

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 167**

51 Int. Cl.:

**C07C 51/00** (2006.01)  
**C07C 67/08** (2006.01)  
**C07C 69/14** (2006.01)  
**C07H 3/02** (2006.01)  
**C08B 37/14** (2006.01)  
**C13K 13/00** (2006.01)  
**C07C 59/08** (2006.01)  
**C08B 37/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2015 PCT/GB2015/051081**  
 87 Fecha y número de publicación internacional: **15.10.2015 WO15155534**  
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2015 E 15717214 (9)**  
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2025 EP 3129346**

54 Título: **Método de procesamiento de biomasa**

30 Prioridad:

**09.04.2014 GB 201406366**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.04.2025**

73 Titular/es:

**SAPPI BIOTECH UK LTD (100.00%)  
 The Wilton Centre  
 Wilton, Redcar TS10 4RF, GB**

72 Inventor/es:

**PANDYA, URVISH RAMESHCHANDRA**

74 Agente/Representante:

**VEIGA SERRANO, Mikel**

ES 3 015 167 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

Método de procesamiento de biomasa

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere al procesamiento de biomasa lignocelulósica. En particular, se refiere a un método de procesamiento de un flujo hemicelulósico que se ha obtenido a partir de biomasa. Los productos obtenidos pueden convertirse en químicos intermedios útiles en la industria de los biopolímeros. Por ejemplo, la invención encuentra utilidad en procesos para convertir un flujo hemicelulósico obtenido a partir de biomasa lignocelulósica en un lactato metálico o un lactato de amonio cuaternario, así como en productos derivados de lactato posteriores como, por ejemplo, ácido láctico, lactida y ácido poliláctico.

15 **Estado de la técnica**

Los tres componentes principales de biomasa son celulosa, lignina y hemicelulosa, y están presentes en casi todas las paredes de células de plantas. El material celulósico obtenido de dicha biomasa tiene un número de usos industriales importantes, notablemente en la producción de papel a partir de pulpa de madera. Por consiguiente, se han desarrollado una variedad de procesos para tratar biomasa para separar material celulósico a partir de otros componentes de biomasa, incluidos procesos Kraft y sulfito. Así como la producción de pulpa de madera celulósica, estos procesos también resultan en la producción de productos derivados conocidos como licor negro (proceso Kraft) o licor marrón (proceso de sulfito) que normalmente contienen material hemicelulósico junto con productos de lignina/derivados de lignina y químicos inorgánicos. En el último tiempo, ha aumentado la demanda de pulpa de madera que contiene mayor contenido de celulosa, y se han desarrollado procesos para producir dichas formas de pulpa de madera (conocida como "pulpa para disolver" o "celulosa para disolver"). La pulpa para disolver encuentra uso en la producción de productos como, por ejemplo, rayón, viscosa y celofán. Normalmente, en un proceso para producir pulpa para disolver, se lleva a cabo una etapa adicional de "pre-hidrólisis" en la cual la biomasa lignocelulósica se trata para eliminar material hemicelulósico y lignina/productos derivados de lignina, antes de someter el resto de los sólidos celulósicos a más condiciones de pulpación como, por ejemplo, condiciones Kraft (tratamiento con una solución acuosa de hidróxido de sodio y sulfuro sódico a temperatura elevada) o condiciones de sulfito (tratamiento con sulfito metálico acuoso y/o bisulfito a temperatura elevada). Normalmente, se hace referencia al flujo hemicelulósico separado obtenido de procesos para producir pulpa para disolver como "licor pre-hidrolizado" o "licor de pre-hidrólisis", PHL, por sus siglas en inglés.

35 Mientras el material celulósico obtenido de procesos como, por ejemplo, aquellos descritos más arriba, se adopta y procesa en varios productos útiles, los flujos hemicelulósicos se consideran, con frecuencia, de poco valor y pueden quemarse o alimentarse a un gasificador para recuperar su valor energético.

Un ejemplo adicional más reciente del uso de material celulósico como materia prima en procesos industriales es en el campo de la producción de bioetanol. Los procesos para la producción de biocombustibles de fuentes de cultivo como, por ejemplo, remolacha azucarera y sorgo dulce, se han desarrollado y refinado, y hay una tasa de crecimiento significativa en la producción de biocombustible en los últimos años. Sin embargo, la identificación de materias primas adecuadas para la producción de químicos puede ser complicada. Por ejemplo, el aumento de la producción de biocombustible ha llevado a aumentos en la competición por los cultivos, cambio de cultivos y de precios para productos alimenticios. Normalmente, las primeras etapas de la producción de etanol celulósico implican el pretratamiento de biomasa y la eliminación de la fracción hemicelulósica, con el material celulósico separado que posteriormente se convierte en bioetanol mediante hidrólisis a glucosa y posterior fermentación a etanol. El uso de material hemicelulósico como materia prima para la producción de bioetanol también se ha investigado. Sin embargo, la eficacia de fermentación de materias primas hemicelulósicas está limitada por el hecho de que, a diferencia de las materias primas celulósicas, estas contienen una mezcla de azúcares de pentosa y hexosa que es normalmente más dura para utilizar por microorganismos. Además, las materias primas hemicelulósicas tienden a contener ácidos, aldehídos, derivados de furano y productos derivados de lignina que pueden actuar para inhibir la eficacia de procesos de utilización de fermentación, debido a la sensibilidad de las especies de microorganismos normalmente empleados a dichos compuestos. Como resultado, las hemicelulosas actualmente representan la fracción más grande de polisacáridos empleados en la mayoría de plantas piloto y de demostración de etanol celulósico en todo el mundo (Girio y otros, *Bioresource Technology*, 2010, 101 p4775-4800).

Un método conocido de tratamiento de biomasa es el proceso "organosolv". Este proceso implica el tratamiento de toda la biomasa con uno de una variedad de disolventes orgánicos, por ejemplo, un alcohol, y el resultado del proceso es, en general, tres flujos de producto: celulosa, hemicelulosa y lignina. Se han llevado a cabo muchas investigaciones para determinar las condiciones adecuadas en las cuales el proceso organosolv puede llevarse a cabo para optimizar los rendimientos de los productos deseados. Por ejemplo, el documento de Wang y otros, *Process Biochem.* 47 (2012) 1503-1500, describe una serie de experimentos para determinar los efectos de catalizadores y disolventes variables en el proceso organosolv, produciendo "datos útiles para la aplicación de fraccionamiento organosolv moderado en la utilización de toda la biomasa, especialmente para la recuperación de componentes hemicelulósicos".

El documento de Huijgen y otros, *Bioresource Tech.* 114 (2012) 389-398, describe el desarrollo del proceso organosolv en el cual la biomasa se pretrata con el fin de hidrolizar parte de la biomasa, específicamente la hemicelulosa, en azúcares. Estos azúcares se eliminan como parte de un flujo líquido, dejando un flujo de pulpa húmeda que es relativamente rico en celulosa y lignina (la hemicelulosa habiendo sido degradada y eliminada), y que se trata posteriormente usando el proceso organosolv para eliminar la lignina de la celulosa.

El ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanoico) y su lactida dimérica cíclica (3,6-dimetil-1,4-dioxano-2,5-diona) son importantes bloques constructores para las industrias química y farmacéutica. Un ejemplo de su uso es en la fabricación de ácido poliláctico, cuya biodegradabilidad lo convierte en un candidato atractivo para reemplazar los polímeros más convencionales. Varios procesos son conocidos por producir ácido láctico, incluidos métodos de síntesis y fermentación químicos. Según el documento de Boudrant y otros, *Process Biochem.* 40 (2005) p. 1642, "En 1987, la producción mundial de ácido láctico promediaba aproximadamente proporciones iguales producidas por procesos químicos de síntesis y fermentación". Dicha síntesis química empleaba normalmente la hidrocianación de acetaldehído. Sin embargo, procesos químicos de este tipo se han considerado durante mucho tiempo ineficientes a escala industrial, y actualmente casi toda la producción a gran escala de ácido láctico disponible comercialmente es fabricada por procesos de fermentación, es preciso ver, por ejemplo, el documento *Strategic Analysis of the Worldwide Market for Biorenewable Chemicals M2F2-39*, de Frost y Sullivan, 2009. En un proceso de fermentación típico, la glucosa es fermentada por microorganismos para producir ácido D-láctico o L-láctico, predominantemente ácido L-láctico. Compañías como, por ejemplo, Cargill y Corbion (antes Purac) llevan a cabo procesos de fermentación a gran escala para la producción de ácido láctico ópticamente activo, y la bibliografía de patentes está llena de mejoras de dichos procesos.

El documento WO2012/052703 describe un proceso para producir un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina, que comprende la reacción de uno o más sacáridos con hidróxido de bario para producir una primera mezcla de reacción que comprende lactato de bario, y que contacta al menos parte de la primera mezcla de reacción con amoníaco o una amina y con dióxido de carbono, o con el carbonato y/o sal de bicarbonato de amoníaco o una amina, para producir una segunda mezcla de reacción que comprende el complejo y carbonato de bario. El documento WO2012/052703 recomienda el uso de celulosa o almidón como materia prima. En particular, se refiere al uso de azúcar invertido o de glucosa obtenida de hidrólisis enzimática de almidón contenido en materias primas de biomasa como, por ejemplo, maíz, arroz o patatas. No se describe el posible uso de hemicelulosa.

El documento de Zou y otros, *Energy & Fuels*, 2011, 25(8), 3786-3792 (DOI: 10.1021/ef200726w) describe un proceso para la alcoholisis de diferentes componentes de biomasa de álamo, lignina, celulosa y hemicelulosa. El proceso comprende tratar la biomasa de álamo con 1-octanol acidificado a 130 °C.

Los constituyentes de la hemicelulosa normalmente tienen un grado significativo de acilación. Por ejemplo, la hemicelulosa de xilano se encuentra, con frecuencia, en una forma altamente acetilada. Las condiciones usadas para separar material hemicelulósico de material celulósico normalmente resultan en cantidades significativas de ácidos orgánicos (p. ej., ácido acético, ácido fórmico) que se forman en el flujo hemicelulósico. Por consiguiente, no se esperará que dichos flujos sean buenas materias primas para la producción de ácido láctico, debido a la contaminación del producto de ácido láctico con otros ácidos orgánicos que pueden ser difíciles de separar.

Ahora hemos encontrado un método mejorado para optimizar los rendimientos de productos útiles obtenidos de procesos para el tratamiento de biomasa. De manera específica, hemos descubierto un proceso que permite que la biomasa se trate en una primera etapa convencional para producir un flujo hemicelulósico, y que el flujo hemicelulósico se trate en etapas posteriores para producir productos útiles. Esta invención provee la eliminación eficiente de la lignina de flujos hemicelulósicos que contienen lignina y lleva a altos rendimientos de monosacáridos derivados de hemicelulosa, lo cual, a su vez, lleva al resultado inesperado de que los flujos hemicelulósicos pueden usarse, entre otros, como materias primas viables para la producción de especies que contienen lactato, químicos intermedios útiles en las industrias de biopolímeros y otras. En particular, se han identificado condiciones del proceso que permiten que el lactato metálico o el lactato de amonio cuaternario se obtengan en una pureza sorprendentemente buena y en un rendimiento viable para su uso a escala industrial.

### Objeto de la invención

La presente invención provee un método de procesamiento de un flujo hemicelulósico acuoso que comprende:

(a) contactar un flujo hemicelulósico acuoso con un alcohol alquílico C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo a una temperatura en el rango de 90 a 170 °C y pH ácido para producir una mezcla de reacción que comprende un acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub> y un monosacárido derivado de hemicelulosa; y

(b) separar la mezcla de reacción obtenida de la etapa (a) en una fase acuosa que comprende dicho monosacárido derivado de hemicelulosa y una fase orgánica que comprende dicho acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub>, en donde la mezcla de reacción obtenida de la etapa (a) se separa directamente en la fase acuosa y la fase orgánica sin necesidad de disolvente orgánico adicional,

y en donde al menos el 60 % en peso del material de sacárido presente en el flujo hemicelulósico acuoso es material de hemicelulosa.

En una realización preferida de la invención, el proceso comprende una etapa adicional:

(c) reaccionar a dicho monosacárido derivado de hemicelulosa obtenido en la etapa (b) con un hidróxido de metal o un hidróxido de amonio cuaternario para producir un lactato metálico o un lactato de amonio cuaternario.

### Descripción de las figuras

La Figura 1 muestra un cromatograma HPLC de una capa acuosa separada después del tratamiento de xilano con ácido sulfúrico acuoso y n-butanol bajo reflujo durante 3 horas, y la separación de las capas acuosa y orgánica. No hay pico visible correspondiente al ácido acético. La Figura 2 muestra un cromatograma HPLC de una mezcla de reacción acuosa después del tratamiento de xilano con ácido sulfúrico acuoso y n-butanol bajo reflujo durante 3 horas, la separación de las capas acuosa y orgánica, y el tratamiento de la capa acuosa con hidróxido de sodio acuoso durante más de 60 minutos a temperatura elevada, y la posterior acidificación. El cromatograma HPLC muestra la presencia de ácido láctico.

La Figura 3 muestra un cromatograma GC de una muestra comercial de n-butanol. No hay pico visible correspondiente a acetato de n-butilo.

La Figura 4 muestra un cromatograma GC de una fase orgánica separada después del tratamiento de xilano con ácido sulfúrico acuoso y n-butanol bajo reflujo durante 3 horas y la separación de las fases acuosa y orgánica. El cromatograma GC muestra la presencia de acetato de n-butilo a los 2,322 minutos. Los picos correspondientes a residuos de lignina también son visibles en el cromatograma GC en los minutos 5,351, 6,752, 10,423 y 10,664.

### Descripción detallada de la invención

Como se describe más arriba, la hemicelulosa es uno de los tres componentes principales de la biomasa, junto con la celulosa y la lignina. Las hemicelulosas son el segundo biopolímero más abundante en el reino de las plantas después de la celulosa y constituyen, en general el 15 – 35 % de biomasa de las plantas. Mientras la celulosa es un polisacárido lineal altamente uniforme (es un poliglucano unido a  $1 \rightarrow 4$ - $\beta$ ), el término hemicelulosa define un grupo de polisacáridos heterogéneos de peso molecular comparativamente bajo, con un grado de polimerización de alrededor de 40 a alrededor de 600 (en muchos casos, el grado de polimerización es de alrededor de 80 a alrededor de 200). La mayoría de las hemicelulosas son estructuras ramificadas (es preciso ver, por ejemplo, el documento de Ren y Sun, *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels; Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose*, 2010, Capítulo 4; también el documento de Girio y otros, *Bioresource Technology*, 2010, 101 p4775-4800).

Las hemicelulosas se han clasificado en cuatro grupos: i) xiloglicanos (xilanos); ii) manoglicanos (mananos); iii) xiloglucanos (XG); y iv)  $\beta$ -glucanos de enlace mixto (Ren y Sun, *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels; Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose*, 2010, Capítulo 4).

Los xilanos comprenden una estructura de  $\beta(1 \rightarrow 4)$ -D-xilanopiranososa, y normalmente contienen grupos de carbohidrato en la posición 2 o 3 de residuos de estructura. Ejemplos incluyen glucuronoxilanos (GX), arabino(glucurono)xilanos (AGX), glucurono(arabino)xilanos (GAX) y arabinoxilanos (AX). Los xilanos son las hemicelulosas más comunes y, en particular, son abundantes en madera dura o plantas anuales.

Los mananos se han clasificado en dos grupos: i) galactomananos, que comprenden una estructura de D-manopiranososa unida a  $\beta(1 \rightarrow 4)$ ; y ii) glucomananos, que tienen una estructura que comprende residuos de D-manopiranososa y D-glucopiranososa con uniones  $\beta(1 \rightarrow 4)$ . Los mananos pueden tener grados variables de ramificación, con grupos de D-galactopiranososa en la posición 6 de la estructura de manosa.

Los xiloglucanos (XG) comprenden una estructura de D-glucopiranososa unidad en  $\beta(1 \rightarrow 4)$  con residuos de D-xilanopiranososa en la posición 6 de residuos de glucopiranososa. Existen dos categorías de xiloglucanos, dependiendo de la naturaleza de las cadenas laterales que contienen xilanopiranososa. Los xiloglucanos que comprenden dos unidades de xilanopiranososa seguidas de dos unidades de glucanopiranososa se denominan XXGG, y xiloglucanos que comprenden tres unidades de xilanopiranososa seguidas de una unidad de glucopiranososa se denominan XXXG. También puede haber presentes cadenas laterales adicionales.

Los  $\beta$ -glucanos de unión mixta tienen una estructura de D-glucopiranososa con uniones  $\beta$ mixtas ( $1 \rightarrow 3$ ,  $1 \rightarrow 4$ ).

La etapa (a) del método reivindicado en la presente memoria implica contactar un flujo hemicelulósico acuoso con un alcohol de alquilo  $C_{4-8}$  que contiene solo un grupo hidroxilo a temperatura elevada. En muchos procesos industriales, después del tratamiento de la biomasa lignocelulósica, un flujo hemicelulósico y sólidos celulósicos se obtienen y se separan entre sí. El flujo hemicelulósico contiene una mayor proporción en peso de material hemicelulósico con

respecto al material celulósico que la proporción en peso de material hemicelulósico con respecto al material celulósico presente en la propia biomasa lignocelulósica. En otras palabras, el flujo hemicelulósico contiene una fracción de material derivado de biomasa lignocelulósica que está enriquecido con material hemicelulósico con respecto al presente en la propia biomasa lignocelulósica. De manera similar, los sólidos celulósicos contienen una mayor proporción en peso de material celulósico (es decir, sacáridos de celulosa y/o derivados de celulosa) con respecto al material hemicelulósico que la proporción en peso de material celulósico con respecto al material hemicelulósico presente en la propia biomasa lignocelulósica. Como se describe más arriba, el procesamiento de flujos hemicelulósicos en productos químicos útiles es más difícil que para los sólidos celulósicos; sin embargo, la presente invención encuentra un uso para dichos flujos hemicelulósicos y un método eficaz de procesamiento de dichos flujos.

En una realización, al menos el 60 % en peso, o al menos el 70 % en peso, o al menos el 80 % en peso, o al menos el 90 % en peso, o al menos el 95 % en peso del material de sacárido presente en el flujo hemicelulósico acuoso es material hemicelulósico. En una realización, menos del 20 % en peso, o menos del 15 % en peso, o menos del 10 % en peso, o menos del 5 % en peso del material de sacárido presente en el flujo hemicelulósico acuoso es material celulósico. En una realización, el flujo hemicelulósico acuoso está libre o sustancialmente libre de material celulósico. En una realización, al menos el 60 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material hemicelulósico y menos del 20 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material celulósico. En una realización, al menos el 70 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material hemicelulósico y menos del 15 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material celulósico. En una realización, al menos el 80 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material hemicelulósico y menos del 10 % en peso del material derivado de biomasa lignocelulósica presente en el flujo hemicelulósico es material celulósico. El análisis del material de sacárido puede llevarse a cabo de manera rutinaria mediante métodos cromatográficos (principalmente HPLC), como se describe en procedimientos estándares emitidos por organizaciones como, por ejemplo, ASTM [D5896-96 (2012)], el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (TP-510-42623) y TAPPI (T-249).

El flujo hemicelulósico acuoso puede contener otros componentes, por ejemplo, puede incluir otros componentes de biomasa como, por ejemplo, lignina o productos derivados de lignina. El método de la invención es particularmente útil para el procesamiento de flujos hemicelulósicos que contienen lignina y, en una realización preferida, el flujo hemicelulósico es uno que contiene lignina. Dichos flujos se obtienen, en general, mediante el procesamiento de biomasa por procesos diferentes del proceso organosolv, por ejemplo, por procesos de pulpa para disolver como, por ejemplo, aquellos que pueden ser operados en una planta de celulosa Kraft, o el proceso de sulfito. En general, los flujos hemicelulósicos que contienen lignina obtenidos por dichos procesos son considerados un flujo de desperdicio o de bajo valor. Por consiguiente, la invención es particularmente valiosa cuando se lleva a cabo usando un flujo hemicelulósico que se ha obtenido mediante el tratamiento de biomasa por un método diferente del proceso organosolv, es decir, por un método diferente del fraccionamiento de biomasa en tres flujos separados, siendo un flujo celulósico, un flujo hemicelulósico y un flujo de lignina, mediante el uso de un disolvente orgánico, en particular un alcohol, por ejemplo, alcohol de alquilo C<sub>2-8</sub>, especialmente alcohol de alquilo C<sub>3-8</sub>. Por ejemplo, el flujo hemicelulósico puede haberse obtenido usando uno de los procesos descritos en mayor detalle más abajo. Por ejemplo, puede haberse obtenido mediante la hidrólisis de virutas de madera mediante el uso de agua caliente bajo presión, o usando vapor. Preferiblemente, el flujo hemicelulósico se ha obtenido de un proceso para disolver pulpa; dichos flujos se denominan "licores pre-hidrolizados" o PHL.

Cuando el flujo hemicelulósico contiene lignina, la fase orgánica producida en la etapa (b) contendrá lignina además del acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y el formato de alquilo C<sub>4-8</sub>. Sorprendentemente, parece ser el caso que la presencia de ácido, por ejemplo, ácido sulfúrico añadido, que es capaz de catalizar tanto la esterificación de ácidos orgánicos presentes en el flujo hemicelulósico como también la hidrólisis de cualquier hemicelulosa y/u oligosacáridos derivados de hemicelulosa presentes en el flujo hemicelulósico, también mejora la extracción de lignina en la fase orgánica. Este efecto puede no haberse predicho, y el proceso de la invención provee una manera sorprendentemente eficaz de eliminar no solo impurezas del ácido orgánico del flujo hemicelulósico ("ácidos de madera") sino también lignina del flujo hemicelulósico.

Los químicos utilizados del procesamiento inicial de biomasa pueden también estar presentes en el flujo hemicelulósico (p. ej., sulfato metálico y/o carbonato, o sulfitos metálicos). La concentración de material hemicelulósico presente en el flujo hemicelulósico acuoso será una característica de la fuente de biomasa y dependerá de las condiciones usadas para obtener el flujo hemicelulósico acuoso a partir de biomasa. En una realización, al menos el 1 % en peso, al menos el 5 % en peso, al menos el 10 % en peso, al menos el 20 % en peso, al menos el 30 % en peso, al menos el 40 % en peso o al menos el 50 % en peso del flujo hemicelulósico acuoso es material hemicelulósico.

El material hemicelulósico en el flujo hemicelulósico comprende hemicelulosa, oligosacáridos derivados de hemicelulosa y/o monosacáridos derivados de hemicelulosa. Los oligosacáridos y los monosacáridos derivados de hemicelulosa pueden obtenerse mediante hidrólisis de la hemicelulosa presente en la biomasa. Las proporciones de la hemicelulosa, oligosacáridos derivados de hemicelulosa y/o monosacáridos derivados de hemicelulosa presentes

en el flujo hemicelulósico dependerán de las condiciones usadas para obtener el flujo hemicelulósico de la biomasa lignocelulósica.

El flujo hemicelulósico acuoso puede obtenerse a partir de biomasa lignocelulósica mediante métodos conocidos. Por ejemplo, la separación selectiva de material hemicelulósico de biomasa lignocelulósica puede lograrse usando agentes alcalinos (como, por ejemplo, sodio, potasio, calcio o hidróxido de amonio). El flujo hemicelulósico puede también obtenerse por explosión de fibra de amoníaco (AFEX, por sus siglas en inglés). En dicho proceso, la biomasa lignocelulósica es tratada con amoníaco líquido a una temperatura en el rango de 40 a 140 °C bajo presión (250 a 300 psi), el complejo formado por lignina con hemicelulosa y celulosa se rompe y tiene lugar cierta hidrólisis de hemicelulosa. En otro ejemplo, puede usarse un proceso hidrotérmico como, por ejemplo, autohidrólisis (uso de agua caliente líquida comprimida, p. ej., a una temperatura en el rango de 200 a 250 °C) o inyección de vapor/explosión de vapor (p. ej., tratamiento con vapor a una temperatura en el rango de 200 a 250 °C).

En una realización preferida, el flujo hemicelulósico acuoso usado en el proceso de la invención se obtiene de un proceso para producir pulpa para disolver. Como se describe más arriba, dichos procesos normalmente implican una etapa adicional de "pre-hidrólisis" en la cual la biomasa lignocelulósica se trata para eliminar material hemicelulósico y lignina/productos derivados de lignina, antes de someter el resto de los sólidos celulósicos a condiciones de pulpación adicionales como, por ejemplo, condiciones Kraft (tratamiento con una solución acuosa de hidróxido de sodio y sulfuro sódico a temperatura elevada) o condiciones de sulfito (tratamiento con sulfito metálico acuoso y/o bisulfito a temperatura elevada). Las condiciones de pre-hidrólisis preferidas comprenden contactar biomasa lignocelulósica como, por ejemplo, virutas de madera, con un ácido (p. ej., un ácido mineral) en presencia de agua a temperatura elevada. Por ejemplo, en una realización particularmente preferida, la biomasa lignocelulósica es tratada con ácido sulfúrico diluido (p. ej., 0,2-5 % v/v de ácido sulfúrico acuoso, o en una concentración de ácido sulfúrico en agua de 0,05 M a 1,5 M) a una temperatura en el rango de 100 a 250 °C, más preferiblemente en el rango de 150 a 250 °C. En otra realización, la biomasa lignocelulósica es tratada con ácido sulfúrico concentrado (p. ej., 10-30 % v/v de ácido sulfúrico acuoso, o en una concentración de ácido sulfúrico en agua de 2,0 M a 6,0 M) a una temperatura en el rango de 40 a 100 °C.

El licor pre-hidrolizado normalmente contiene altas cantidades de material hemicelulósico así como lignina y es particularmente adecuado para su uso en el proceso de la invención.

En una realización, el flujo hemicelulósico acuoso usado en el proceso de la invención es licor negro. Como se describe más arriba, el licor negro es un producto derivado del proceso Kraft y es una mezcla acuosa que contiene material hemicelulósico junto con lignina/productos derivados de lignina y químicos inorgánicos (p. ej., sulfato de sodio, carbonato de sodio). Normalmente, el licor negro obtenido después de la digestión de biomasa (p. ej., virutas de madera) contiene aproximadamente un 15 % en peso de material sólido, y se denomina licor negro débil. El procesamiento posterior del licor negro débil, por ejemplo, mediante evaporación del agua, da como resultado una sustancia que normalmente contiene hasta alrededor del 65 al 80 % en peso de material sólido, que se denomina licor negro pesado.

En una realización, el flujo hemicelulósico acuoso usado en el proceso de la invención es licor marrón. Como se describe más arriba, el licor marrón es un producto derivado del proceso de sulfito para fabricar pulpa de madera, y es una mezcla acuosa que contiene material hemicelulósico, lignina/productos derivados de lignina y químicos inorgánicos. El licor marrón también se denomina licor rojo, licor espeso, licor residual y licor de sulfito.

En una realización, el flujo hemicelulósico acuoso usado en el proceso de la invención es un flujo residual hemicelulósico de un proceso para producir bioetanol (p. ej., un proceso para producir bioetanol que implica la fermentación de celulosa hidrolizada).

En una realización, el flujo hemicelulósico acuoso es un flujo hemicelulósico de un proceso para producir azúcares a partir de biomasa.

Las proporciones de hemicelulosa, celulosa y lignina presentes en la biomasa lignocelulósica varían dependiendo del tipo de biomasa, como lo hacen las proporciones de diferentes polisacáridos que conforman la proporción de hemicelulosa de la biomasa. En una realización preferida, la biomasa a partir de la cual se obtiene el flujo hemicelulósico comprende una madera dura, por ejemplo, *Acer* (arce), *Populus* (álamo temblón), *Betula* (abedul), *Fagus* (haya), *Eucalyptus* (eucalipto), *Quercus* (roble), *Populus* (álamo) o *Liquidambar* (árbol del ámbar). En una realización preferida, la biomasa de la cual se obtiene el flujo hemicelulósico comprende una madera suave, por ejemplo, *Abies* (abeto), *Larix* (alerce), *Picea* (píce) o *Pinus* (pino). En una realización preferida, la biomasa de la cual se obtiene el flujo hemicelulósico comprende césped, por ejemplo, *Panicum* (p. ej., *Panicum virgatum*, pasto aguja), Sorgo (p. ej., sorgo dulce) o *Saccharum* (p. ej., caña de azúcar).

Si se desea, el flujo hemicelulósico puede pretratarse antes de llevar a cabo la etapa (a). En una realización, no se lleva a cabo ningún tratamiento previo. En otra realización, el flujo hemicelulósico está concentrado para aumentar su contenido de sólidos.

Como se describe más arriba, un método conocido de tratamiento de biomasa lignocelulósica implica el tratamiento de dicha biomasa con un alcohol, y este proceso da lugar a un flujo hemicelulósico. Los flujos hemicelulósicos producidos de esta manera pueden usarse en el proceso de la invención, pero preferiblemente el flujo hemicelulósico usado en la presente invención no se ha obtenido de esta manera.

El proceso de la invención puede llevarse a cabo a nivel de lotes, o como un proceso continuo o semicontinuo. Por ejemplo, el flujo hemicelulósico puede procesarse como una sucesión de lotes. De manera similar, si se desea, el flujo hemicelulósico puede proveerse como una sucesión de lotes (p. ej., en una serie de contenedores enviados de una ubicación donde el flujo hemicelulósico se obtiene de la biomasa lignocelulósica a la ubicación donde se lleva a cabo el proceso de la invención).

Como se describe más arriba, los constituyentes de hemicelulosa normalmente tienen un grado significativo de acilación, y dado que el material hemicelulósico se rompe, pueden formarse cantidades significativas de ácidos orgánicos (p. ej., ácido acético, ácido fórmico). En las condiciones del proceso de la presente invención, una proporción significativa de los ácidos orgánicos y/o grupos de acilo que forman parte del material hemicelulósico en el flujo hemicelulósico se convierten a acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub> correspondientes, permitiendo la separación del éster de alquilo y sacáridos derivados de hemicelulosa en fases orgánica y acuosa respectivamente y, después de la conversión del monosacárido a ácido láctico, resultando en un producto de lactato que tiene pureza mejorada.

Ejemplos de alcoholes de alquilo preferidos incluye i-propanol, n-butanol, n-pentanol, n-hexanol y 2-etilhexanol.

En el método de la invención, el alcohol de alquilo es un alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo. El uso de un alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo resulta en la presencia de una mezcla bifásica en la etapa (b), facilitando la eliminación de especies que contienen acilo en la etapa (b), resultando en una materia prima de pureza mejorada para la etapa (c) opcional, debido a la partición preferencial de los ésteres de alquilo, más cualquier lignina presente, en la fase orgánica. Más preferiblemente, el alcohol de alquilo es n-butanol.

La etapa (a) se lleva a cabo en pH ácido, es decir, en un pH de menos de 7. Preferiblemente, la etapa (a) se lleva a cabo en un pH de menos de 5, de menos de 4, de menos de 3 o de menos de 2. Si el flujo hemicelulósico acuoso es ácido de por sí, simplemente contactar el flujo hemicelulósico con alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo a temperatura elevada puede ser suficiente para producir acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub>. Sin embargo, en algunos casos, puede ser preferible añadir un ácido en la etapa (a) para catalizar la formación de acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y de formato de alquilo C<sub>4-8</sub>. Cuando un ácido se añade en la etapa (a), este puede ser, por ejemplo, un ácido mineral, o un ácido orgánico como, por ejemplo, ácido trifluoroacético o ácido metanosulfónico. De manera alternativa, puede añadirse una resina de estado sólido como un catalizador de ácido. Preferiblemente, el ácido añadido en la etapa (a) es un ácido mineral, más preferiblemente un ácido mineral seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico (p. ej., ácido clorhídrico concentrado o ácido sulfúrico concentrado). En una realización, el ácido es ácido clorhídrico. En otra realización, el ácido es ácido sulfúrico. En una realización, se añade ácido sulfúrico concentrado o ácido clorhídrico concentrado, en una relación de volumen en el rango de 0,1:100 a 3:100 con respecto al volumen total de disolvente usado en la etapa (a).

La etapa (a) se lleva a cabo a una temperatura en el rango de 90 a 170 °C. Cuando el alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo usado en la etapa (a) es n-butanol, la etapa (a) se lleva a cabo, por ejemplo, a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C; o, por ejemplo, en el rango de 100 a 120 °C. El uso de temperaturas más altas puede reducir el tiempo de reacción llevando a una economía mejorada del proceso. El calentamiento bajo reflujo puede preferirse en muchos casos.

Cuando la etapa (a) se lleva a cabo a nivel de lotes, puede, por ejemplo, llevarse a cabo durante un período en el rango de 30 minutos a 48 horas; por ejemplo, en el rango de 1 a 24 horas; por ejemplo, en el rango de 1 a 12 horas, por ejemplo, en el rango de 2 a 6 horas. En una realización preferida de la invención, la etapa (a) se lleva a cabo a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C, y durante un período en el rango de 2 a 6 horas.

Como se describe más arriba, un flujo hemicelulósico es un flujo que comprende hemicelulosa, oligosacáridos derivados de hemicelulosa y/o monosacáridos derivados de hemicelulosa, y las proporciones de dichos constituyentes variarán dependiendo del proceso mediante el cual se ha obtenido el flujo hemicelulósico. Cuando el flujo hemicelulósico contiene hemicelulosa y/u oligosacáridos derivados de hemicelulosa, someter el flujo hemicelulósico a las condiciones de la etapa (a) resulta en hidrólisis de la hemicelulosa y/u oligosacáridos derivados de hemicelulosa, de modo tal que la proporción de material hemicelulósico en el producto de la etapa (a) que es monosacárido derivado de hemicelulosa es mayor que la proporción de material hemicelulósico en el material de inicio de flujo hemicelulósico que es monosacárido derivado de hemicelulosa. En una realización preferida, el flujo hemicelulósico se somete a las condiciones de la etapa (a) hasta que al menos 80 % en peso, al menos 90 % en peso, al menos 95 % en peso, o todos o sustancialmente todos los sacáridos derivados de hemicelulosa presentes en la mezcla de reacción sean monosacáridos derivados de hemicelulosa.

Cuando el ácido se añade en la etapa (a), el flujo hemicelulósico puede mezclarse con ácido antes de, al mismo

tiempo que, o después de mezclarse con alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo. Por ejemplo, alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo puede añadirse al flujo hemicelulósico seguido por el ácido, y la mezcla luego se calienta a temperatura elevada. De manera alternativa, el ácido puede añadirse al flujo hemicelulósico y a la mezcla calentada a temperatura elevada, con el alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo que luego se añade y la mezcla resultante se calienta a temperatura elevada durante un período adicional. De manera alternativa, el ácido puede añadirse al alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo, y la mezcla resultante luego se añade al flujo hemicelulósico y a la mezcla calentada a temperatura elevada.

La etapa (a) se lleva a cabo normalmente a presión ambiental, pero puede llevarse a cabo a presión superior o inferior si así se desea.

En una realización preferida de la etapa (a), el flujo hemicelulósico acuoso es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver, y el flujo hemicelulósico acuoso se mezcla con un ácido seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, y con n-butanol, a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C. En una realización preferida de la etapa (a), el flujo hemicelulósico acuoso es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver, y el flujo hemicelulósico acuoso se mezcla con un ácido seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, y con n-butanol, a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C, a presión ambiental, y durante un período en el rango de 2 a 6 horas.

En realizaciones alternativas de la etapa (a), el flujo hemicelulósico acuoso es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver, y el flujo hemicelulósico acuoso se mezcla con un ácido seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico y se calienta bajo reflujo durante un período inicial; después del enfriamiento opcional, la mezcla de reacción resultante se mezcla con n-butanol y se calienta bajo reflujo durante un período adicional.

Las condiciones en las cuales la etapa (a) se lleva a cabo determinarán si la mezcla de reacción es un sistema de una fase o de dos fases. En general, puede ser preferible llevar a cabo la reacción a una temperatura suficientemente alta para que la mezcla de reacción sea un sistema de una fase. El enfriamiento de una mezcla de reacción de una fase de la etapa (a) llevará a una separación de las fases acuosa y orgánica, para la separación en la etapa (b).

En la etapa (b), los productos obtenidos a partir de la etapa (a) se separan en una fase acuosa que comprende un monosacárido derivado de hemicelulosa y una fase orgánica que comprende acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub>. Los monosacáridos derivados de hemicelulosa se dividen preferiblemente en la fase acuosa y el acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y el formato de alquilo C<sub>4-8</sub> se dividen preferiblemente en la fase orgánica. Por consiguiente, el uso del proceso de la invención resulta en la separación de ácidos orgánicos de monosacáridos derivados de hemicelulosa, por la conversión de los ácidos en su acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub> y llevando a cabo la extracción líquido-líquido. Esta separación resulta en una materia prima de sacárido de pureza mejorada para una posible reacción posterior, por ejemplo, reacción con hidróxido de metal o hidróxido de amonio cuaternario en la etapa (c).

Cuando el flujo hemicelulósico contiene lignina y/o productos derivados de lignina, normalmente la lignina y/o los productos derivados de lignina preferiblemente se dividen en la fase orgánica también. En una realización, preferiblemente la mezcla de reacción obtenida a partir de la etapa (a) comprende lignina y/o productos derivados de lignina, y la etapa (b) comprende separar la mezcla de reacción en una fase acuosa que comprende monosacárido derivado de hemicelulosa y una fase orgánica que comprende acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub> así como lignina y/o productos derivados de lignina. Por consiguiente, el proceso de la invención también provee la separación de lignina/productos derivados de lignina de monosacáridos derivados de hemicelulosa, mejorando nuevamente la pureza de las materias primas que reaccionan con hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario en la etapa (c).

Como se describe más arriba, donde se usa un alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo, una mezcla bifásica resulta después de la etapa (a) sin necesidad de disolvente orgánico adicional. Sin embargo, si se desea, puede añadirse agua adicional antes de la separación. Puede usarse disolvente orgánico adicional para lavar la fase acuosa después de la separación inicial de la fase orgánica con el fin de mejorar la pureza de los sacáridos presentes en la fase acuosa. De manera similar, puede usarse agua adicional para la re-extracción de la fase orgánica separada para aumentar la cantidad de sacáridos obtenidos.

En la etapa (b), las fases orgánica y acuosa pueden separarse por técnicas rutinarias; por ejemplo, eliminando la capa inferior de un recipiente a través de una válvula de escape inferior, decantando o extrayendo con sifón la capa superior, o en un separador de fase líquido-líquido. La etapa (b) puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, o a una temperatura superior o inferior si se desea. En una realización preferida, la etapa (b) se lleva a cabo a temperatura elevada, preferiblemente a una temperatura en el rango de 30 a 95 °C, más preferiblemente en el rango de 40 a 90 °C. La etapa (b) se lleva a cabo normalmente a presión ambiental, pero puede llevarse a cabo a presión superior o inferior si se desea.

En la etapa (c) opcional, el monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con un hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario para producir lactato metálico o lactato de amonio cuaternario. Las condiciones de no fermentación de la etapa (c) son, en particular, adecuadas para su uso con la fase acuosa que contiene monosacárido producida en la etapa (b).

En una realización, el monosacárido derivado de hemicelulosa se combina con otra materia prima que contiene sacárido antes de la reacción con hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario. En otra realización, el monosacárido derivado de hemicelulosa no se combina con otra materia prima que contiene sacárido antes de la reacción con hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario.

En una realización preferida, se usa un hidróxido metálico en la etapa (c), por ejemplo, un metal alcalino o hidróxido metálico de tierras alcalinas. Preferiblemente, el hidróxido metálico se selecciona del grupo que consiste en hidróxido de litio, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, hidróxido de calcio e hidróxido de bario; más preferiblemente, el hidróxido metálico es hidróxido de sodio o hidróxido de bario; más preferiblemente, el hidróxido metálico es hidróxido de sodio.

Ejemplos de hidróxido de amonio cuaternario incluyen hidróxidos de tetra-alquil amonio como, por ejemplo, hidróxido de tetrametilamonio e hidróxido de tetraetilamonio, e hidróxidos de bencilalquilamonio como, por ejemplo, hidróxido de benciltrimetilamonio.

La etapa (c) se lleva a cabo normalmente en presencia de uno o más disolventes. En particular, la etapa (c) se lleva a cabo normalmente en presencia de agua. La reacción entre el monosacárido derivado de hemicelulosa e hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario puede también, si se desea, tener lugar en presencia de uno o más disolventes orgánicos, por ejemplo, un oxigenado como, por ejemplo, alcohol, éster, éter, o disolvente de cetona; y/o en presencia de uno o más extractantes reactivos como, por ejemplo, amina. Sin embargo, en una realización preferida, no se mezcla ningún disolvente orgánico con la fase acuosa producida en la etapa (b) antes de llevar a cabo la etapa (c). En una realización preferida, agua es el único disolvente presente en la etapa (c).

La etapa (c) se lleva a cabo preferiblemente a temperatura elevada, por ejemplo, a una temperatura de hasta 160 °C. Preferiblemente, monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido metálico a una temperatura en el rango de 50 a 140 °C, más preferiblemente en el rango de 60 a 120 °C. En una realización, la etapa (c) se lleva a cabo a una temperatura en el rango de 105 a 130 °C. En una realización, monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido metálico en agua bajo reflujo.

La etapa (c) se lleva a cabo normalmente a presión ambiental, pero puede llevarse a cabo a presión superior o inferior si así se desea. La etapa (c) se lleva a cabo normalmente en una atmósfera ambiental o inerte (p. ej., en una atmósfera N<sub>2</sub>).

En una realización preferida, la etapa (c) se lleva a cabo a nivel de lotes y el monosacárido derivado de hemicelulosa en agua se añade a una solución acuosa de hidróxido metálico durante un período a temperatura elevada. Por ejemplo, una mezcla que comprende monosacárido derivado de hemicelulosa y agua puede añadirse durante un período a una mezcla de hidróxido metálico y agua que está a una temperatura elevada, por ejemplo, bajo reflujo. Preferiblemente, la mezcla se añade durante un período en el rango de al menos 5 minutos a 12 horas, de al menos 5 minutos a 3 horas, o de al menos 5 minutos a 1 hora. En una realización preferida, el monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido metálico durante un período en el rango de 15 minutos a 3 horas. En una realización preferida, el monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido metálico durante un período en el rango de 10 minutos a 1 hora.

La relación de hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario con respecto al monosacárido derivado de hemicelulosa debe ser suficiente para efectuar una alta conversión de monosacárido derivado de hemicelulosa a lactato. Por ejemplo, la relación molar de iones de hidróxido en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario con respecto al monosacárido derivado de hemicelulosa puede ser de hasta 10:1.

Sin embargo, una ventaja del proceso de la invención es que niveles comparativamente bajos de productos derivados de ácido orgánico como, por ejemplo, ácido fórmico y/o ácido acético están normalmente presentes en el material a partir de la etapa (b), que pueden reaccionar con hidróxido metálico en la etapa (c). Como resultado, se reduce la necesidad de usar hidróxido metálico adicional para neutralizar especies de ácido. Por consiguiente, en una realización preferida, la relación molar de iones de hidróxido presentes en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario, con respecto al monosacárido derivado de hemicelulosa está en el rango de 1,5:1 a 6:1, más preferiblemente en el rango de 1,5:1 a 4:1, incluso más preferiblemente en el rango de 1,7:1 a 2,5:1, incluso más preferiblemente 1,7:1 a 2,1:1. En una realización, la relación molar de iones de hidróxido presentes en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario con respecto al monosacárido derivado de hemicelulosa está en el rango de 1,5:1 a 2,5:1. En una realización, la relación molar de iones de hidróxido en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario con respecto al monosacárido derivado de hemicelulosa está en el rango de 1,5:1 a 2,1:1.

En una realización preferida de la etapa (c), el monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido de

sodio a una temperatura en el rango de 50 a 140 °C.

En una realización preferida, el flujo hemicelulósico acuoso usado en la etapa (a) es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver, y en la etapa (a) el flujo de hemicelulosa se mezcla con un ácido seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, y con n-butanol, a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C; y la etapa (c) comprende reaccionar a al menos una porción del monosacárido derivado de hemicelulosa con hidróxido de sodio, a una temperatura en el rango de 50 a 140 °C.

En una realización preferida, el flujo hemicelulósico acuoso usado en la etapa (a) es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver, y en la etapa (a) el flujo hemicelulósico se mezcla con un ácido seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, y con n-butanol, a una temperatura en el rango de 95 a 150 °C a presión ambiental, y durante un período en el rango de 2 a 6 horas; la etapa (b) se lleva a cabo a temperatura elevada; y la etapa (c) comprende reaccionar a al menos una porción del monosacárido derivado de hemicelulosa con hidróxido de sodio, a una temperatura en el rango de 50 a 140 °C, a presión ambiental, y durante un período en el rango de 15 minutos a 3 horas.

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario producido por el proceso de la invención cuando la etapa (c) se incluye puede, por ejemplo, convertirse en ácido láctico. Por consiguiente, la invención provee un proceso que comprende producir un lactato metálico o un lactato de amonio cuaternario por un proceso según la invención; y (d) reaccionar a al menos una porción del lactato metálico o lactato de amonio cuaternario con un ácido para producir ácido láctico. Normalmente, la etapa (d) se lleva a cabo a temperatura ambiente, aunque pueden usarse temperaturas más altas o más bajas si se desea. La etapa (d) se lleva a cabo normalmente en una atmósfera ambiental o inerte (p. ej., en una atmósfera N<sub>2</sub>). El ácido usado en la etapa (d) es preferiblemente un ácido mineral, más preferiblemente ácido clorhídrico o ácido sulfúrico. En una realización, se usa el mismo tipo de ácido en la etapa (d) que el ácido usado en la etapa (a). Preferiblemente, la cantidad de ácido usada en la etapa (d) debe ser suficiente para neutralizar todo o sustancialmente todo el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario presente en la mezcla de reacción. Como se describe más arriba, una ventaja del proceso de la invención es que las cantidades de hidróxido metálico o lactato de amonio cuaternario requeridas en la etapa (c) para efectuar una buena conversión de monosacárido derivado de hemicelulosa a lactato son relativamente bajas. Como resultado, las cantidades de ácido requeridas para neutralizar el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario también son relativamente bajas, lo cual resulta en niveles reducidos de sales que requieren eliminación y/o reprocesamiento. En una realización preferida, la relación molar de protones disponibles presentes en el ácido usado en la etapa (d) con respecto a iones de hidróxido presentes en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario usado en la etapa (c), está en el rango de 0,9:1 a 2:1, más preferiblemente en el rango de 0,9:1 a 1,5:1; incluso más preferiblemente en el rango de 0,9:1 a 1,1:1.

El ácido láctico producido en la etapa (d) puede también convertirse en otros productos posteriores como, por ejemplo, lactato de alquilo. Por consiguiente, la invención provee también un proceso para producir un lactato de alquilo que comprende producir ácido láctico por un proceso según la invención; y (e) reaccionar al ácido láctico con un alcohol de alquilo. Preferiblemente, el alcohol de alquilo usado en la etapa (e) es un alcohol de alquilo C<sub>1-6</sub>, más preferiblemente un alcohol de alquilo C<sub>1-6</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo (p. ej., etanol, n-propanol, i-propanol, n-butanol, n-pentanol, n-hexanol), más preferiblemente un alcohol de alquilo C<sub>3-6</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo, más preferiblemente el alcohol de alquilo es n-butanol. En una realización, el mismo tipo de alcohol de alquilo se usa en las etapas (a) y (e); preferiblemente el alcohol de alquilo usado en las etapas (a) y (e) es n-butanol. La etapa (e) puede llevarse a cabo en presencia de un catalizador, por ejemplo, un catalizador de ácido (p. ej., un ácido mineral como, por ejemplo, ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, o un ácido orgánico como, por ejemplo, ácido láctico, o un ácido sólido como, por ejemplo, un ácido soportado por resina o una zeolita ácida). En dichos casos, normalmente se prefiere usar un exceso de ácido en la etapa (d) en comparación con el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario usado en la etapa (c), p. ej., la relación molar de protones disponibles presentes en el ácido usado en la etapa (d), con respecto a iones de hidróxido presentes en el hidróxido metálico o hidróxido de amonio cuaternario usado en la etapa (c), puede estar en el rango de 1,01:1,00 a 1,50:1, preferiblemente en el rango de 1,01:1,00 a 1,20:1,00; más preferiblemente en el rango de 1,01:1,00 a 1,10:1,00. La etapa (e) se lleva a cabo de forma adecuada a temperatura elevada, por ejemplo, a una temperatura en el rango de 50 a 150 °C. Cuando la mezcla de producto de la etapa (d) contiene agua, el agua puede eliminarse de la mezcla durante la etapa (e), por ejemplo mediante evaporación o destilación. El agua producida por la reacción del ácido láctico con alcohol también se elimina normalmente a medida que se forma. Por ejemplo, una mezcla que contiene agua, alcohol de alquilo C<sub>1-6</sub> (p. ej., n-butanol), ácido láctico y ácido mineral (p. ej., HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) puede calentarse bajo reflujo con agua que se elimina (p. ej., como una mezcla azeotrópica).

Etapas de procesamiento o reactivos adicionales pueden también usarse en cualquier etapa del proceso.

Normalmente, lactato metálico racémico, lactato de amonio cuaternario, ácido láctico o lactato de alquilo se produce por los procesos descritos más arriba, cada uno de los cuales puede convertirse en productos posteriores adicionales mediante métodos rutinarios. A menos que se lleve a cabo una etapa de resolución, los productos posteriores también serán normalmente racémicos. La invención también provee un proceso para producir ácido láctico, lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de

ácido láctico y amoníaco o una amina, que comprende producir lactato metálico o lactato de amonio cuaternario por un proceso según la invención, y convertir el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario en ácido láctico, lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o dicho complejo. La invención también provee un proceso para producir lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina, que comprende producir ácido láctico por un proceso según la invención, y convertir el ácido láctico en lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o dicho complejo. La invención también provee un proceso para producir ácido láctico, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina, que comprende producir lactato de alquilo por un proceso según la invención, y convertir el lactato de alquilo en ácido láctico, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o dicho complejo.

Por ejemplo, lactato metálico o lactato de amonio cuaternario pueden convertirse en un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina convirtiendo el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario en ácido láctico como se describe más arriba, y reaccionando al ácido láctico con una amina o amoníaco para producir el complejo. Cuando se usa hidróxido de bario y se produce lactato de bario, también puede convertirse en un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina, como se describe en, por ejemplo, el documento WO2012/052703.

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede también convertirse en lactato de alquilo, por ejemplo mediante conversión en ácido láctico y luego calentarse con alcohol de alquilo como se describe más arriba. De manera alternativa, el lactato metálico puede convertirse en un complejo, y el complejo puede convertirse luego en lactato de alquilo, por ejemplo, calentando el complejo para eliminar amoníaco o amina, y calentando en presencia de un alcohol de alquilo (p. ej., metanol, etanol, n-propanol, isopropanol, n-butanol) para producir el lactato de alquilo. En un ejemplo adicional, lactato de amonio de alquilo cuaternario puede calentarse para producir lactato de alquilo y la trialkilamina correspondiente. Como se describe más arriba, el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario producido por el proceso de la invención será normalmente racémico (es decir, contiene proporciones sustancialmente iguales de aniones de (S)-lactato y (R)-lactato). Como resultado, excepto en el caso donde una etapa de resolución se lleva a cabo para separar enantiómeros, una mezcla de lactatos de alquilo se obtendrá normalmente (p. ej., una mezcla de (R)-lactato de alquilo y (s)-lactato de alquilo).

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede también convertirse en ácido láctico oligomérico, por ejemplo, mediante conversión en ácido láctico, complejo o lactato de alquilo como se describe más arriba, y calentando el ácido láctico, complejo o lactato de alquilo, y eliminando agua, amina o amoníaco y/o alcohol.

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede también convertirse en lactida, un dímero cíclico de ácido láctico que es útil en la producción de ácido poliláctico. Por ejemplo, lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede convertirse en ácido láctico oligomérico como se describe más arriba, y el ácido láctico oligomérico puede convertirse en lactida calentándose en presencia de un catalizador transesterificación. Existen tres formas de lactida, (S,S)- o L-lactida, (R,R)- o D-lactida, y (R,S)- o meso-lactida. Como se describe más arriba, el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario producido por el proceso de la invención será normalmente racémico (es decir, contiene proporciones sustancialmente iguales de aniones de (S)-lactato y (R)-lactato). Como resultado, excepto en el caso donde se lleva a cabo una etapa de resolución, normalmente se obtendrá una mezcla de lactidas. (R,S)-lactida puede separarse de (S,S)-lactida y (R,R)-lactida mediante técnicas de separación estándares, por ejemplo mediante destilación, extracción de disolventes o cristalización.

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede también convertirse en lactil lactato de alquilo, por ejemplo mediante conversión en lactida y reaccionado a la lactida con alcohol de alquilo para producir lactil lactato de alquilo. Cuando (R,R)-lactida reacciona, el lactil lactato de alquilo será en gran medida (R,R)-lactil lactato de alquilo. Cuando (S,S)-lactida reacciona, el lactil lactato de alquilo será en gran medida (S,S)-lactil lactato de alquilo.

El lactato metálico o lactato de amonio cuaternario puede también convertirse en ácido poliláctico, por ejemplo mediante conversión en lactida, y mediante polimerización de la lactida para producir ácido poliláctico (p. ej., contactando con un catalizador a temperatura elevada). Cuando (R,R)-lactida se polimeriza, se produce poli (R)-ácido láctico. Cuando (S,S)-lactida se polimeriza, se produce poli (S)-ácido láctico. Poli (R)-ácido láctico puede combinarse con poli (S)-ácido láctico, por ejemplo usando mezcla de fusión, para producir ácido poliláctico estereocomplejo.

Etapas de procesamiento rutinarias adicionales pueden llevarse a cabo en cualquier etapa del proceso, p. ej., para añadir o eliminar disolvente. A modo de ejemplo, el flujo hemicelulósico acuoso puede estar concentrado para eliminar cierta agua antes de llevar a cabo la etapa (a), y/o la fase acuosa obtenida en la etapa (b) puede estar concentrada para eliminar cierta agua antes de llevar a cabo la etapa (c) (p. ej., mediante destilación, evaporación o separación de membrana).

Los siguientes ejemplos ilustran la invención.

#### **Ejemplo 1: producción de lactato de sodio y ácido láctico a partir del flujo hemicelulósico**

a) A un frasco de 250 mL se cargó xilano (3,301 g, de madera de haya, Sigma-Aldrich, 96,4 % de pureza en base al área HPLC) seguido de agua (50 mL), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (0,5 mL) y n-butanol (30 mL, pureza determinada por análisis GC, es preciso ver la Fig. 3). La suspensión se agitó y calentó bajo reflujo durante 3 horas durante las cuales se disolvió todo el material alquitranado suspendido.

b) La mezcla de reacción luego se enfrió hasta temperatura ambiente y las capas se separaron. La capa de n-butanol orgánica se coloreó oscura, coherente con la eliminación de residuos de lignina, y la capa acuosa inferior se coloreó en un tono pálido/amarillo. El análisis de la capa de n-butanol por GC indicó la presencia de acetato de butilo (Fig. 4). El análisis de la capa acuosa mediante HPLC no mostró picos visibles correspondientes al ácido acético (Fig. 1).

c) La capa acuosa separada (50,9 g) luego se añadió durante un período de 60 min a una solución de hidróxido de sodio acuosa al 50 % (8,2 mL) a 100-120 °C. La mezcla de reacción luego se enfrió hasta la temperatura ambiente y se acidificó con 10 mL de HCl concentrado (37 %) para lograr un pH <3 y se conformó hasta 1 L con agua en un frasco volumétrico y se analizó mediante HPLC, indicando un rendimiento de ácido láctico de 0,84 g (Fig. 2).

**Ejemplo 2: procesamiento de un licor pre-hidrolizado como flujo hemicelulósico**

(i) Análisis de flujo hemicelulósico (licor pre-hidrolizado) para ácidos

Muestras de licor pre-hidrolizado obtenidas de un proceso de pulpa para disolver comercial se analizaron para contenido de ácido acético y ácido fórmico (mediante HPLC) así como contenido de lignina (mediante espectroscopía UV) y se descubrió que contenían las siguientes concentraciones: ácido acético, 0,64 % p/v; ácido fórmico, 0,07 % p/v; y lignina, 0,65 % p/v.

(ii) Determinación de contenido de sacáridos

A una cantidad medida de licor pre-hidrolizado, se añadió ácido sulfúrico (1 % v/v según el volumen de PHL) y la suspensión se calentó bajo reflujo durante tres horas. La mezcla de reacción se enfrió y analizó para contenido de monosacáridos mediante IC específico para monosacáridos. Los resultados indicaron que la hidrólisis generó principalmente xilosa (2,48 % p/v) con cierta glucosa, arabinosa, galactosa y manosa.

(iii) Concentración de licor pre-hidrolizado:

A un frasco de evaporación de 2000 mL se cargaron 1000 mL de licor pre-hidrolizado. La suspensión se agitó y calentó hasta 55 °C en un evaporador rotatorio y 760 mL de destilado se eliminaron bajo presión reducida (140- 95 mbar), dejando 240 mL de licor pre-hidrolizado concentrado que se usó como una solución concentrada en los siguientes experimentos. El destilado se analizó para contenido de ácido acético y ácido fórmico mediante HPLC y se encontró que contenía 3,02 mg/mL de ácido acético y 0,02 mg/mL de ácido fórmico. Esto es igual a una eliminación del 22,4 % p/p del ácido acético total y una eliminación del 21,7 % p/p del ácido fórmico total. Se asumió que la concentración de los monosacáridos y lignina aumentó *pro-rata*.

**Ejemplo 2(a): tratamiento de licor pre-hidrolizado concentrado usando HCl acuoso**

A un frasco de fondo redondeado de 250 mL equipado con condensador de reflujo se cargó el licor pre-hidrolizado concentrado (50 mL/54,0 g) seguido de ácido clorhídrico concentrado (2,5 mL) y n-butanol (30 mL). La mezcla bifásica se agitó y calentó hasta reflujo durante 3 horas durante las cuales se disolvieron todos los sólidos suspendidos y el color. La mezcla de reacción luego se enfrió hasta temperatura ambiente y las capas se separaron. La fase orgánica se coloreó oscura y la fase acuosa inferior se coloreó en tono pálido/amarillo.

La fase acuosa separada (49 mL) se analizó para contenido de monosacárido y lignina y se encontraron los siguientes resultados:

xilosa % p/v	glucosa % p/v	arabinosa % p/v	galactosa % p/v	manosa % p/v	lignina % p/v	lignina extraída % p/p
8,34	0,42	0,23	0,38	0,82	0,24	91,5

La fase orgánica separada (35 mL) se analizó para acetato de butilo y formato de butilo (mediante GC) y se encontró que contenía 35,42 mg/mL de acetato de butilo y 3,62 mg/mL de formato de butilo. Esto es igual a una eliminación del 30,0 % p/p del ácido acético total y una eliminación del 38,8 % p/p del ácido fórmico total.

**Ejemplo 2(b): tratamiento de licor pre-hidrolizado concentrado usando HCl acuoso:**

A un frasco de fondo redondeado de 250 mL equipado con condensador de reflujo se cargó licor pre-hidrolizado

## ES 3 015 167 T3

concentrado (50 mL/54,4 g) seguido de ácido clorhídrico concentrado (2,5 mL).

5 La suspensión se agitó y calentó hasta reflujo durante tres horas y se enfrió hasta temperatura ambiente. A esta mezcla de reacción, se añadió n-butanol (30 mL) y la mezcla bifásica se agitó y calentó hasta reflujo durante 1 hora durante la cual se disolvieron todos los sólidos suspendidos y el color. La mezcla de reacción luego se enfrió hasta temperatura ambiente y las capas se separaron. La fase orgánica se coloreó oscura y la fase acuosa inferior se coloreó en tono pálido/amarillo. La fase acuosa separada (49 mL) se analizó para contenido de monosacárido y lignina y se encontraron los siguientes resultados:

xilosa % p/v	glucosa % p/v	arabinosa % p/v	galactosa % p/v	manosa % p/v	lignina % p/v	lignina extraída % p/p
8,60	0,49	0,14	0,37	0,95	0,22	92,1

10 La fase orgánica separada (30 mL) se analizó para acetato de butilo y formato de butilo (mediante GC) y se encontró que contenía 38,66 mg/mL de acetato de butilo y 4,17 mg/mL de formato de butilo. Esto es igual a una eliminación del 28,1 % p/p del ácido acético total y una eliminación del 38,3 % p/p del ácido fórmico total.

### 15 **Ejemplo 2 (c): tratamiento de licor pre-hidrolizado concentrado usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:**

A un frasco de fondo redondeado de 250 mL equipado con condensador de reflujo se cargó el licor pre-hidrolizado concentrado (50 mL/54,3 g) seguido de ácido sulfúrico concentrado (1,6 mL) y n-butanol (30 mL). La mezcla bifásica se agitó y calentó hasta reflujo durante tres horas durante las cuales se disolvieron todos los sólidos suspendidos y el color. La mezcla de reacción luego se enfrió hasta temperatura ambiente y las capas se separaron. La fase orgánica se coloreó oscura y la fase acuosa inferior se coloreó en tono pálido/amarillo.

25 La fase acuosa separada (47,5 mL) se analizó para contenido de monosacárido y lignina y se encontraron los siguientes resultados:

xilosa % p/v	glucosa % p/v	arabinosa % p/v	galactosa % p/v	manosa % p/v	lignina % p/v	lignina extraída % p/p
8,86	0,43	0,22	0,40	0,91	0,25	91,2

30 La fase orgánica separada (34,5 mL) se analizó para acetato de butilo y formato de butilo (mediante GC) y se encontró que contenía 37,07 mg/mL de acetato de butilo y 4,15 mg/mL de formato de butilo. Esto es igual a una eliminación del 30,9 % p/p del ácido acético total y una eliminación del 43,9 % p/p del ácido fórmico total.

### 35 **Ejemplo 2(d): tratamiento de licor pre-hidrolizado concentrado usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acuoso:**

A un frasco de fondo redondeado de 250 mL equipado con condensador de reflujo se cargó el licor pre-hidrolizado concentrado (50 mL/54 g) seguido de ácido sulfúrico concentrado (1,6 mL). La suspensión se agitó y calentó hasta reflujo durante tres horas y se enfrió hasta temperatura ambiente. A esta mezcla de reacción, se añadió n-butanol (30 mL) y la mezcla bifásica se agitó y calentó hasta reflujo durante una hora durante la cual se disolvieron todos los sólidos suspendidos y el color. La mezcla de reacción luego se enfrió hasta temperatura ambiente y las capas se separaron. La fase orgánica se coloreó oscura y la fase acuosa inferior se coloreó en tono pálido/amarillo. La fase acuosa separada (47 mL) se analizó para contenido de monosacárido y lignina y se encontraron los siguientes resultados:

xilosa % p/v	glucosa % p/v	arabinosa % p/v	galactosa % p/v	manosa % p/v	lignina % p/v	lignina extraída % p/p
9,11	0,49	0,22	0,42	1,01	0,27	90,5

45 La fase orgánica separada (35 mL) se analizó para acetato de butilo y formato de butilo (mediante GC) y se encontró que contenía 38,02 mg/mL de acetato de butilo y 4,76 mg/mL de formato de butilo. Esto es igual a una eliminación del 32,2 % p/p del ácido acético total y una eliminación del 51,1 % p/p del ácido fórmico total.

## REIVINDICACIONES

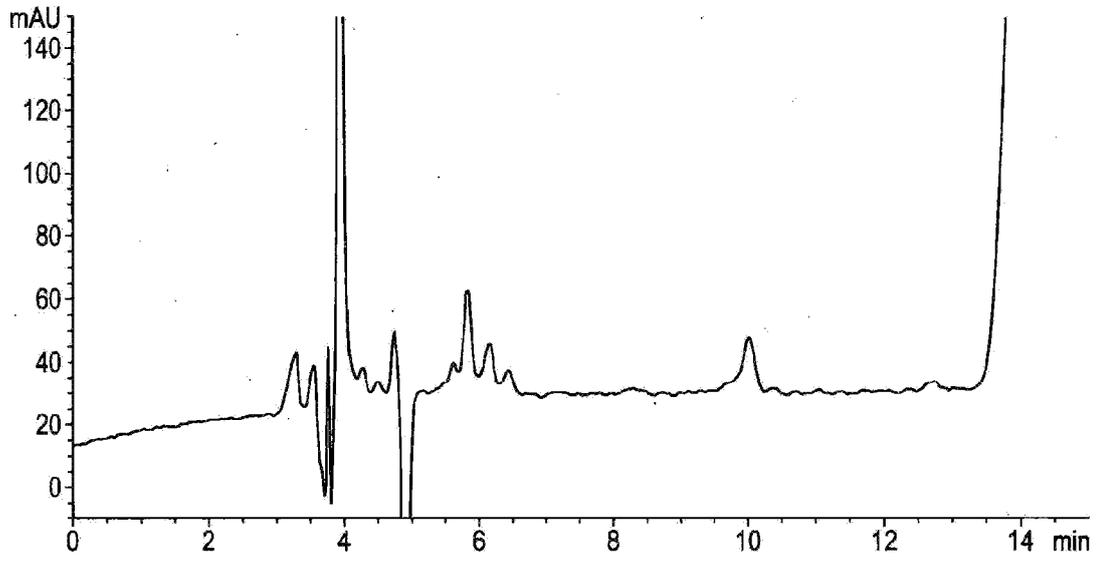
1. Un método de procesamiento de un flujo hemicelulósico acuoso, que comprende:
- 5 (a) contactar un flujo hemicelulósico acuoso con un alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo a una temperatura en el rango de 90 a 170 °C y pH ácido para producir una mezcla de reacción que comprende un acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub> y un monosacárido derivado de hemicelulosa; y
- 10 (b) separar la mezcla de reacción obtenida de la etapa (a) en una fase acuosa que comprende dicho monosacárido derivado de hemicelulosa y una fase orgánica que comprende dicho acetato de alquilo C<sub>4-8</sub> y formato de alquilo C<sub>4-8</sub>, en donde la mezcla de reacción obtenida de la etapa (a) se separa directamente en la fase acuosa y la fase orgánica sin necesidad de disolvente orgánico adicional,
- 15 y en donde al menos el 60 % en peso del material de sacárido presente en el flujo hemicelulósico acuoso es material de hemicelulosa.
2. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 1, en donde el flujo hemicelulósico acuoso se ha obtenido por el tratamiento de biomasa usando un proceso que no comprende tratar la biomasa con un alcohol.
- 20 3. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 1, en donde el flujo hemicelulósico acuoso se ha obtenido por el tratamiento de biomasa usando uno de los siguientes métodos: tratamiento con agentes alcalinos; tratamiento con amoníaco líquido; tratamiento con agua caliente líquida comprimida o vapor; o un proceso para producir pulpa para disolver.
- 25 4. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 3, en donde el flujo hemicelulósico acuoso es un licor pre-hidrolizado obtenido de un proceso para producir pulpa para disolver.
5. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 4, en el cual el proceso para producir pulpa para disolver implica la hidrólisis de virutas de madera usando agua caliente bajo presión, o usando vapor.
- 30 6. Un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo es un alcohol de alquilo C<sub>4-6</sub> que contiene solo un grupo hidroxilo.
- 35 7. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 6, en donde el alcohol de alquilo C<sub>4-8</sub> es n-butanol.
8. Un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la etapa (a) se lleva a cabo a una temperatura de 95 °C a 150 °C.
- 40 9. Un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el flujo hemicelulósico comprende lignina y/o productos derivados de lignina, y en donde la fase orgánica separada en la etapa (b) comprende dicha lignina y/o productos derivados de lignina.
- 45 10. Un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde en la etapa (a) el flujo hemicelulósico acuoso se mezcla con un ácido.
- 50 11. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 10, en donde el ácido se selecciona del grupo que consiste en ácido clorhídrico y ácido sulfúrico.
12. Un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende la etapa adicional de:
- (e) reaccionar a dicho monosacárido derivado de hemicelulosa obtenido a partir de la etapa (b) con un hidróxido de metal o un hidróxido de amonio cuaternario para producir un lactato metálico o un lactato de amonio cuaternario.
- 55 13. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 12, en donde en la etapa (c) dicho monosacárido derivado de hemicelulosa reacciona con hidróxido de sodio.
14. Un proceso según se reivindica en la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde la etapa (c) se lleva a cabo a una temperatura en el rango de 50 a 140 °C.
- 60 15. Un proceso que comprende:
- 65 producir un lactato metálico o lactato de amonio cuaternario por un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14; y
- (d) reaccionar a al menos una porción del lactato metálico o lactato de amonio cuaternario con un ácido para

producir ácido láctico; y opcionalmente

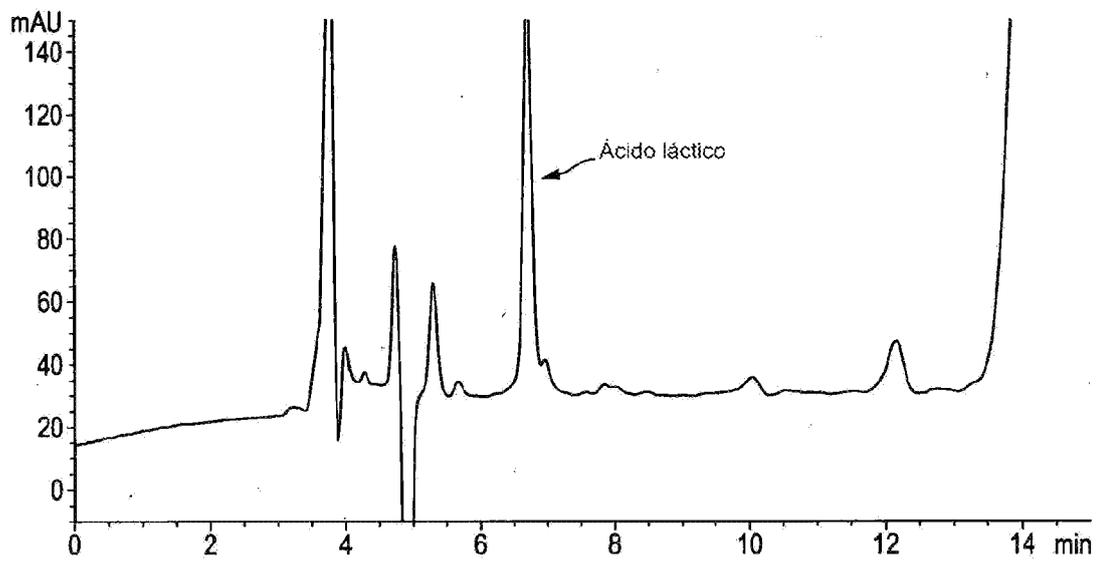
(e) reaccionar a al menos una porción del ácido láctico con un alcohol de alquilo para producir un lactato de alquilo.

5 16. Un proceso para producir ácido láctico, lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina que comprende: producir lactato metálico o lactato de amonio cuaternario por un proceso según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14; y convertir el lactato metálico o lactato de amonio cuaternario en ácido láctico, lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico o dicho complejo.

10 17. Un proceso para producir (i) un lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina que comprende: producir ácido láctico por un proceso según se reivindica en la reivindicación 15; y convertir el ácido láctico en dicho lactato de alquilo, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o dicho complejo; o (ii) ácido láctico, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o un complejo de ácido láctico y amoníaco o una amina que comprende: producir un lactato de alquilo por un proceso según se reivindica en la reivindicación 15; y convertir el lactato de alquilo en ácido láctico, ácido láctico oligomérico, lactida, lactil lactato de alquilo, ácido poliláctico, o dicho complejo.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

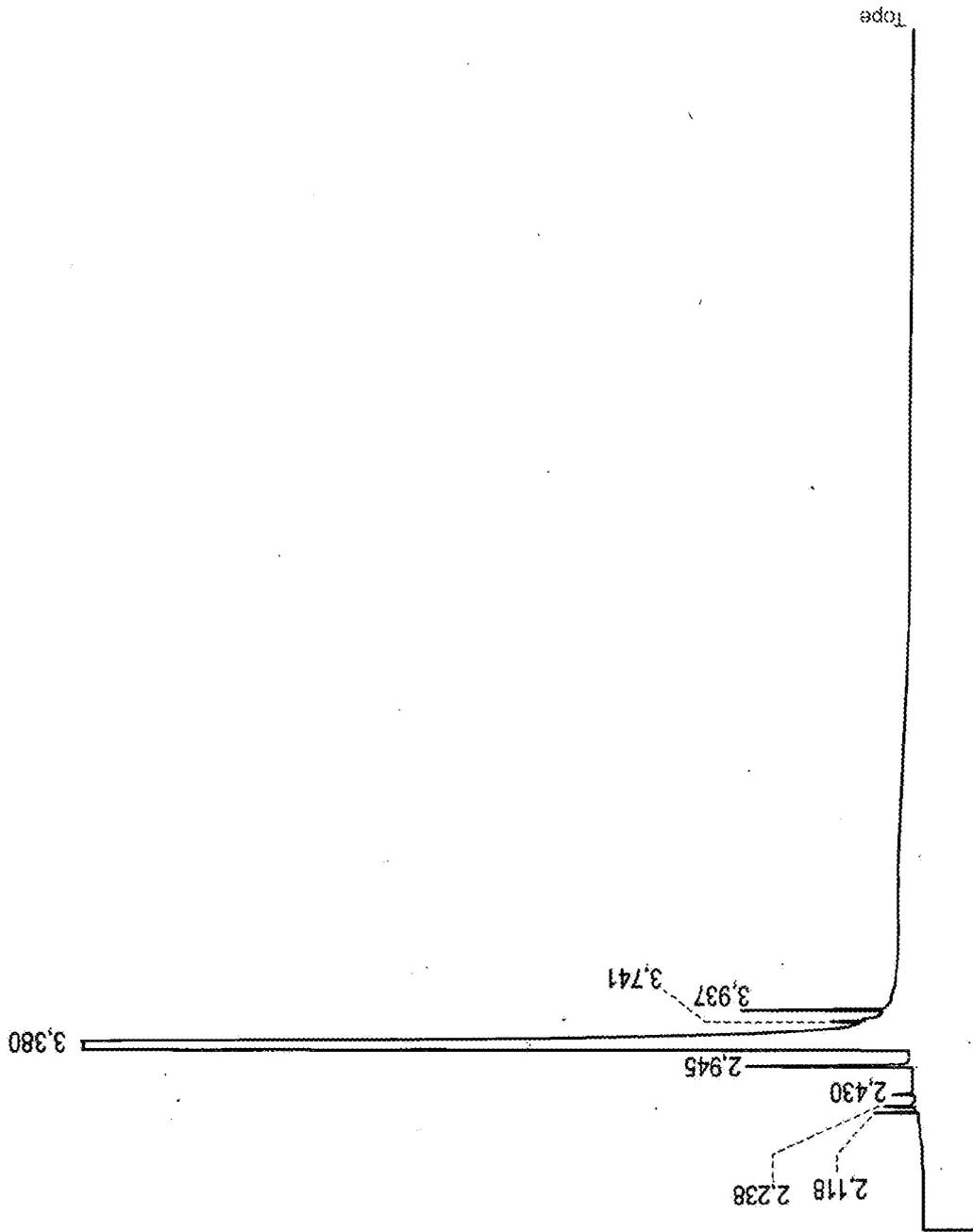


FIG. 3

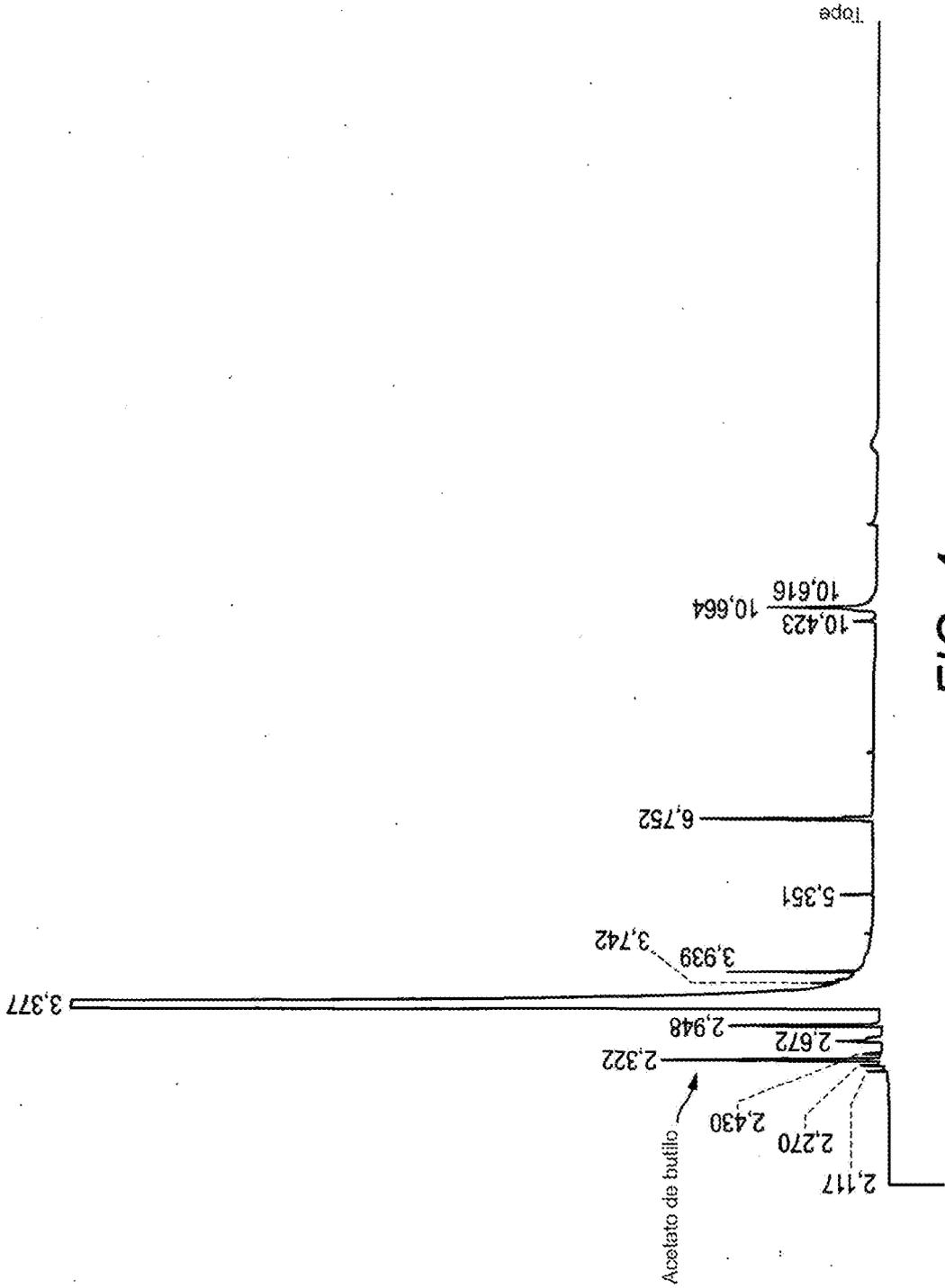


FIG. 4