer en el lote adicional sin requerir que se suministraran microorganismos adicionales. Para este fin, la etapa (Y) comprendía una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando 10 kg de lodo de papel con un contenido sólido del 40% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel:

- 25 kg del producto (C), que contiene microorganismos celulolíticos;

- 5 kg de agua de pozo (que se considera adecuada que se reemplace por agua de ciudad o agua desmineralizada en todos los casos en los métodos según la presente invención);

5 - 200 g de licor de maceración del maíz (que se considera adecuado que se reemplace por 400 g o más de melazas de remolacha, o 100 g o más de extracto de levadura, o 100 g o más de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos en todos los casos en los métodos según la presente invención);

- 3 g de $MgSO_4$;

10 - 160 mg del producto sólido, (que se considera adecuado que se reemplace por aproximadamente 4 litros o más del producto fluido en todos los casos en los métodos según la presente invención); y luego esta mezcla acuosa se aireó a una temperatura de 35°C durante un periodo de 48 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa, para obtener un producto hidrolizado (D) para su uso en la producción de biogás.

Ejemplo B1 (ejemplo de referencia)

15 En aras del equilibrio de carbono y nitrógeno, se mezclaron 3,75 kg de lodo de papel rico en carbono con el 35% en peso de materia sólida con respecto al peso total del lodo de papel, con 3,75 kg de estiércol de pollo rico en nitrógeno con el 25% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del estiércol de pollo. Se añadió esta
20 mezcla a 92,5 kg de un lodo de reactor de biogás con el 7,5% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del lodo de reactor de biogás, por tanto se obtiene una mezcla con un peso total de 100 g; y luego se incubó en condiciones anaerobias a una temperatura de 39°C durante un periodo de 10 días, y se mezcla intermitentemente durante periodos de 1 minuto cada 1 hora. Se obtuvieron 880 litros de producción de biogás a lo largo del experimento, a partir de $3,75 \cdot 35 / 100 = 1,3125$ kg de contenido sólido a base de celulosa, lo que corresponde a
25 aproximadamente 670 litros de producción de biogás por kg de contenido sólido a base de celulosa. Esto muestra una gran mejora con respecto a los ejemplos comparativos, especialmente con respecto al ejemplo comparativo C2 en donde se usa urea artificial en lugar del producto B y/o D.

Ejemplo comparativo C1

25 Se diseñó un ejemplo comparativo para evaluar la capacidad del lodo de papel para convertirse en biogás sin adición de producto hidrolizado (B y/o D). Para este fin, se añadieron 5 kg de lodo de papel rico en carbono con el 35% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del lodo de papel a 95 kg de un lodo de reactor de biogás con el 7,5% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del lodo de reactor de biogás, por tanto se
30 obtiene una mezcla con un peso total de 100 g; y luego se incubó en condiciones anaerobias a una temperatura de 39°C durante un periodo de 20 días, y se mezcla intermitentemente durante 1 minuto cada 1 hora. Se obtuvieron 550 litros de biogás a lo largo de todo el experimento, a partir de $5 \cdot 35 / 100 = 1,75$ kg de contenido sólido a base de celulosa, lo que corresponde a sólo aproximadamente 314 litros de producción de biogás por kg de contenido sólido a base de celulosa. Por tanto, se produce una conversión significativamente menor y más lenta en biogás en el ejemplo comparativo C1 en comparación con el ejemplo B1.

Ejemplo comparativo C2

35 Se diseñó un ejemplo comparativo adicional para evaluar la capacidad del lodo de papel para convertirse en biogás mediante la adición de una fuente de carbono y nitrógeno artificial (urea), en lugar de la adición de producto hidrolizado (B y/o D). Para este fin, se mezclaron 5 kg de lodo de papel rico en carbono con el 35% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del lodo de papel con 37,5 g de urea, y luego se añadieron a 95 kg de un
40 lodo de reactor de biogás con el 7,5% en peso de contenido sólido con respecto al peso total del lodo de reactor de biogás, por tanto se obtiene una mezcla con un peso total de aproximadamente 100 g; y luego se incubó en condiciones anaerobias a una temperatura de 39°C durante un periodo de 10 días, y se mezcla intermitentemente durante 1 minuto cada 1 hora. Se obtuvieron 650 litros de biogás a lo largo de todo el experimento, a partir de $5 \cdot 35 / 100 = 1,75$ kg de contenido sólido a base de celulosa, lo que corresponde a aproximadamente 371 litros de producción de biogás por kg de contenido sólido a base de celulosa. Por tanto, se produce una conversión todavía
45 significativamente menor en biogás en el ejemplo comparativo C2 en comparación con el ejemplo B1.

50 La presente invención permite lograr una baja viscosidad (relacionada con una capacidad de bombeo mejorada) en suspensiones que contienen altas concentraciones de celulosa, lo que es importante para disminuir el uso innecesario de agua, para disminuir el consumo de energía en los procesos y permite una capacidad de bombeo (es decir, fácil transporte del material por medio de bombas) en entornos industriales y además permite un mejor empaquetamiento del sustrato cuando se prensa usando por ejemplo una prensa de filtro o de cinta. La presente invención además es ventajosa al disminuir los requisitos volumétricos y finalmente aumentar el rendimiento de biogás por unidad de materia orgánica.

55 Que el número medio de monómeros de glucosa de las moléculas de celulosa en el medio de fermentación disminuya hasta un intervalo de entre 5 y 500 puede ir seguido por medición de la viscosidad del medio. En los experimentos, se observó que la viscosidad dinámica del medio (que tiene un contenido en materia seca del 10% en peso) disminuyó desde aproximadamente 30000 cP (centiPoise, en donde un Poise corresponde a $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) hasta aproximadamente un intervalo de entre 3000 y 4000 cP a lo largo de todo el proceso de hidrólisis. Incluso es

- 5 posible reducir la viscosidad dinámica del medio a lo largo de todo el proceso según la presente invención, hasta aproximadamente una centésima de la del comienzo del proceso. Además, algunos factores tales como la presencia de arcilla, etc. en el medio pueden dar como resultado desviaciones de la validez de los valores de viscosidad medidos. El número medio de subunidades de glucosa (número medio de monómeros de glucosa) también puede medirse de manera más realista mediante diversos métodos analíticos tales como espectroscopía de masas.
- 10 Tal como se logró con el método según la presente invención, la disminución de la viscosidad del material fluido que contiene celulosa y por tanto volverlo bombeable puede hacer que las técnicas de generación de aceite sintético como CatLiq, gasificación térmica y pirólisis sean más viables. Al procesar el lodo de papel a través de una cámara de digestión anaerobia como en el método de presente invención, el lodo de papel se convierte en compost equilibrado nutricionalmente, que soporta el crecimiento microbiano en el suelo.
- Por tanto, se logran los siguientes objetos mediante la presente invención:
- superar las desventajas mencionadas anteriormente de la técnica anterior,
 - la provisión de:
 - 15 - un método para obtener un producto intermedio a partir de lodo de papel que va a recuperarse en el proceso de producción de biogás
 - un método para obtener un proceso de alto rendimiento y bajo coste de producción de biogás a partir de lodo de papel
 - un método respetuoso con el medio ambiente con consumo de agua disminuido en la hidrólisis de celulosa y la recuperación de biogás a partir de la misma
 - 20 - aireación facilitada de lodo que contiene celulosa gracias a su contenido en agua disminuido,
 - riesgo reducido de invasión microbiana gracias a un lodo que contiene celulosa de viscosidad reducida como resultado de un contenido en agua disminuido,
 - costes de instalación disminuidos y alta capacidad de tratamiento de desechos en instalaciones de menor escala gracias a un contenido en agua disminuido de manera volumétrica en el lodo que contiene celulosa,
 - 25 - rendimiento aumentado en la producción de biogás a partir de material celulósico, gracias a las cadenas de celulosa digeridas previamente que acaban en cadenas de celulosa más cortas y una mayor utilización por la flora microbiana que produce biogás.

REIVINDICACIONES

1. Método de hidrólisis de celulosa que incluye una etapa (Y) que comprende: poner en contacto un medio de fermentación que comprende lodo de papel como fuente de carbono con celulosa obtenida en el sitio a partir de bacterias de celulosa, hasta que el número medio de monómeros de glucosa de las moléculas de celulosa en el medio de fermentación disminuya hasta un intervalo de entre 5 y 500;
- 5 en el que el método comprende además la etapa (X) antes de la etapa (Y):
- X) producción de bacterias que comprende las etapas secuenciales de:
- a) cultivo de bacterias celulolíticas a partir de reservas ultracongeladas en placas de agar nutriente o placas de caldo Luria, e incubarlas a una temperatura dentro del intervalo de entre 30°C y 40°C durante una primera duración dentro del intervalo de entre 1 día y 3 días,
- 10 b) inoculación de un cultivo iniciador de la fermentación en forma líquida con tres o más colonias tomadas de dichas placas,
- c) incubación del cultivo iniciador de la fermentación a una temperatura dentro del intervalo de entre aproximadamente 30°C y aproximadamente 40°C durante una duración dentro del intervalo de entre aproximadamente 1 día y aproximadamente 4 días,
- 15 d) incubación de un cultivo de producción durante un periodo dentro del intervalo de entre 36 horas y 72 horas, que comienza mezclando el cultivo iniciador de la fermentación en una cantidad dentro del intervalo de entre el 1% en peso y el 10% en peso con respecto al peso total del cultivo de producción;
- se recoge la biomasa tras el final de la etapa (d) como un producto fluido, mediante aplicación de una fuerza centrífuga correspondiente a una aceleración sobre el cultivo de producción dentro de un intervalo de entre 29000 m/s² y 80000 m/s²; opcionalmente seguido por secado de la biomasa bajo circulación de aire a una temperatura dentro del intervalo de entre 40°C y 50°C hasta que la razón de materia sólida en la biomasa alcanza al menos el 90% en peso para obtener un producto sólido; y
- 20 la etapa (Y) comprende una etapa de hidrólisis que tiene lugar en una mezcla acuosa preparada mezclando lodo de papel con un contenido sólido dentro del intervalo de entre el 25% en peso y el 40% en peso, con los siguientes componentes adicionales añadidos sobre el lodo de papel, cantidades de los componentes adicionales que se dan por tonelada del lodo de papel:
- 25 - de 5 kg a 10 kg de licor de maceración del maíz, o de 12,5 kg a 25 kg de melazas de remolacha, o de 2,5 kg a 5 kg de extracto de levadura, o de 5 kg a 10 kg de desechos de levadura de cerveza, o una mezcla de los mismos;
- 30 - de 50 g a 250 g de MgSO₄;
- de 100 g a 200 g del producto sólido, o de 25 litros a 50 litros del producto fluido;
- en el que además dicha mezcla acuosa se airea a una temperatura de entre 30°C y 40°C durante un periodo de entre 24 horas y 72 horas, mientras se mantiene el contenido en agua de la mezcla acuosa.
- 35 2. Método según la reivindicación 1, en el que en la etapa (d) el cultivo de producción comprende los componentes a continuación antes del mezclado con el cultivo iniciador de la fermentación:
- melazas de remolacha o melazas de caña de azúcar en una cantidad del 0,5% en peso al 4% en peso, con respecto al volumen total del cultivo de producción,
- 40 - fertilizante NPK (7-7-7) en una cantidad del 0,5% en peso al 1,5% en peso, con respecto al peso total del cultivo de producción,
- licor de maceración del maíz en una cantidad del 0,15% en peso al 0,5% en peso, o extracto de levadura en una cantidad del 0,05% en peso al 0,25% en peso, o desechos de levadura de cerveza en una cantidad del 0,05% en peso al 0,25% en peso, con respecto al peso total del cultivo de producción,
- 45 y en el cultivo, el pH se mantiene a un valor de alrededor de 7,0, la temperatura se mantiene dentro de un intervalo de entre 30°C y 40°C.
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el cultivo iniciador comprende caldo Luria, caldo nutriente; o preferiblemente un medio nutritivo acuoso preparado mezclando del 0,5% en peso al 2% en peso de leche en polvo, del 0,5% en peso al 2% en peso de polvo de suero lácteo, del 0,5% en peso al 1% en peso de cloruro de sodio y del 0,05% en peso al 0,25% en peso de licor de maceración del maíz, con respecto al peso total del medio nutritivo, con un fluido acuoso.
- 50