

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 897**

51 Int. Cl.:

C12P 7/46 (2006.01)

C12P 7/54 (2006.01)

C12P 7/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2012 PCT/NL2012/050735**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.05.2013 WO13062407**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2012 E 12781177 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 2771475**

54 Título: **Procedimiento de conversión de lignocelulosa en un ácido orgánico con reciclaje de sales disueltas**

30 Prioridad:

25.10.2011 EP 11186513

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

27.12.2017

73 Titular/es:

**PURAC BIOCHEM BV (100.0%)
Arkelsedijk 46
4206 AC Gorinchem, NL**

72 Inventor/es:

**SANDERS, JOHAN PIETER MARINUS y
BAKKER, ROBERT REURD CHRISTOPHOR**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 647 897 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

Procedimiento de conversión de lignocelulosa en un ácido orgánico con reciclaje de sales disueltas

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona con un procedimiento para la conversión de material de lignocelulosa en un ácido orgánico, con reciclaje de sales disueltas.

Antecedentes de la invención

10 Es conocido cómo producir ácidos orgánicos, tales como por ejemplo ácido láctico, ácido succínico o ácido acético, mediante fermentación de biomasa que contiene lignocelulosa. En el documento WO2009/025547 se divulga, por ejemplo, un procedimiento para la producción de ácido láctico, como un producto de fermentación de biomasa que tiene lignocelulosa. En el procedimiento del documento WO2009/025547 se trata previamente de la biomasa que tiene lignocelulosa con un agente alcalino, y luego se somete a sacarificación y fermentación simultáneas en un fermentador, para producir ácido láctico o una sal del mismo.

15 Una desventaja del procedimiento del documento WO2009/0255 es que el producto de fermentación, es decir ácido láctico o lactato de calcio, es recuperado en una concentración relativamente baja. En el caso del ácido láctico recuperado, sería usado para una subsiguiente conversión microbiana en etanol, se requerirían pasos de destilación múltiple, con objeto de obtener una concentración de etanol de 96 %.

Además, se obtendrá un rendimiento relativamente bajo del producto de fermentación. Con objeto de obtener suficiente sacarificación de la lignocelulosa, se requeriría un paso de tratamiento previo alcalino relativamente severo, un paso de hidrólisis previa, y/o una cantidad relativamente alta de enzima hidrolítica en el fermentador.

20 Sumario de la invención

Se ha hallado ahora que si la producción de ácido orgánico a partir de material de lignocelulosa mediante pretratamiento alcalino, seguido por fermentación del material con pretratamiento alcalino en una zona de fermentación, es llevada a cabo de modo que el efluente líquido de la zona de fermentación es reciclado al paso de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación, y el ácido orgánico es recuperado como sal de magnesio o calcio a partir del efluente sólido de la zona de fermentación, el ácido orgánico puede ser obtenido en una concentración elevada, con un elevado rendimiento y una alta pureza.

De acuerdo con ello, la invención se relaciona con un procedimiento para la conversión de lignocelulosa en un ácido orgánico, donde el procedimiento comprende los siguientes pasos:

30 a) pretratamiento de una alimentación que comprende material de lignocelulosa con un agente alcalino que incluye un catión divalente de calcio o magnesio, la presencia de agua a una temperatura de pretratamiento, para obtener una pasta acuosa de material alcalino de lignocelulosa tratada previamente;

35 b) suministro de por lo menos parte de la pasta de material alcalino de lignocelulosa tratada previamente, a una zona de fermentación y sometimiento del material pretratado de lignocelulosa, en la zona de fermentación en presencia de una enzima hidrolítica y un microorganismo que es capaz de convertir sacáridos en un ácido orgánico, a hidrólisis enzimática y fermentación para obtener un caldo de fermentación que comprende lignocelulosa insoluble, sal precipitada y disuelta del ácido orgánico con el catión divalente, y enzima;

c) descarga del caldo de fermentación obtenido en el paso (b) desde la zona de fermentación;

d) separación del caldo de fermentación, de una fase líquida que comprende la sal disuelta del ácido orgánico y una fase sólida que comprende lignocelulosa insoluble y la sal precipitada del ácido orgánico;

40 y

e) reciclaje de por lo menos parte de la fase líquida al paso a) de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación.

45 Puesto que la fase líquida es reciclada a la zona de fermentación, es decir indirectamente a través del reciclaje al paso de pretratamiento alcalino y/o directamente, no se requiere una elevada conversión por cada paso de sacáridos fermentables hasta ácido orgánico, para obtener un elevado rendimiento. Los sacáridos fermentables no convertidos serán reciclados y pueden ser fermentados en un paso siguiente. Por ello, también sacáridos que son de fermentación relativamente difícil, tales como por ejemplo xilosa y oligómeros de celulosa, pueden ser fermentados sin necesidad de una zona de fermentación grande.

Puesto que parte de la enzima hidrolítica será reciclada con la fase líquida, puede usarse una cantidad relativamente baja de enzima.

Una ventaja importante del procedimiento de acuerdo con la invención es que el producto, es decir el ácido orgánico o la sal de calcio o magnesio del mismo, pueden ser obtenidos en una concentración relativamente alta. Debido al reciclaje, la concentración de la sal disuelta de calcio o magnesio del ácido orgánico se acumulará hasta que se alcanza la saturación. Una vez se alcanza la saturación, cualquier ácido orgánico adicional producido en la zona de fermentación, precipitará como su sal de calcio o magnesio. Así, también bajo condiciones de procedimiento en las que por cada paso se produce una cantidad relativamente baja de ácido orgánico, por ejemplo debido a una baja concentración de lignocelulosa y/o de la enzima hidrolítica y/o debido a una hidrólisis pobre del material de lignocelulosa, el producto puede ser obtenido todavía en un rendimiento y concentración altos. Una ventaja de la producción por ejemplo de ácido láctico en una concentración relativamente alta es que, si el ácido láctico es convertido adicionalmente en otras sustancias químicas, por ejemplo por fermentación de ácido láctico hasta ácido succínico o etanol, tales sustancias químicas pueden ser obtenidas también en una concentración relativamente alta. En el caso de la fermentación de ácido láctico hasta etanol, esto implica que se requieren menos pasos de destilación para obtener etanol concentrado.

También pueden recuperarse productos solubles del procedimiento de acuerdo con la invención, tales como por ejemplo aminoácidos o péptidos en el caso de una alimentación que contiene proteína, en una concentración suficientemente alta dado que, debido al reciclaje, tales aminoácidos o péptidos se acumularán en el efluente líquido de la zona de fermentación.

Una ventaja adicional del procedimiento de acuerdo con la invención es que es económicamente viable llevarlo a cabo en una pequeña escala. El procedimiento puede ser operado a presión atmosférica y por ello es mucho menos intensivo en capital que los procedimientos conocidos para la conversión de material de lignocelulosa. Si es llevado a cabo en una pequeña escala, es decir usando biomasa residual que se origina como material de lignocelulosa de un área relativamente pequeña de tierra de cultivo, las corrientes de residuos del procedimiento de acuerdo con la invención, tales como minerales, residuos de lignocelulosa o carbonato de calcio, pueden ser esparcidos sobre la tierra de cultivo de la cual se originó el material de lignocelulosa, con objeto de aumentar la fertilidad del suelo. Así, se evitan los costos de transporte y costos de concentración de las corrientes de residuo.

Sumario del dibujo

En la figura se muestra esquemáticamente una realización de la invención.

30 Descripción detallada de la invención

En el procedimiento de acuerdo con la invención, se somete primero una alimentación que comprende material de lignocelulosa a un pretratamiento alcalino (paso a)) y luego es suministrado a una zona de fermentación en la que es sometido a hidrólisis enzimática y fermentación (paso b)). En la zona de fermentación, se hidrolizan los polisacáridos en el material de lignocelulosa para obtener sacáridos fermentables, que son fermentados hasta uno o más ácidos orgánicos. Se obtiene un caldo de fermentación que es descargado de la zona de fermentación A (paso c)) y luego es separado en una fase líquida y una fase sólida (paso d)). Por lo menos parte de la fase líquida es reciclada al paso de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación (paso e)).

El material de lignocelulosa puede ser cualquier material de biomasa que comprende lignocelulosa. Son ejemplos de material adecuado de lignocelulosa, madera, paja, papel, bagazo, pasto o combinaciones de ellos. Preferiblemente, el material de lignocelulosa es un material residual agrícola tal como por ejemplo paja o papel de desecho. El material de lignocelulosa puede ser material fresco o material seco. La alimentación puede comprender material de lignocelulosa que ha soportado un pretratamiento tal como una hidrólisis previa o un paso de extracción para retirar componentes no fermentables o para retirar componentes que podrían inhibir la subsiguiente hidrólisis y fermentación en el paso b)).

Preferiblemente, el material de lignocelulosa es material desintegrado, por ejemplo desintegrado mediante corte, molienda, refinación mecánica o extrusión, con objeto de mejorar la accesibilidad del material para el pretratamiento alcalino y el paso de hidrólisis/fermentación.

La alimentación puede comprender material diferente al material de lignocelulosa, tal como desechos domésticos o residuos industriales (por ejemplo torta de compresión de colza, residuos vegetales o residuos de invernadero). Preferiblemente la alimentación comprende por lo menos 30 % en peso de lignocelulosa seca, con base en el peso seco del material orgánico en alimentación, más preferiblemente por lo menos 50 % en peso, incluso más preferiblemente por lo menos 70 % en peso.

En el paso a), el material de lignocelulosa es sometido a tratamiento previo con objeto de romper y abrir la matriz

de lignocelulosa, para retirar lignina, hacer la lignina más accesible y/o aumentar el área superficial de la celulosa. Como un resultado del pretratamiento, el material de lignocelulosa será más adecuado para la subsiguiente hidrólisis y fermentación en el paso b). El pretratamiento alcalino del material de lignocelulosa es bien conocido en la técnica. Todas las condiciones adecuadas de pretratamiento alcalino conocidas en la técnica, pueden ser aplicadas en el paso a).

La alimentación es tratada previamente con un agente alcalino que comprende un catión divalente de calcio o magnesio, en presencia de agua. El agente alcalino puede ser por ejemplo hidróxido de calcio, óxido de calcio, hidróxido de magnesio, óxido de magnesio, o una combinación de dos o más de ellos. Preferiblemente, el agente alcalino es hidróxido de calcio u óxido de calcio, más preferiblemente hidróxido de calcio. Típicamente, la cantidad de agua presente es tal que la concentración de lignocelulosa sólida seca está en el intervalo de 5 a 30 % en peso, con base en el volumen de la fase acuosa. La cantidad de agente alcalino es preferiblemente tal que se obtiene una pasta con un pH en el intervalo de 8,0 a 14,0, más preferiblemente de 8,5 a 13,0, incluso más preferiblemente de 9,0 a 12,0.

El pretratamiento alcalino puede ser llevado a cabo a cualquier temperatura adecuada de pretratamiento. Preferiblemente, la temperatura de pretratamiento está en el intervalo de 20 a 115 °C, más preferiblemente de 50 a 100 °C, incluso más preferiblemente de 60 a 98 °C, todavía más preferiblemente de 70 a 95 °C.

Se apreciará que, puesto que la severidad del pretratamiento alcalino no es crítica en el procedimiento de acuerdo con la invención, el tiempo durante el cual el material de lignocelulosa es sometido a pretratamiento tampoco es crítico. El material puede ser tratado previamente durante cualquier período adecuado de tiempo, por ejemplo durante un tiempo en el intervalo de 10 minutos a 100 días, preferiblemente de 20 minutos a 3 horas, más preferiblemente de 30 a 60 minutos. Se notará que típicamente una menor temperatura de pretratamiento, se combinará con un mayor tiempo de pretratamiento.

En el paso a), se obtiene una pasta acuosa de material de lignocelulosa sometido a pretratamiento alcalino. Por lo menos parte de la pasta es suministrada a una zona de fermentación. Preferiblemente, por lo menos 70 %, más preferiblemente por lo menos 80 de la pasta será suministrado a la fermentación. Las partículas grandes o fibras, preferiblemente partículas o fibras con un diámetro (partículas) o longitud (fibras) de por lo menos 2 mm, son separadas de la pasta antes de suministrar la pasta a la zona de fermentación. De modo alternativo, por ejemplo en el caso en que se esté usando una alimentación que comprende una mezcla de diferentes materiales de lignocelulosa con diferentes contenidos de celulosa, puede separarse parte del material pretratado de lignocelulosa de la pasta para uso en un procedimiento diferente, y el resto de la pasta será suministrado a la zona de fermentación. Puede ser ventajoso por ejemplo separar el material de lignocelulosa tratado previamente, con un contenido de celulosa relativamente alto, de la pasta con objeto de usarlo en la fabricación de papel.

La pasta puede ser sometida a un paso de enfriamiento o un paso de cribado (para retirar partículas o fibras grandes) antes de ser suministrada a la zona de fermentación. En el caso en que la temperatura de pretratamiento sea mayor a la temperatura a la cual se llevan a cabo la hidrólisis y fermentación, el material alcalino pretratado es enfriado preferiblemente primero a la temperatura de hidrólisis/fermentación.

La pasta que comprende material pretratado de lignocelulosa es suministrada a una zona de fermentación que comprende uno o más fermentadores en serie. La pasta puede ser suministrada en modo de lote o continuamente al primer fermentador en la zona de fermentación.

En la zona de fermentación, el material pretratado es sometido, en presencia de una enzima hidrolítica y un microorganismo que es capaz de convertir sacáridos en un ácido orgánico, a hidrólisis enzimática y fermentación. La enzima hidrolítica puede ser cualquier enzima adecuada para la hidrólisis de sacáridos en material de lignocelulosa o combinaciones de una o más de tales enzimas. Tales enzimas son conocidas en la técnica e incluyen celulasa, hemicelulasa o combinaciones de ellas, opcionalmente en combinación con pectinasa o celobiasa. Preferiblemente, por lo menos una celulasa está presente como enzima.

El microorganismo puede ser cualquier microorganismo o una combinación de microorganismos adecuados para la conversión de sacáridos en uno o más ácidos orgánicos. Tales microorganismos son conocidos en la técnica e incluyen bacterias y hongos tales como levaduras. Preferiblemente, el microorganismo es un microorganismo que produce ácido láctico, más preferiblemente una bacteria que produce ácido láctico. Son ejemplos de bacterias adecuadas que producen ácido láctico lactobacilli, bifidobacteria, cierta de especies de Bacillus y Streptococcus o combinaciones de ellos.

La temperatura en el uno o más fermentadores puede ser cualquier temperatura a la cual tiene lugar la hidrólisis enzimática y fermentación. Preferiblemente, la temperatura está en el intervalo de 20 a 80 °C, más preferiblemente de 25 a 60 °C, incluso más preferiblemente en el intervalo de 30 a 50 °C. En el caso en que la zona de fermentación comprenda más de un fermentador, la temperatura puede ser diferente en los diferentes

fermentadores.

La fermentación puede ser llevada a cabo a cualquier pH adecuado, preferiblemente a un pH en el intervalo de 4,0 a 8,0, más preferiblemente de 4,5 a 7,5. Se prefiere particularmente un pH en el intervalo de 5,0 a 7,0. Se notará que en el caso en que la zona de fermentación comprenda más de un fermentador en serie, típicamente el pH en un fermentador subsiguiente será inferior al del fermentador precedente, debido al ácido orgánico adicional formado.

Bajo las condiciones prevalentes en el uno o más fermentadores en la zona de fermentación, los polisacáridos en el material de lignocelulosa son hidrolizados primero para obtener sacáridos fermentables, que pueden incluir monosacáridos tales como glucosa, manosa, fructosa, manosa, ramnosa, xilosa, arabinosa, ácido galacturónico, disacáridos tales como lactosa, xilobiosa y celobiosa y sacáridos oligoméricos. Los sacáridos fermentables son fermentados por el(los) microorganismo(s) presente(s) hasta uno o más ácidos orgánicos. Se notará que el ácido orgánico formado depende principalmente del microorganismo presente. El ácido orgánico formado como producto de la fermentación puede ser ácido láctico, ácido cítrico, ácido itacónico, ácido succínico, ácido fumárico, ácido glicólico, ácido pirúvico, ácido acético, ácido glutámico, ácido málico, ácido propiónico, ácido butírico, ácido glucónico y combinaciones de ellos. Preferiblemente el microorganismo es un microorganismo que produce ácido láctico, más preferiblemente una bacteria que produce ácido láctico, y el ácido orgánico formado es ácido láctico.

Así, en el uno o más fermentadores, se obtiene un caldo de fermentación que comprende lignocelulosa insoluble, un ácido orgánico, sal disuelta del ácido orgánico y el catión divalente, la enzima, el microorganismo y, una vez la concentración de la sal disuelta en ácido orgánico ha llegado a la saturación, sal precipitada del ácido orgánico y el catión divalente. El caldo de fermentación puede comprender sacáridos no fermentados.

En el caso de más de un fermentador en serie, típicamente la totalidad del caldo de fermentación formado en un fermentador es suministrada al siguiente fermentador en serie.

El caldo de fermentación es descargado de la zona de fermentación. En caso en que la zona de fermentación comprenda más de un fermentador en serie, el caldo de fermentación es descargado desde el último fermentador en serie. El caldo de fermentación descargado es separado en una fase líquida y una fase sólida. Tal separación puede ser realizada por cualquier medio conocido en la técnica, tal como centrifugación, filtración o sedimentación.

Por lo menos parte de la fase líquida es reciclada al paso de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación. Preferiblemente por lo menos 50 % en volumen, más preferiblemente por lo menos 80 % en volumen, incluso más preferiblemente por lo menos 90 % en volumen y todavía más preferiblemente por lo menos 95 % en volumen de la fase líquida es reciclado al paso de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación. Preferiblemente una pequeña parte de la fase líquida, preferiblemente a lo sumo 10 % en volumen, más preferiblemente a lo sumo 5 % en volumen de la fase líquida es retirado del procedimiento como una corriente saliente.

Preferiblemente, por lo menos parte de la fase líquida, más preferiblemente por lo menos 50 % en volumen, incluso más preferiblemente por lo menos 80 % en volumen, es reciclado al paso a) de pretratamiento. Así, se hace uso del agua presente en la fase líquida y se evita así demasiada dilución de la sal disuelta de ácido orgánico en la fase líquida. Puede ser ventajoso reciclar por lo menos parte de la fase líquida directamente a la zona de fermentación, para evitar la inactivación de la enzima que puede estar presente en la fase líquida reciclada. Con objeto de lograr un balance entre dilución indeseada e inactivación de la enzima, preferiblemente se recicla parte de la fase líquida al paso a) de pretratamiento y parte directamente a la zona de fermentación. Preferiblemente, a lo sumo 50 % en volumen, más preferiblemente a lo sumo 20 % en volumen de la fase líquida es reciclado directamente a la zona de fermentación.

En caso en que la zona de fermentación comprenda más de un fermentador, puede reciclarse parte de la fase líquida hacia un fermentador individual o al fermentador precedente.

La fase líquida comprende sal disuelta en ácido orgánico y el catión divalente. Además, la fase líquida puede incluir el ácido orgánico, sacáridos fermentables disueltos, enzima, microorganismo y otros compuestos solubles o solubilizados del material de lignocelulosa. Como un resultado del reciclaje, la sal disuelta del ácido orgánico se acumulará en la fase líquida hasta alcanzar su concentración de saturación. Cualquier ácido orgánico adicional producido en la zona de fermentación dará como resultado entonces la precipitación del ácido orgánico producido, en la forma de su sal de calcio o de magnesio. Así, después de un cierto tiempo en la corriente, se obtendrá un caldo de fermentación que comprende sal precipitada de ácido orgánico. La sal precipitada será descargada desde la zona de fermentación con el caldo y terminará, después de la separación, en la fase sólida. La sal del ácido orgánico puede ser recuperada desde la fase sólida por medios conocidos en la técnica, por ejemplo por medio de extracción sólido-líquido.

Dado que la fase líquida es reciclada, no es necesario lograr una elevada conversión de sacáridos en ácido

orgánico, por cada paso. Una vez la concentración de la sal disuelta del ácido orgánico ha alcanzado su concentración de saturación, cualquier ácido orgánico formado adicionalmente precipitará como su sal de catión divalente. La sal puede ser recuperada desde la fase sólida en una concentración relativamente alta. Por ello, los parámetros que influyen en la rata de conversión para la hidrólisis y la fermentación en la zona de fermentación, tales como la severidad del pretratamiento alcalino, la cantidad de enzima o microorganismo, pH y temperatura en el(los) fermentador(es), tiempo de residencia en el(los) fermentador(es), tendencia a la fermentación de los sacáridos y la concentración de material de lignocelulosa sometido a pretratamiento alcalino, son menos críticos. Por ello, la ventana de operación es mucho más amplia que en los procedimientos de la técnica anterior para la hidrólisis y fermentación del material de lignocelulosa, tal como por ejemplo el procedimiento como se divulga en el documento WO2009/025547.

Preferiblemente, la fermentación comprende en el rango desde uno a cinco fermentadores en serie, más preferiblemente desde uno a tres fermentadores en serie.

En el caso en que la zona de fermentación comprenda más de un fermentador en serie, puede ser ventajoso aplicar diferentes condiciones de procedimiento en los diferentes fermentadores, por ejemplo aplicando una diferente temperatura, pH, tiempo de residencia y/o usando diferentes enzimas hidrolíticas. Por ejemplo, pueden ser ventajoso operar el primer fermentador a una temperatura mayor que la temperatura óptima del microorganismo, preferiblemente en un tiempo de residencia relativamente corto, y operar fermentadores sucesivos a una menor temperatura con objeto de operar más cerca a la temperatura óptima del microorganismo y/o para aumentar la precipitación de la sal del ácido orgánico.

La fase sólida que es separada del caldo de fermentación que es descargado de la zona de fermentación, puede ser lavada con objeto de retirar contaminantes tales como inhibidores de fermentación y/o cualquier sal disuelta de calcio o magnesio del ácido orgánico y sacáridos fermentables de la fase sólida. Tal lavado es llevado a cabo a una temperatura baja, con objeto de evitar demasiada disolución de la sal del ácido orgánico precipitada. Preferiblemente, el lavado es llevado a cabo a una temperatura en el intervalo desde 10 a 50 °C, más preferiblemente de 15 a 40 °C. Se prefiere particularmente el lavado a temperatura ambiente. Así, se obtienen fase sólida lavada y agua de lavado. Por lo menos parte del agua de lavado puede ser reciclada de manera ventajosa al paso a), para suministrar el agua al paso a) de pretratamiento, o a la zona de fermentación. Se prefiere particularmente el reciclaje al paso a) dado que cualquier inhibidor de fermentación presente en el agua de lavado, típicamente será descompuesto en compuestos que no son inhibidores, bajo las condiciones prevalentes en el paso a).

La sal de calcio o magnesio del ácido orgánico puede ser recuperada desde la fase sólida que es separada del caldo de fermentación, preferiblemente después del lavado. Tal recuperación puede ser llevada a cabo por ejemplo mediante extracción de la fase sólida con agua a temperatura elevada, preferiblemente a una temperatura en el intervalo de 50 a 120 °C, más preferiblemente desde 60 a 100 °C. Así, se obtienen una solución concentrada de la sal de calcio o magnesio del ácido orgánico en agua y una fase sólida que sufrió extracción. La solución puede comprender hasta 40 % en peso de sal del ácido orgánico. La solución concentrada de la sal puede ser recuperada como producto. De modo alternativo, la sal puede ser recuperada como producto sólido enfriando la solución, con objeto de precipitar la sal y luego recuperar la sal precipitada, como producto sólido.

La sal de calcio o magnesio del ácido orgánico así obtenida puede ser usada por ejemplo como ingrediente para una composición de forraje o como material crudo para procedimientos de fermentación tales como fermentación del ácido orgánico hasta etanol o ácido succínico.

Es una ventaja del procedimiento de acuerdo con la presente invención, que la sal del ácido orgánico puede ser obtenida en una forma altamente concentrada y en forma relativamente pura. En el caso en que el ácido orgánico es ácido láctico, están presentes cantidades relativamente bajas de ácido acético, furfural y otros compuestos que pueden actuar como un inhibidor para la fermentación posterior del ácido láctico hasta productos como etanol o ácido succínico. En el procedimiento de acuerdo con la invención, tales compuestos se disuelven en la fase líquida y son reciclados al paso a) de pretratamiento alcalino y/o la zona de fermentación, o son retirados del procedimiento con una corriente saliente de la fase líquida. En el paso de pretratamiento alcalino, tales compuestos serán descompuestos típicamente en compuestos que no actúan como inhibidores de la fermentación.

En una realización de la invención, la alimentación comprende proteína. Por ejemplo, la alimentación puede comprender proteína si contiene un material de lignocelulosa que tiene proteína. Son ejemplos de materiales de lignocelulosa adecuados que contienen proteína, los residuos agrícolas tales como hojas de remolacha azucarera, pulpa de remolacha, fibras de patata, hojas de patata, y cáscaras y torta de presión del procesamiento de semillas de aceite, paja de colza, residuos agrícolas vegetales, granos secos de destilador con solubles (DDGS), granos húmedos de destilador u otros residuos altamente diluidos de procedimientos de alimentos o de biocombustibles, harina de colza o harina de girasol, a partir de los cuales se extrae la mayoría la proteína. Tal material de

lignocelulosa que contiene proteína puede constituir la totalidad de la alimentación, pero también puede ser parte de la alimentación, donde ésta comprende además otro material de lignocelulosa. Una ventaja del uso de una alimentación que comprende proteína es que la adsorción de enzima, en particular la adsorción de celulasas y beta-glucosidasa, sobre la lignina presente en el material de lignocelulosa será reducida durante el paso b) de fermentación. Así se reducirán los costos de la enzima, comparados con un procedimiento que usa una alimentación sin proteína.

Además, en el caso en que la alimentación comprenda proteína, los aminoácidos y/o péptidos pueden ser recuperados de manera ventajosa como producto de la fase líquida. En el caso en que la corriente de alimentación comprenda proteína y se desee la recuperación de aminoácidos o péptidos, el microorganismo es preferiblemente un microorganismo que es capaz de hidrolizar proteína hasta sus aminoácidos o péptidos. Más preferiblemente, el microorganismo es una bacteria que produce ácido láctico. Los aminoácidos y/o péptidos formados en la zona de fermentación pueden ser recuperados desde la fase líquida por medios conocidos en la técnica, por ejemplo mediante evaporación de la fase líquida.

Preferiblemente, el procedimiento comprende además un paso de fermentación en el que el ácido orgánico en la sal del ácido orgánico que es recuperado desde la fase sólida, es fermentado hasta dar un producto de fermentación. En el caso en que el ácido orgánico es ácido láctico, el lactato de calcio o de magnesio recuperado de la fase sólida puede ser fermentado por ejemplo hasta ácido succínico o etanol. El producto de fermentación es entonces recuperado como producto por medios conocidos en la técnica. La recuperación de etanol de tal fermentación es realizada típicamente por medio de destilación.

Puede ser ventajoso añadir un ácido adicional durante tal paso de fermentación, es decir un ácido que pueda distinguirse del ácido orgánico, con objeto de minimizar el aumento del pH debido a la conversión del ácido orgánico. Si se agrega tal ácido adicional, se forma una sal de calcio o magnesio del ácido adicional, como coproducto del paso de fermentación. Ejemplos de tales ácidos adicionales adecuados son ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico.

La fase sólida sometida a extracción puede ser usada de manera adecuada como alimentación para un generador de electricidad. Dado que la fase sólida sometida a extracción tiene típicamente un bajo contenido de potasio, se evita la formación de escoria en el generador de electricidad. La mayoría del potasio presente en el material de lignocelulosa será descargado típicamente del procedimiento con una corriente saliente de la fase líquida. Preferiblemente, la fase sólida sometida a extracción es alimentada al generador de electricidad como coalimentación junto con una alimentación, tal como por ejemplo gas natural, biomasa o papel residual. En el generador de electricidad, se generan electricidad y calor. Preferiblemente, el calor generado es usado en el paso a) para lograr la temperatura deseada de pretratamiento.

En una realización de la invención, la alimentación al paso a) de pretratamiento alcalino comprende papel que incluye carbonato de calcio. En el caso en que como alimentación se use papel que tiene carbonato de calcio, la fase sólida sometida a extracción incluirá carbonato de calcio. En el caso en que tal fase sólida sometida a extracción, que incluye carbonato de calcio, sea alimentada al generador de electricidad, se formará óxido de calcio en el generador de electricidad. Preferiblemente, tal óxido de calcio es reciclado al paso a) de pretratamiento alcalino, como agente alcalino.

Como se describió en más detalle anteriormente, en algunas realizaciones de la invención, se forma una sal de magnesio o de calcio del ácido adicional en la fermentación del ácido (sal del mismo) orgánico recuperado desde la fase sólida. La sal de magnesio o calcio del ácido adicional así formada puede ser coalimentada al generador de electricidad para formar óxido de magnesio o de calcio. Preferiblemente, tal óxido de magnesio o de calcio es reciclado al paso a) de pretratamiento alcalino, como agente alcalino.

El paso a) de pretratamiento alcalino es llevado a cabo en presencia de agua. El agua externa puede ser añadida directamente al paso a) de pretratamiento alcalino. De modo alternativo, el agua usada en la extracción de los pasos de lavado en el procedimiento de acuerdo con la invención, puede ser reciclada al paso a). Ejemplos de tal agua son el agua que es usada para disolver la sal de calcio o magnesio del ácido orgánico de la fase sólida obtenida en el paso d), el agua que es usada para lavar la fase sólida sometida a extracción, antes de que sea alimentada al generador de electricidad, o el agua que es usada para lavar un material de lignocelulosa alto en celulosa con pretratamiento alcalino, que es separado de la pasta obtenida en el paso a). En lugar de agua, las corrientes acuosas que comprenden material orgánico pueden ser usadas para suministrar el agua en el paso a), tales como por ejemplo grano húmedo del destilador u otras corrientes de procedimientos de alimentos o biocombustibles.

Descripción detallada del dibujo

En la figura se muestra esquemáticamente una realización de la invención. Se suministran corrientes de aire seco,

paja 1 de trigo molida, hidróxido de calcio 2 y agua 3 al contenedor 4 y se mantienen en el contenedor a una temperatura de pretratamiento de 95 °C durante 24 horas. Después de 24 horas, se descarga una pasta 5 acuosa de paja con pretratamiento alcalino, desde el contenedor 4 y es suministrada a la zona 6 de fermentación que comprende un fermentador individual. Se agregan enzimas celulasa, una bacteria que produce ácido láctico y nutrientes al fermentador 6 (no mostrado). En el fermentador 6, el material de lignocelulosa con pretratamiento alcalino es sometido a hidrólisis enzimática para formar sacáridos fermentables. Los sacáridos así formados son fermentados hasta ácido láctico. Debido a la presencia de iones calcio en el fermentador 6, el ácido láctico formado se disolverá como lactato del calcio y después de que la concentración de saturación se ha alcanzado, el lactato de calcio precipita. El caldo 7 de fermentación que comprende lignocelulosa insoluble, lactato de calcio disuelto y precipitado, y celulasa son descargados de la zona 6 de fermentación y suministrados al separador 8 en el que es separado en una fase 9 líquida y una fase 10 sólida. Se retira una pequeña corriente 11 de la fase líquida del procedimiento, como corriente saliente. La parte principal 12 de la fase líquida es reciclada al contenedor 4, es decir al paso del pretratamiento alcalino. La fase 9 líquida comprende lactato de calcio disuelto, ácido láctico y opcionalmente parte de la celulasa y algo de sacáridos fermentables. La fase 10 sólida comprende lignocelulosa insoluble y lactato de calcio precipitado. La fase sólida es suministrada a una unidad 13 de extracción sólido-líquido en la que la fase sólida es sometida a extracción en contracorriente con agua caliente, para obtener la fase 14 sólida sometida a extracción y una solución acuosa de lactato de calcio 15. La solución 15 puede ser recuperada como producto. De modo alternativo, la solución 15 es enfriada (no mostrado) para precipitar el lactato de calcio, y el lactato de calcio sólido es recuperado como producto. En lugar de recuperar el lactato de calcio como producto, el lactato de calcio puede ser fermentado adicionalmente hasta dar etanol u otros productos de fermentación (no mostrado).

La fase 14 sometida a extracción es cosuministrada como alimentación al generador 16 de electricidad, junto con la alimentación 17 principal que puede ser por ejemplo gas natural, biomasa y/o papel residual. En el generador 16, se generan electricidad 18 y calor 19. El calor 19 es usado para calentar el contenido del contenedor 4 hasta la temperatura de pretratamiento de 95 °C.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la conversión de lignocelulosa en un ácido orgánico, en el que el procedimiento comprende los siguientes pasos:
 - 5 a) pretratamiento de una alimentación que comprende material de lignocelulosa, con un agente alcalino que comprende un catión divalente de calcio o magnesio, en presencia de agua a una temperatura de pretratamiento, para obtener una pasta acuosa de material de lignocelulosa con pretratamiento alcalino;
 - b) suministro de por lo menos parte de la pasta de material de lignocelulosa con pretratamiento alcalino a una zona de fermentación y sometimiento del material pretratado de lignocelulosa, en la zona de fermentación en presencia de una enzima hidrolítica y un microorganismo que es capaz de convertir sacáridos en un ácido orgánico, a hidrólisis enzimática y fermentación para obtener un caldo de fermentación que comprende lignocelulosa insoluble, sal precipitada y disuelta del ácido orgánico con el catión divalente, y enzima;
 - 10 c) descarga de la zona de fermentación del caldo de fermentación obtenido en el paso (b);
 - d) separación del caldo de fermentación, de una fase líquida que comprende la sal disuelta del ácido orgánico y una fase sólida que comprende lignocelulosa insoluble y la sal precipitada del ácido orgánico; y
 - 15 e) reciclaje de por lo menos parte de la fase líquida al paso a) de pretratamiento alcalino y/o a la zona de fermentación.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que por lo menos parte de la fase líquida es reciclada al paso a).
- 20 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que por lo menos 50 % en volumen de la fase líquida es reciclada al paso a).
4. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la zona de fermentación comprende por lo menos dos fermentadores y en serie en el que en el paso c) el caldo de fermentación es descargado desde el último fermentador en serie.
- 25 5. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además el lavado de la fase sólida obtenida en el paso d) con agua a una temperatura en el intervalo de 10 a 50 °C para obtener fase sólida lavada y agua de lavado y suministro de por lo menos parte del agua de lavado al paso a).
6. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la recuperación de la sal del ácido orgánico, de la fase sólida.
- 30 7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende la extracción de la fase sólida obtenida en el paso d), opcionalmente después del lavado, con agua a una temperatura en el intervalo de 60 a 100 °C para obtener una solución de la sal del ácido orgánico y una fase sólida extraída.
8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 que comprende además el enfriamiento de la solución para obtener sal precipitada del ácido orgánico y la recuperación en forma sólida de la sal precipitada.
- 35 9. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además un paso de fermentación en el que se fermenta la sal del ácido orgánico dando un producto de fermentación, y el producto de fermentación es recuperado como producto.
10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que durante el paso de fermentación se añade un ácido adicional, y se forma una sal de calcio o magnesio del ácido adicional, como coproducto en el paso de fermentación.
- 40 11. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende además la alimentación de la fase sólida extraída, a un generador de electricidad para generar electricidad y calor residual.
12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la alimentación comprende papel que comprende carbonato de calcio y en el que en el generador de electricidad se forma óxido de calcio y en el que el óxido de calcio formado en el generador de electricidad es reciclado al paso a) de pretratamiento alcalino, como agente alcalino.
- 45 13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en el que el calor residual generado es usado para alcanzar la temperatura de pretratamiento en el paso a).
14. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el microorganismo es un microorganismo que produce ácido láctico y el ácido orgánico es ácido láctico.
- 50 15. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la alimentación

comprende proteína.

16. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el que se recuperan aminoácidos y/o péptidos de la fase líquida separada del caldo de fermentación.

