

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 499**

51 Int. Cl.:

C12P 7/18 (2006.01)

C13K 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.01.2016 PCT/US2016/012384**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.07.2016 WO16112134**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2016 E 16735376 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 3242871**

54 Título: **Métodos para extraer y convertir azúcares de hemicelulosa**

30 Prioridad:

07.01.2015 US 201562100791 P
02.11.2015 US 201562249801 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.06.2020

73 Titular/es:

VIRDIA, INC. (100.0%)
1319 Highway 182
Raceland, LA 70394, US

72 Inventor/es:

JANSEN, ROBERT;
LAWSON, JAMES ALAN;
CARDEN, ADAM TYLER;
TRAVISANO, PHILIP;
STOUT, BRENDON CHRISTOPHER y
LAPIDOT, NOA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 764 499 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

Métodos para extraer y convertir azúcares de hemicelulosa

5 Antecedentes de la invención

La biomasa lignocelulósica es un material renovable abundante que durante mucho tiempo se ha reconocido como una materia prima potencial para la producción de productos químicos, combustibles y materiales, incluyendo sustitutos del azúcar de poliol tales como xilitol. La biomasa lignocelulósica comprende principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Los procesos eficientes y rentables para extraer, separar y refinar azúcares de la biomasa siguen siendo un desafío.

El xilitol es un alcohol de azúcar de cinco carbonos que tiene propiedades favorables como sustituto del azúcar, incluyendo un contenido calórico bajo, tolerancia gastrointestinal buena y un metabolismo casi independiente de la insulina en seres humanos. Tradicionalmente, el xilitol se produce mediante hidrogenación química de una mezcla de monosacáridos que contiene xilosa en presencia de un catalizador metálico, tal como el níquel Raney, que necesita un equipo especializado y caro para los requisitos de presión y temperatura altas de la reacción. La hidrogenación es inespecífica y produce polioles de otros monosacáridos presentes en la mezcla de reacción que son difíciles y costosos de separar del producto de xilitol deseado. El metal traza no es deseable y también debe retirarse del producto. En general, este proceso caro e ineficiente produce xilitol con un rendimiento de solo el 40-60 %. Se han realizado algunas investigaciones básicas dirigidas al desarrollo de bioprocesos para la producción de xilitol, pero solo pueden obtenerse rendimientos razonables usando D-xilosa pura como materia prima. El documento WO 2013/166469 describe una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada derivada de un hidrolizado lignocelulósico, que comprende un contenido de xilosa de medio a alto, además de hexosas y un contenido bajo de calcio y furfural.

Sumario de la invención

Por tanto, existe una necesidad apremiante de un método de selección de corrientes de azúcar adecuadas para la producción de xilitol. La presente divulgación aborda esta necesidad proporcionando métodos, sistemas y composiciones para producir xilitol a partir de biomasa lignocelulósica. La biomasa lignocelulósica puede procesarse y refinarse para producir corrientes de azúcar de hemicelulosa y corrientes adecuadas para la conversión seleccionada en xilitol. Esto permite una producción eficiente y rentable de xilitol a partir de fuentes renovables a escala industrial.

En el presente documento se desvela un método de producción de xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa. En una realización, el método comprende: (i) fermentar una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para producir un caldo de fermentación que comprende xilitol; y (ii) recuperar xilitol del caldo de fermentación, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se ha producido mediante un proceso que comprende: (a) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa; (b) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor de amina para formar una mezcla; y (c) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor de amina y al menos una impureza y la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, la biomasa se selecciona entre madera dura, pulpa de madera, bagazo, hojas de caña de azúcar, abedul, eucalipto, mazorcas de maíz, rastrojos de maíz, cáscaras de coco, pasto varilla y paja de trigo, tal como bagazo y hojas de caña de azúcar.

En algunos ejemplos, el método comprende adicionalmente reducir el contenido de cenizas y tierra de la biomasa antes de extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa. Opcionalmente, la reducción comprende una o más fases de suspensión, lavado y deshidratación de la biomasa. En algunos ejemplos, la extracción de azúcares de hemicelulosa comprende extracción con agua caliente. Opcionalmente, la extracción con agua caliente comprende adicionalmente un ácido, tal como un ácido inorgánico. En algunos ejemplos, el ácido está presente en una cantidad de hasta el 2 % en peso/peso. Opcionalmente, la extracción se produce a una temperatura de 100 a 200 °C.

En algunos ejemplos, el extractor de amina comprende una amina y un diluyente. Opcionalmente, la amina comprende al menos 20 átomos de carbono, tal como trilaureilamina. Opcionalmente, el diluyente comprende un alcohol, tal como hexanol o 2-etil-1-hexanol. En algunos ejemplos, el diluyente comprende un monoalcohol C₆₋₁₂, queroseno o una mezcla de los mismos. En algunos ejemplos, la al menos una impureza se selecciona entre cenizas, lignina soluble en ácido, furfural, ácidos grasos, ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, metanol, proteínas, aminoácidos, glicerol, esteroides, ácido resínico y materiales cerosos.

En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende adicionalmente un microorganismo seleccionado entre bacterias de origen natural, bacterias recombinantes, levaduras de origen natural, levaduras recombinantes y hongos, tales como una cepa de *E. coli*. Opcionalmente, la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 60 gramos del xilitol por litro del caldo de fermentación, tal como al menos 100 gramos del xilitol por litro del caldo de fermentación. Opcionalmente, la fermentación produce el xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h. En algunos

ejemplos, el caldo de fermentación comprende menos de 1 gramo de etanol por litro.

En algunos ejemplos, al menos el 70 % de la xilosa en la biomasa se convierte en xilitol. Opcionalmente, el contenido de xilosa de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es de al menos el 80 % del contenido de xilosa de la corriente de azúcar de hemicelulosa. En algunos ejemplos, la fermentación no comprende xilosa purificada mediante cristalización. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende xilosa al menos al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como xilosa entre el 50 y el 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.

De acuerdo con la invención, se proporciona un método para producir xilitol mediante fermentación de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada derivada de un hidrolizado lignocelulósico. El método comprende convertir la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol a través de fermentación mediante un microorganismo, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende: xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, en donde la glucosa y la fructosa comprenden hexosas al menos al 50 % en peso/peso, menos de 200 ppm de calcio y furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm. En algunos ejemplos, el microorganismo se selecciona entre bacterias de origen natural, bacterias recombinantes, levaduras de origen natural, levaduras recombinantes y hongos, tales como una cepa de *E. coli*. Opcionalmente, la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 60 gramos del xilitol por litro de caldo de fermentación, tal como al menos 100 gramos del xilitol por litro de caldo de fermentación. Opcionalmente, la fermentación produce el xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende menos de 1 gramo de etanol por litro.

En la puesta en práctica de cualquiera de los métodos que se describen en el presente documento, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede comprender menos del 5 % en peso/peso de oligómeros con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como arabinosa entre el 3 y el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como hexosas entre el 10 y el 45 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, las hexosas comprenden galactosa y manosa. La glucosa y la fructosa comprenden al menos el 50 % en peso/peso de las hexosas. Opcionalmente, la relación de xilosa a hexosas es de entre 1,5:1 y 5:1 en peso/peso. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende compuestos fenólicos, en donde los compuestos fenólicos están presentes en cantidades inferiores a 200 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende furfural en una cantidad de hasta 200 ppm. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos de 200 ppm de calcio. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

En el presente documento se desvela un sistema para producir xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa. En una realización, el sistema comprende: (i) una unidad de extracción de hemicelulosa configurada para extraer e hidrolizar hemicelulosa a partir de la biomasa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa; (ii) una unidad de refinación en comunicación fluida con la unidad de extracción, en donde la unidad de refinación se configura para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa y un extractor de amina, y en donde el extractor de amina retira las impurezas de la corriente de azúcar de hemicelulosa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; (iii) una unidad de detección configurada para analizar uno o más parámetros de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; (iv) una unidad de fermentación en comunicación fluida con la unidad de refinación para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde la unidad de fermentación se configura para contener la corriente refinada y un microorganismo, y en donde el microorganismo facilita la producción del xilitol a partir de un monosacárido en la corriente refinada para producir un caldo de fermentación; y (v) una unidad de refinación de xilitol, en donde la unidad de refinación de xilitol se configura para retirar el xilitol del caldo de fermentación. En algunos ejemplos, el sistema comprende adicionalmente una unidad de lavado configurada para retirar cenizas y tierra de la biomasa, en donde la unidad de extracción de hemicelulosa está en comunicación fluida con la unidad de lavado.

En algunos ejemplos, al menos el 90 % de la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se convierte en xilitol en la unidad de fermentación. Opcionalmente, el xilitol se produce a una velocidad de al menos 1 g/l/h en la unidad de fermentación. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende menos de 10 g/l de etanol, tal como menos de 4,5 g/l de etanol, opcionalmente menos de 1 g/l de etanol. En algunos ejemplos, la biomasa se selecciona entre bagazo y hojas de caña de azúcar o una combinación de los mismos. En algunos ejemplos, el uno o más parámetros se seleccionan entre pH, absorbancia de luz, conductividad, densidad, concentración de xilosa y concentración de hexosa.

En el presente documento se desvela una materia prima de fermentación. En una realización, la materia prima de fermentación comprende: (i) xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (ii)

hexosas del 10 al 45 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (iii) arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (iv) disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (v) furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y (vi) menos de 200 ppm de calcio. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente (vii) menos de 1000 ppm de ácido acético; y (viii) menos de 1000 ppm de ácido fórmico. En algunos ejemplos, la materia prima comprende adicionalmente un microorganismo. En otra realización, la materia prima de fermentación comprende: (i) xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (ii) menos de 200 ppm de calcio; (iii) furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y (iv) un microorganismo. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente hexosas del 10 al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente menos de 1000 ppm de ácido acético. Opcionalmente, la materia prima comprende adicionalmente menos de 1000 ppm de ácido fórmico. En algunos ejemplos, la materia prima comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm. En algunos ejemplos, la materia prima comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

En el presente documento también se desvela un caldo de fermentación. En una realización, el caldo de fermentación comprende: (i) al menos 60 g/l de xilitol; (ii) menos de 10 g/l de etanol; (iii) xilosa en una cantidad de hasta 50 g/l; (iv) hexosas en una cantidad de hasta 35 g/l; (v) furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y (vi) menos de 200 ppm de calcio. En algunos ejemplos, el caldo comprende adicionalmente: (vii) menos de 1000 ppm de ácido acético; y (viii) menos de 1000 ppm de ácido fórmico. Opcionalmente, el caldo comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm. En algunos ejemplos, el caldo comprende adicionalmente un microorganismo.

En el presente documento se desvela adicionalmente una composición de xilitol. En una realización, la composición de xilitol comprende: (i) xilitol al menos al 98 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales; (ii) oligosacáridos en una cantidad de hasta el 1 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales; y (iii) hexosas en una cantidad de hasta el 1 %. En algunos ejemplos, la composición de xilitol comprende adicionalmente cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales. Opcionalmente, la composición de xilitol comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm. Opcionalmente, la composición de xilitol comprende adicionalmente una amina en una cantidad de hasta 100 ppm y en donde la amina comprende al menos 12 átomos de carbono. Opcionalmente, la composición de xilitol comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm. En algunos ejemplos, las hexosas se seleccionan entre glucosa, galactosa, manosa y fructosa. Opcionalmente, la composición de xilitol comprende adicionalmente menos de 100 ppm de arabitol, tal como menos de 1 ppm de arabitol. Opcionalmente, la composición de xilitol comprende adicionalmente menos de 100 ppm de galactitol, tal como menos de 1 ppm de galactitol. Opcionalmente, la composición deriva de un hidrolizado de una biomasa que contiene lignocelulosa. Opcionalmente, la composición es cristalina. Opcionalmente, la composición se proporciona en forma de una solución acuosa. En algunos ejemplos, la solución acuosa comprende sólidos disueltos al menos al 50 % en peso/peso.

En el presente documento se desvela un método de producción de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada adecuado para la conversión en xilitol. En una realización, el método comprende: (i) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa; (ii) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor de amina para formar una mezcla; (iii) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor de amina y al menos una impureza y una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; y (iv) medir las concentraciones de al menos uno de entre xilosa, arabinosa, hexosas, disacáridos, cenizas, ácido acético, ácido fórmico, compuestos fenólicos, furfural, calcio y nitrógeno; en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es adecuada para la conversión en xilitol si la corriente refinada comprende: (1) xilosa al menos al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (2) hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; y (3) menos de 200 ppm de calcio; y en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente al menos una característica seleccionada entre: (4) arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (5) disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (6) cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso; (7) menos de 1000 ppm de ácido acético; (8) menos de 1000 ppm de ácido fórmico; (9) compuestos fenólicos en una cantidad de hasta 200 ppm; (10) furfural en una cantidad de hasta 200 ppm; y (11) nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm; y en donde una corriente refinada inadecuada para la conversión en xilitol se refina adicionalmente.

En algunos ejemplos, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 200 ppm. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente

cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente ácido acético en una cantidad de hasta 1000 ppm. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente ácido fórmico en una cantidad de hasta 1000 ppm. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente compuestos fenólicos en una cantidad de hasta 200 ppm. Opcionalmente, la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

Breve descripción de las figuras

- La Fig. 1 ilustra un diagrama esquemático de procesos de conversión de ejemplo para convertir biomasa en productos corriente abajo tales como una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada.
- La Fig. 2A ilustra un diagrama esquemático de procesos de conversión de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares de hemicelulosa enriquecida en xilosa en productos corriente abajo tales como xilitol, xilosa y furfural.
- La Fig. 2B ilustra un diagrama esquemático de un proceso de ejemplo para convertir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol.
- La Fig. 2C ilustra un diagrama esquemático de procesos de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares de hemicelulosa a la que se le ha retirado la xilosa en productos corriente abajo tales como arabinosa y metano.
- La Fig. 3 ilustra un diagrama esquemático de procesos de conversión de ejemplo para la purificación de una corriente de azúcar de hemicelulosa ácida.
- La Fig. 4 ilustra un diagrama esquemático de un proceso de conversión de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares de hemicelulosa en una solución que comprende xilitol, con refinación opcional de la solución a productos de xilitol cristalinos o líquidos.
- La Fig. 5 ilustra un diagrama esquemático de un proceso de conversión de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares de hemicelulosa en una solución que comprende xilitol, con refinación opcional de xilitol a productos de xilitol cristalinos o líquidos.
- La Fig. 6 ilustra los resultados de un cromatograma de ensayo de pulso que muestra el fraccionamiento de una mezcla de azúcares de hemicelulosa para obtener mezclas de azúcares enriquecidas en xilosa y a las que se le ha retirado la xilosa.
- La Fig. 7 ilustra los resultados de un cromatograma de ensayo de pulso que muestra el fraccionamiento de un agua madre después de la cristalización de xilitol para obtener mezclas de azúcar enriquecidas con xilitol y a las que se le ha retirado el xilitol.
- La Fig. 8 ilustra un diagrama esquemático de procesos secuenciales de ejemplo para lavar biomasa.
- La Fig. 9 ilustra un diagrama esquemático de procesos secuenciales de ejemplo para lavar y deshidratar biomasa lignocelulósica después de la extracción de azúcares de hemicelulosa.
- La Fig. 10 ilustra el contenido de cenizas residual de muestras de bagazo lavadas.

Descripción detallada de la invención

La presente divulgación se refiere al procesamiento y a la refinación de biomasa lignocelulósica para producir azúcares de hemicelulosa, y a la conversión de los mismos en productos de alto valor (por ejemplo, xilitol). La conversión de los azúcares de hemicelulosa en productos de alto valor puede completarse mediante cualquier proceso adecuado químico, catalítico, enzimático, metabólico, de fermentación o de bioconversión, o una combinación de los mismos. Opcionalmente, los azúcares de hemicelulosa se convierten en productos de alto valor mediante un proceso de fermentación.

En el presente documento se desvela un método de producción de xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa. En un ejemplo, el método comprende: (i) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa; (ii) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor (por ejemplo, un extractor de amina) para formar una mezcla; y (iii) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor y al menos una impureza y una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, el método comprende adicionalmente: (iv) fermentar la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para producir un caldo de fermentación que comprende xilitol; y (v) recuperar xilitol del caldo de fermentación. Opcionalmente, el método comprende adicionalmente reducir el contenido de cenizas y tierra de la biomasa antes de extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa.

De acuerdo con la invención, se proporciona un método de producción de xilitol mediante fermentación de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada derivada de un hidrolizado lignocelulósico. El método comprende convertir la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol a través de fermentación mediante un microorganismo. La corriente de azúcar de hemicelulosa comprende: xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, menos de 200 ppm de calcio y furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm.

En el presente documento se desvela un método de producción de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada adecuado para la conversión en xilitol. En un ejemplo, el método comprende: (i) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de

lignocelulosa; (ii) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor (por ejemplo, un extractor de amina) para formar una mezcla; (iii) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor y al menos una impureza y una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; y (iv) medir las concentraciones de al menos uno de entre xilosa, arabinosa, hexosas, disacáridos, cenizas, ácido acético, ácido fórmico, compuestos fenólicos, furfural, ácido levulínico, calcio y nitrógeno; en donde una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es adecuada para la conversión en xilitol si la corriente refinada comprende: (1) xilosa al menos al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (2) hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; y (3) menos de 200 ppm de calcio; y en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente al menos una característica seleccionada entre: (4) arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (5) disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; (6) cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso; (7) ácido acético en una cantidad de hasta 1000 ppm; (8) ácido fórmico en una cantidad de hasta 1000 ppm; (9) compuestos fenólicos en una cantidad de hasta 200 ppm; (10) furfural en una cantidad de hasta 200 ppm; y (11) nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm; y en donde una corriente refinada inadecuada para la conversión en xilitol se refina adicionalmente.

Una biomasa incluida en un método o sistema objeto que se desvela en el presente documento tiene un contenido de xilano normalmente alto. La biomasa puede derivar de madera, madera blanda, madera dura tal como aliso, álamo temblón, abedul, haya, arce, álamo, eucalipto y sauce, plantas o componentes vegetales, granos tales como trigo, cebada, arroz, centeno y avena, partículas de grano tales como paja, cascarillas, cáscaras, fibra, vainas y tallos, mazorcas de maíz, paja de maíz, fibra de maíz, cáscaras de nuez, cáscaras de almendras, cáscaras de coco, bagazo, salvado de semillas de algodón y pieles de semillas de algodón. Cuando se usa madera como material de partida, se usa ventajosamente como astillas o serrín. Preferentemente, la biomasa se selecciona entre madera dura, tal como abedul y eucalipto, bagazo y hojas de caña de azúcar, o una combinación de los mismos.

En la Fig. 1 se proporciona un esquema de procesos de conversión de ejemplo para convertir biomasa en una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, la biomasa que contiene lignocelulosa se pretrata (1770) antes de extraer los azúcares de hemicelulosa. En algunos ejemplos, no se requiere el pretratamiento de la biomasa, es decir, la biomasa que contiene lignocelulosa puede usarse directamente en la extracción de azúcar de hemicelulosa. En la Fig. 8 se proporciona un diagrama esquemático de procesos a contracorriente de ejemplo para lavar biomasa. El pretratamiento puede comprender una reducción en el tamaño de la biomasa (por ejemplo, descomposición mecánica, molienda o trituración). Opcionalmente, la biomasa que contiene lignocelulosa se tritura de manera que el tamaño promedio de las partículas de biomasa resultantes sea de aproximadamente 100 a 1.000 micrómetros, tal como de aproximadamente 400-5.000 micrómetros, aproximadamente 100-400 micrómetros, aproximadamente 400-1.000 micrómetros, aproximadamente 1.000-3.000 micrómetros, aproximadamente 3.000-5.000 micrómetros o aproximadamente 5.000-10.000 micrómetros. El tamaño promedio de las partículas de biomasa triturada puede ser inferior a 10.000 micrómetros, inferior a 9.000 micrómetros, inferior a 8.000 micrómetros, inferior a 7.000 micrómetros, inferior a 6.000 micrómetros, inferior a 5.000 micrómetros, inferior a 4.000 micrómetros, inferior a 3.000 micrómetros, inferior a 2.000 micrómetros, inferior a 1.000 micrómetros o inferior a 500 micrómetros.

El pretratamiento de la biomasa que contiene lignocelulosa puede comprender reducir el contenido de cenizas y tierra de la biomasa antes de extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa. En algunos ejemplos, se elimina tierra y cenizas de la biomasa que contiene lignocelulosa que comprende más de aproximadamente el 4 % p/p, más de aproximadamente el 5 % p/p, más de aproximadamente el 6 % p/p, más de aproximadamente el 7 % p/p o más de aproximadamente el 8 % en peso/peso de cenizas aparentes (medido convirtiendo en cenizas una muestra seca de la biomasa de acuerdo con la norma NREL/TP-510-42622). Los valores de cenizas superiores a aproximadamente el 4 % pueden ser indicativos de la incorporación física de partículas de tierra en la biomasa durante la temporada de crecimiento, en donde las partículas de tierra entran en contacto y quedan encerradas por la biomasa a medida que crece. La reducción del contenido de cenizas y tierra de la biomasa puede comprender una o más fases de suspensión, lavado y deshidratación de la biomasa. Un método para reducir el contenido de cenizas y tierra puede comprender al menos una y hasta n fases de resuspensión y molienda (por ejemplo, trituración) de la biomasa, y al menos una y hasta m fases de lavado y deshidratación de la biomasa, en donde n es 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10 y m es 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10. Opcionalmente, n es igual a m. En algunos ejemplos, m es superior a n o n es superior a m. Pueden ser necesarios dos o más de estos ciclos de tratamiento por cizalla y lavado a alta presión para reducir el contenido de cenizas de la biomasa a menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 % o menos del 3 % en peso/peso de cenizas.

Pueden extraerse azúcares de hemicelulosa a partir de biomasa lignocelulósica mediante cualquier método adecuado (1700), por ejemplo, usando una solución ácida acuosa. La solución ácida acuosa puede comprender cualquier ácido, tal como un ácido inorgánico o un ácido orgánico. Preferentemente, la solución comprende un ácido inorgánico, tal como H_2SO_4 , H_2SO_3 (que puede introducirse como ácido disuelto o como SO_2 gaseoso) o HCl. En algunos ejemplos, la solución ácida acuosa puede comprender un ácido inorgánico y/u orgánico, incluyendo, por ejemplo, H_2SO_4 , H_2SO_3 , HCl o ácido acético, o combinaciones de los mismos. La solución acuosa ácida puede contener un ácido en una cantidad de aproximadamente el 0 al 2 % de ácido o más, tal como aproximadamente el 0-1,0 %, aproximadamente el 0-1,5 %, aproximadamente el 0,5-1,5 %, aproximadamente el 0,5-2,0 %, aproximadamente el 1,0-2,0 %, aproximadamente el 1,5-2,0 %, aproximadamente el 0,2-1,0 %, aproximadamente el

0,2-0,7 %, aproximadamente el 0-0,2 %, aproximadamente el 0,2-0,4 %, aproximadamente el 0,4-0,6 %, aproximadamente el 0,6-0,8 %, aproximadamente el 0,8-1,0 %, aproximadamente el 1,0-1,2 %, aproximadamente el 1,2-1,4 %, aproximadamente el 1,4-1,6 %, aproximadamente el 1,6-1,8 % o aproximadamente el 1,8-2,0 % p/p. Opcionalmente, la solución acuosa para la extracción incluye H₂SO₄ al 0,2-0,7 % y 0-3.000 ppm de SO₂. El pH de la solución acuosa ácida puede estar en el intervalo de aproximadamente pH 1 a pH 5, tal como aproximadamente de pH 1 a pH 3,5.

Pueden usarse temperaturas o presiones elevadas para extraer azúcares de hemicelulosa a partir de biomasa. En algunos ejemplos, se usa una temperatura en el intervalo de aproximadamente 100-200 °C. Puede usarse en la extracción una temperatura superior a 50 °C, superior a 60 °C, superior a 70 °C, superior a 80 °C, superior a 90 °C, superior a 100 °C, superior a 110 °C, superior a 120 °C, superior a 130 °C, superior a 140 °C, superior a 150 °C, superior a 160 °C, superior a 170 °C, superior a 180 °C, superior a 190 °C o superior a 200 °C. Preferentemente, la temperatura está en el intervalo de 90-170 °C, tal como de 100-165 °C, 110-160 °C, 120-150 °C, 130-155 °C o 140-150 °C. La presión puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,4-10 mPa, tal como de 0,4-5 mPa. Opcionalmente, la presión es inferior a 20 mPa, tal como inferior a 10 mPa, inferior a 9 mPa, inferior a 8 mPa, inferior a 7 mPa, inferior a 6 mPa o inferior a 5 mPa. En algunos ejemplos, la mezcla de extracción se calienta durante 0,1-5 horas, preferentemente 0,1-3 horas, 0,1-1 hora, 0,5-1,5 horas, 0,5-2 horas, 1-2 horas o 2-3 horas. El proceso de extracción puede tener un período de enfriamiento de menos de una hora. Opcionalmente, se extraen azúcares de hemicelulosa a partir de biomasa poniendo en contacto la biomasa con una solución ácida acuosa y calentando la mezcla resultante a una temperatura de más de 50 °C a una presión de menos de 10 mPa.

La extracción de azúcar de hemicelulosa puede producir, en un único proceso de extracción, una corriente de azúcar de hemicelulosa (1700-A) que contiene al menos el 75 % de azúcares monoméricos, tal como más del 80 %, más del 85 %, más del 90 %, más del 91 %, más del 92 %, más del 93 %, más del 94 %, más del 95 %, más del 96 %, más del 97 %, más del 98 % o más del 99 % de azúcares monoméricos. La corriente de azúcar de hemicelulosa puede contener el 80-99 % de azúcares monoméricos. En algunos ejemplos, al menos aproximadamente el 70 %, al menos el 75 %, al menos el 80 %, al menos el 85 %, al menos el 90 % o incluso al menos el 95 % o más de los azúcares de hemicelulosa presentes en la biomasa pueden extraerse usando un método de la divulgación. La extracción de azúcar de hemicelulosa puede producir cantidades mínimas de productos de degradación de lignocelulosa, tal como furfural, hidroximetil furfural, ácido levulínico y ácido fórmico. Puede conseguirse un rendimiento de xilosa superior al 70 %, opcionalmente superior al 80 %, de valor teórico.

La extracción de azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa da como resultado una corriente residual de lignocelulosa (1700- PI) que comprende lignina y celulosa. En la Fig. 9 se proporciona un diagrama esquemático de procesos secuenciales de ejemplo para lavar y deshidratar una corriente residual de lignocelulosa después de la extracción de azúcares de hemicelulosa. En algunos ejemplos, la extracción de azúcares de hemicelulosa no retira una cantidad sustancial de los azúcares celulósicos. Por ejemplo, la extracción de azúcares de hemicelulosa no retira más del 1 %, más del 2 %, más del 5 %, más del 10 %, más del 15 %, más del 20 %, más del 30 %, más del 40 %, más del 50 % o más del 60 % en peso/peso de celulosa. En algunos ejemplos, la corriente residual de lignocelulosa comprende menos del 50 %, menos del 45 %, menos del 40 %, menos del 35 %, menos del 30 %, menos del 25 %, menos del 20 %, menos del 15 %, menos del 10 %, menos del 5 %, menos del 2 % o menos del 1 % en peso/peso de hemicelulosa. La corriente residual de lignocelulosa puede comprender menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 % o menos del 1 % en peso/peso de cenizas. En algunos ejemplos, la corriente residual de lignocelulosa comprende el 0,001-5 % en peso/peso de cenizas, tal como el 0,01-4 %, el 0,1-3 %, el 0,1-2 % o el 0,1-1 % en peso/peso de cenizas. En algunos ejemplos, la corriente residual de lignocelulosa comprende lignina, celulosa, hemicelulosa en una cantidad inferior al 5 % en peso/peso y cenizas en una cantidad inferior al 4 % en peso/peso. En algunos ejemplos, menos del 10 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2,5 %, menos del 2 %, menos del 1,5 % o menos del 1 % de los sólidos de lignocelulosa permanecen en la corriente de azúcar de hemicelulosa. Opcionalmente, la corriente residual de lignocelulosa comprende menos del 75 %, menos del 65 %, menos del 55 %, menos del 45 %, menos del 35 %, menos del 25 %, menos del 15 % o menos del 10 % en peso/peso de agua. La corriente residual de lignocelulosa puede comprender más del 20 %, más del 30 %, más del 40 %, más del 50 %, más del 60 %, más del 70 % o más del 80 % en peso/peso de sólidos. La corriente residual de lignocelulosa puede comprender menos del 10 %, menos del 7,5 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 % o menos del 0,5 % en peso/peso de hidratos de carbono solubles residuales. En algunos ejemplos, la corriente residual de lignocelulosa comprende aproximadamente el 0,01-5 % en peso/peso de hidratos de carbono solubles, tal como el 0,1-5 %, el 0,5-5 %, el 0,5-2,5 % o el 0,1-2,5 % en peso/peso de hidratos de carbono solubles. La corriente residual de lignocelulosa puede comprender menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,5 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de sulfato. En algunos ejemplos, la corriente residual de lignocelulosa comprende el 0,001-3 % en peso/peso de sulfato, tal como el 0,01-3 %, el 0,01-2 %, el 0,01-1 % o el 0,001-1 % en peso/peso de sulfato. La corriente residual de lignocelulosa puede comprender hidratos de carbono solubles en una cantidad con respecto a los sólidos totales de menos del 5 %, cenizas en una cantidad con respecto a los sólidos totales de menos del 4 % y sulfato en una cantidad con respecto a los sólidos totales de menos del 3 %.

Pueden extraerse impurezas tales como cenizas, lignina soluble en ácido, furfural, ácidos grasos, ácidos orgánicos

tales como ácido acético y ácido fórmico, metanol, proteínas y/o aminoácidos, glicerol, esteroides, ácido resínico o materiales cerosos, o combinaciones de los mismos, junto con los azúcares de hemicelulosa en las mismas condiciones en la corriente de azúcar de hemicelulosa. Al menos algunas de estas impurezas pueden separarse de la corriente de azúcar de hemicelulosa mediante extracción con disolvente (por ejemplo, usando un extractor de amina).

La corriente de azúcar de hemicelulosa puede refinarse y opcionalmente fraccionarse de acuerdo con los procesos que se desvelan en el documento WO 2013/166469. La corriente de azúcar de hemicelulosa puede filtrarse, centrifugarse o concentrarse opcionalmente mediante evaporación. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa se pone en contacto con un intercambiador de cationes de ácido fuerte (por ejemplo, en forma de H⁺) para convertir las sales en los ácidos respectivos. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa se pone en contacto en primer lugar con una resina de intercambio catiónico fuerte y después se pone en contacto con un extractor de amina.

Opcionalmente, se retiran impurezas de la corriente de azúcar de hemicelulosa poniendo en contacto la corriente con un extractor de amina para formar una mezcla, en donde la mezcla puede comprender una corriente orgánica y una corriente acuosa (1710). Se representan procesos de conversión de ejemplo para la purificación de la corriente de azúcar de hemicelulosa (1700-A y 1800-A) en la Fig. 3, incluyendo la extracción de amina 1831. En algunos ejemplos, la corriente orgánica (1831-A) comprende el extractor de amina y al menos una impureza. Opcionalmente, la al menos una impureza se selecciona entre un ácido mineral (por ejemplo, H₂SO₄, H₂SO₃ y HCl), un ácido orgánico (por ejemplo, ácido acético y ácido fórmico), furfural, hidroximetilfurfural y lignina soluble en ácido. La corriente acuosa puede comprender azúcares de hemicelulosa. Después de la separación de la corriente orgánica, la corriente acuosa se denomina en el presente documento corriente de azúcar de hemicelulosa refinada (1710-P1 y 1831-B).

El extractor de amina puede comprender el 10-90 %, tal como el 10-80 %, el 10-70 %, el 10-60 %, el 10-50 %, el 10-40 %, el 20-80 %, el 20-70 %, el 20-60 %, el 20-50 %, el 20-40 %, el 15-80 %, el 15-70 %, el 15-60 %, el 15-50 %, el 15-40 %, el 15-35 %, el 25-80 %, el 25-70 %, el 25-60 %, el 25-50 %, el 25-40 % o el 25-35 % en peso/peso de una o más aminas que tienen al menos 20 átomos de carbono. Dichas aminas pueden ser aminas primarias, secundarias o terciarias. Los ejemplos de aminas terciarias incluyen trilaureilamina (TLA; por ejemplo, COGNIS ALA- MINE 304 de Cognis Corporation; Tucson AZ; EE.UU.), trioctilamina, triisooctilamina, tricaprililamina y tridecilamina.

El extractor de amina puede comprender adicionalmente un diluyente. En algunos ejemplos, el extractor de amina comprende al menos el 10 %, al menos el 20 %, al menos el 30 %, al menos el 40 %, al menos el 50 %, al menos el 60 %, al menos el 70 %, al menos el 80 % o al menos el 90 % en peso/peso, tal como el 55-85 % en peso/peso, de un diluyente. Opcionalmente, el diluyente es un alcohol, tal como butanol, isobutanol, pentanol, hexanol, octanol, decanol, dodecanol, tetradecanol, pentadecanol, hexadecanol, octadecanol, eicosanol, docosanol, tetracosanol y triacontanol. Opcionalmente, el diluyente es un alcohol de cadena larga (por ejemplo, alcohol C₆, C₈, C₁₀, C₁₂, C₁₄, C₁₆) o queroseno. En algunos ejemplos, el diluyente es n-hexanol o 2-etil-1-hexanol. Opcionalmente, el diluyente es 2-etil-1-hexanol. En algunos ejemplos, el diluyente comprende uno o más componentes adicionales, tales como una cetona, un aldehído que tiene al menos 5 átomos de carbono u otro alcohol.

Opcionalmente, el extractor de amina comprende una amina que tiene al menos 20 átomos de carbono y un diluyente (por ejemplo, un alcohol), tal como una amina terciaria que tiene al menos 20 átomos de carbono y un alcohol. En algunos ejemplos, el extractor de amina comprende una amina terciaria que tiene de 20 a 50 átomos de carbono y un diluyente, en donde el diluyente es un monoalcohol C₆₋₁₂. En algunos ejemplos, el extractor de amina comprende una amina que tiene de 24-40 átomos de carbono (por ejemplo, trilaureilamina, trioctilamina, tricaprililamina, ortridecilamina) y un diluyente, en donde el diluyente es un monoalcohol C₆₋₁₂ (por ejemplo, hexanol, octanol o 2-etilhexanol). En algunos ejemplos, la amina es trilaureilamina y el diluyente es hexanol o 2-etilhexanol.

El extractor de amina puede comprender una amina y un diluyente en una relación de entre 1:10 y 10:1 en peso/peso, tal como 1:9, 1:4, 3:7, 2:3, 1:1, 3:2, 7:3, 4:1 o 9:1 en peso/peso. Opcionalmente, el extractor de amina comprende trilaureilamina y un monoalcohol C₆₋₁₂ en una relación de 1:7, 2:7, 3:7, 6:4, 5,5:4,55, 4:7, 5:7, 6:7, 7:7, 5:4, 3:4, 2:4 o 1:4 en peso/peso. Opcionalmente, el extractor de amina comprende trilaureilamina y un monoalcohol C₆₋₁₂ en una relación de aproximadamente 3:7 en peso/peso, tal como una relación de 3:7 en peso/peso de trilaureilamina y hexanol.

Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa se extrae con un extractor de amina a contracorriente, por ejemplo, la corriente de azúcar de hemicelulosa fluye en una dirección opuesta al flujo del extractor de amina. La extracción de la amina puede realizarse a cualquier temperatura a la que la amina sea soluble, tal como 50-70 °C. Opcionalmente, la extracción de amina comprende más de una etapa de extracción (por ejemplo, 2, 3 o 4 etapas). La relación de la corriente de extractor de amina (corriente orgánica) a la corriente de azúcar de hemicelulosa (corriente acuosa) puede variar de aproximadamente 0,5:1 a aproximadamente 5:1 en peso/peso, tal como aproximadamente 0,5:1, aproximadamente 1:1, aproximadamente 1,5:1, aproximadamente 2:1, aproximadamente 2,5:1, aproximadamente 3:1, aproximadamente 3,5:1, aproximadamente 4:1, aproximadamente 4,5:1 o aproximadamente 5:1. En algunos ejemplos, la relación de la corriente orgánica a la corriente acuosa es de

aproximadamente 1,5-3,0:1 en peso/peso.

Después de poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con el extractor de amina, la mezcla resultante puede separarse en una corriente orgánica (es decir, la fase orgánica) que comprende el extractor de amina y al menos una impureza y una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada (es decir, la fase acuosa). Al menos una porción de ácidos orgánicos o ácidos inorgánicos (por ejemplo, los ácidos utilizados en la extracción de azúcar de hemicelulosa) y otras impurezas pueden extraerse en la corriente orgánica. En algunos ejemplos, la corriente orgánica se pone en contacto con una corriente acuosa en modo a contracorriente para recuperar cualquier azúcar residual absorbido en la corriente orgánica. La corriente orgánica puede comprender menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de azúcares de hemicelulosa, tal como del 0,01 % al 4 % de azúcares de hemicelulosa. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de ácido, tal como del 0,01 % al 3 % de ácido. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de una amina que tiene al menos 20 átomos de carbono, tal como del 0,01 % al 4 % de una amina. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de una impureza, tal como del 0,1 % al 4 % de una impureza, en donde la impureza se selecciona entre cenizas, lignina soluble en ácido, furfural, ácidos grasos, ácidos orgánicos tales como ácido acético y ácido fórmico, ácidos minerales tales como ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, furfural, hidroximetilfurfural, metanol, proteínas, aminoácidos, glicerol, esteroides, ácido resínico y materiales cerosos. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede comprender menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de furfural, tal como del 0,1 % al 4 % de furfural. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 %, menos del 0,8 %, menos del 0,6 %, menos del 0,5 %, menos del 0,4 %, menos del 0,3 %, menos del 0,2 % o menos del 0,1 % en peso/peso de cenizas, tal como del 0,1 % al 4 % de cenizas.

La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede purificarse adicionalmente. Por ejemplo, puede retirarse el diluyente residual en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada usando una columna de destilación de relleno. La destilación puede retirar al menos el 70 %, al menos el 80 %, al menos el 90 % o al menos el 95 % de diluyente residual en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se pone en contacto con un intercambiador de cationes de ácido fuerte (CAF) (1833) para retirar los cationes metálicos residuales y las aminas residuales, después se pone en contacto opcionalmente con un intercambiador de aniones de base débil (ABD) (1834) para retirar el exceso de protones. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se purifica usando una columna de destilación (por ejemplo, una columna de destilación de relleno) seguida de un intercambiador de cationes ácido fuerte. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se pone en contacto con un intercambiador de aniones de base débil (ABD) para retirar el exceso de protones. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede ajustarse al pH, opcionalmente después de poner en contacto la corriente con un intercambiador de CAF y/o un intercambiador de ABD. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede destilarse o evaporarse, después puede pulirse adicionalmente poniéndola en contacto con una resina de CAF, una resina de ABD y una resina de LM y, opcionalmente, puede concentrarse mediante evaporación. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se evapora (1835) al 20-80 % en peso/peso de azúcares disueltos, tal como al 25-65 % o al 30-40 % en peso/peso de azúcares disueltos, formando de este modo una solución de azúcar concentrada (1836). La evaporación puede realizarse en cualquier evaporador convencional, por ejemplo, un evaporador de efectos múltiples o un evaporador de recompresión de vapor mecánico (RVM).

El disolvente residual presente en la corriente de azúcar de hemicelulosa o en la solución de azúcar concentrada también puede retirarse mediante evaporación. Por ejemplo, un disolvente que forma un azeótropo heterogéneo con agua puede separarse y, opcionalmente, devolverse al ciclo del disolvente. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede ponerse en contacto con carbón activado para retirar impurezas orgánicas residuales. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada también puede ponerse en contacto con un sistema de resina de lecho mixto para retirar cualquier ion residual o cuerpo de color.

La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada producida mediante los sistemas y métodos objeto puede comprender azúcares en una relación muy adecuada como alimentación para la fermentación, tal como para la producción de xilitol.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende al menos el 40 %, al menos el 45 %, al menos el 50 %, al menos el 55 %, al menos el 60 %, al menos el 65 %, al menos el 70 %, al menos el 75 %, al menos el 80 %, al menos el 85 %, xilosa al menos al 90 % o al menos al 95 % en peso/peso con respecto a los

azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende xilosa entre el 40 % y el 95 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como xilosa del 50 % al 85 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 15 %, menos del 14 %, menos del 13 %, menos del 12 %, menos del 11 %, menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 % o menos del 2 % en peso/peso de arabinosa con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende arabinosa entre el 1 % y el 15 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como arabinosa del 3 % al 12 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende al menos el 5 %, al menos el 10 %, al menos el 12 %, al menos el 15 %, al menos el 17 %, al menos el 20 %, al menos el 22 %, al menos el 25 %, al menos el 27 %, al menos el 30 %, al menos el 32 %, al menos el 35 %, al menos el 37 %, al menos el 40 %, al menos el 42 %, al menos el 45 %, al menos el 50 %, al menos el 52 %, al menos el 55 % o al menos el 57 % en peso/peso de hexosas con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende hexosas entre el 5 % y el 60 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como hexosas del 10 % al 45 %.

En algunos ejemplos, las hexosas comprenden glucosa, galactosa, manosa y fructosa, en donde la glucosa y la fructosa comprenden opcionalmente al menos el 30 %, al menos el 40 %, al menos el 45 %, al menos el 50 %, al menos el 55 %, al menos el 60 %, al menos el 65 %, al menos el 70 %, al menos el 75 % o al menos el 80 % en peso/peso de las hexosas. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende glucosa y fructosa entre el 30 % y el 85 % en peso/peso en relación con respecto a hexosas, tal como glucosa y fructosa del 50 % al 80 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende al menos el 5 %, al menos el 10 %, al menos el 12 %, al menos el 15 %, al menos el 17 %, al menos el 20 %, al menos el 22 %, al menos el 25 %, al menos el 27 %, al menos el 30 %, al menos el 32 %, al menos el 35 %, al menos el 37 %, al menos el 40 %, al menos el 42 %, al menos el 45 %, al menos el 50 %, al menos el 52 %, al menos el 55 % o al menos el 57 % en peso/peso de glucosa con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende glucosa entre el 5 % y el 60 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como glucosa del 10 % al 45 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende xilosa en una relación a hexosas de al menos 1:1 en peso/peso, tal como al menos 1,5:1, al menos 2:1, al menos 3:1, al menos 4:1, al menos 5:1, al menos 6:1 o al menos 7:1 en peso/peso. Opcionalmente, la relación de xilosa a hexosas en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es de entre 1:1 y 8:1 en peso/peso, tal como de entre 1,5:1 y 5:1 en peso/peso.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 15 %, menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 % o menos del 1 % en peso/peso de disacáridos con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende disacáridos entre el 0,1 % y el 15 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como disacáridos del 0,5 % al 8 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 16 %, menos del 14 %, menos del 12 %, menos del 10 %, menos del 8 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 % o menos del 0,5 % en peso/peso de oligosacáridos con respecto a los azúcares disueltos totales, en donde dichos oligosacáridos comprenden al menos 3 unidades de monosacárido. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende oligosacáridos entre el 0,1 % y el 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como oligosacáridos del 0,5 % al 5 %.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende cenizas en una cantidad de hasta el 2 %, hasta el 1,5 %, hasta el 1 %, hasta el 0,75 %, hasta el 0,50 %, hasta el 0,25 %, hasta el 0,1 % o hasta el 0,05 % en peso/peso de cenizas. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende cenizas entre el 0,001 % y el 1 % en peso/peso, tal como cenizas del 0,001 % al 0,25 %.

En algunos ejemplos, la ceniza comprende Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S o Si, o una combinación de los mismos. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S y Si a menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm cada uno. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm cada uno de Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S y Si, tal como de 1 ppm a 250 ppm cada uno de Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S y Si. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de calcio. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de calcio, tal como de 1 ppm a 250 ppm de calcio.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende compuestos fenólicos en cantidades de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de compuestos fenólicos, tal como de 1 ppm a 250 ppm de compuestos fenólicos.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de furfural, tal como de 1 ppm a 250 ppm de furfural.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de ácidos orgánicos, tal como ácido acético, ácido levulínico, ácido fórmico y ácido láctico. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácidos orgánicos, tal como de 1 ppm a 250 ppm de ácidos orgánicos. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácido acético, tal como de 1 ppm a 250 ppm de ácido acético. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácido fórmico, tal como de 1 ppm a 250 ppm de ácido fórmico.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende una amina en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm y en donde la amina comprende al menos 12 átomos de carbono. Opcionalmente, la amina es una Laurilamina, tal como monolaurilamina, dilaurilamina o trilaurilamina. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 0,1 ppm y 1000 ppm de una amina que comprende al menos 12 átomos de carbono, tal como de 0,1 ppm a 250 ppm de una amina que comprende al menos 12 átomos de carbono.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende un alcohol en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. El alcohol puede ser cualquier alcohol que pueda usarse en el presente documento como diluyente, tal como butanol, pentanol, hexanol o 2-etil-1-hexanol. En algunos ejemplos, el alcohol es un monoalcohol C₆₋₁₂, opcionalmente presente en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en una cantidad de hasta 200 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de dicho alcohol, tal como de 1 ppm a 250 ppm de dicho alcohol.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm o hasta 150 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de nitrógeno, tal como de 1 ppm a 250 ppm de nitrógeno. El nitrógeno puede ser nitrógeno Kjeldahl total medido usando el método Kjeldahl.

En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende: xilosa al menos al 50 % en peso/peso; arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso; hexosas al menos al 10 % en peso/peso; disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso; cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso; furfural en una cantidad de hasta 200 ppm; y nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende: xilosa al menos al 50 % en peso/peso; arabinosa entre el 3 % y el 12 % en peso/peso; hexosas al menos al 10 % en peso/peso; cenizas entre el 0,001 % y el 0,25 % en peso/peso; furfural entre 1 ppm y 200 ppm; y nitrógeno entre 1 ppm y 1000 ppm. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende xilosa al 65-75 %, arabinosa al 3-10 % y hexosas al 15-25 % (todo en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales). La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede contener sacáridos al menos al 90 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales, tal como sacáridos al menos al 91 %, al menos al 92 %, al menos al 93 %, al menos al 94 %, al menos al 95 %, al menos al 96 %, al menos al 97 %, al menos al 98 %, al menos al 99 % o al menos al 99,5 %.

La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede tener una pureza alta con respecto a los elementos de cenizas, ácidos orgánicos, derivados de lignina y productos de degradación de azúcar. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede comprender cenizas a una concentración de hasta el 1 %, hasta el 0,5 %, hasta el 0,1 %, hasta el 0,05 % o hasta el 0,01 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, en donde la ceniza comprende hasta 500 ppm, hasta 250 ppm o hasta 100 ppm de cationes metálicos y menos de 100 ppm, menos de 50 ppm, menos de 30 ppm o menos de 20 ppm de azufre con respecto a los azúcares disueltos totales. En algunos ejemplos, una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es particularmente adecuada para procesos de fermentación que son sensibles a elementos de cenizas o compuestos de azufre. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede comprender menos de 5000 ppm de cenizas en peso/peso total con respecto a la xilosa, en donde las cenizas comprenden elementos seleccionados entre Na, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, S y P.

5 menos del 12 %, menos del 11 %, menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 % o menos del 2 % en peso/peso de arabinosa con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende arabinosa entre el 1 % y el 15 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como arabinosa del 3 % al 12 %. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente menos del 15 %, menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 % o menos del 1 % en peso/peso de disacáridos con respecto a los azúcares disueltos totales. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende disacáridos entre el 0,1 % y el 15 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, tal como disacáridos del 0,5 % al 8 %. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de calcio. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de calcio, tal como de 1 ppm a 250 ppm de calcio. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de furfural, tal como de 1 ppm a 250 ppm de furfural. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de ácidos orgánicos, tal como ácido acético, ácido levulínico, ácido fórmico y ácido láctico. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácidos orgánicos, tal como de 1 ppm a 1000 ppm de ácido acético. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácido fórmico. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente una amina en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm y en donde la amina comprende al menos 12 átomos de carbono. Opcionalmente, la amina es una laurilamina, tal como monolaurilamina, dilaurilamina o trilaurilamina. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 0,1 ppm y 1000 ppm de una amina que comprende al menos 12 átomos de carbono, tal como de 0,1 ppm a 250 ppm de una amina que comprende al menos 12 átomos de carbono. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de dicho monoalcohol C₆₋₁₂, tal como de 1 ppm a 250 ppm de dicho monoalcohol C₆₋₁₂. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm o hasta 150 ppm. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de nitrógeno, tal como de 1 ppm a 250 ppm de nitrógeno. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende: xilosa al 50 % al 90 % en peso/peso; hexosas al 10 % al 45 % en peso/peso; arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso; disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso; furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y menos de 200 ppm de calcio. En algunos ejemplos, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente menos de 1000 ppm de ácido acético y menos de 1000 ppm de ácido fórmico. Opcionalmente, la materia prima de fermentación comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm.

45 Se han desarrollado diversos microorganismos para producir xilitol a través de un proceso de fermentación. Sorprendentemente, las corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada de la presente divulgación son particularmente bien toleradas por muchos de estos microorganismos y se convierten eficientemente en xilitol sin la necesidad de procesos de purificación, fraccionamiento, separación o cristalización adicionales antes de la fermentación. Las especies de microorganismos capaces de convertir la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol incluyen levaduras tales como *Pichia*, *Candida*, *Hansenula* y *Kluyveromyces*. Puede usarse una cepa de *Candida tropicalis* ATCC 13803 para convertir xilosa en xilitol usando glucosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para el crecimiento celular (véanse, por ejemplo, los documentos US 5998181 y US 5686277). El xilitol puede ser producido por *Candida guilliermondii* FTI 20037 (véase, por ejemplo, Mussatto y Roberto (2003) *J. Appl. Microbiol.* 95:331-337). Puede usarse *Saccharomyces cerevisiae* para producir xilitol (véase, por ejemplo, el documento US 5866382). Una diversidad de sistemas de fermentación puede convertir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en un producto con alto contenido de xilitol y bajo contenido de arabitol, a través del uso de diversas cepas de *E. Coli* (véanse, por ejemplo, el documento PCT/US2011/021277, el documento PCT/US2011/044696 y la Pub. de los EE.UU. N.º 2013/0217070). Estos sistemas pueden utilizar azúcares C6 y parte de la arabinosa de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada como fuente de energía para la proliferación y el metabolismo, mientras convierten predominantemente xilosa en xilitol con una mínima co-conversión de arabinosa en arabitol. Opcionalmente, el microorganismo es un microorganismo descrito en la Publicación de los EE.UU. N.º 2013/0217070, tal como HZ 1434, ZUC220, ZUC170, ZUC136, HZ 2061 o HZ 2062. Puede usarse una fermentación de dos sustratos con *C. tropicalis* y *Candida Parapsilosis* usando glucosa para el crecimiento celular y xilosa para la producción de xilitol (véanse, por ejemplo, los documentos US 5.998.181 y US 5.686.277). El xilitol puede producirse como un coproducto durante la producción de etanol fermentativo mediante una única cepa de levadura, utilizando material que contiene lignocelulosa hidrolizada (véase, por ejemplo, el documento US2003/0235881). El ácido xilónico puede producirse a partir de xilosa con una cepa fúngica recombinante que se modifica genéticamente para expresar un gen de xilosa deshidrogenasa, que es capaz de

convertir la xilosa en xilonolactona, junto con la producción de xilitol cuando el hospedador fúngico se selecciona entre los géneros *Saccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Candida* y *Aspergillus* (véase, por ejemplo, el documento WO 2010/106230). Aunque se ha descrito que otros organismos genéticamente modificados fermentan xilosa o una mezcla de azúcares para producir xilitol, muchos muestran una productividad insuficiente para comercializarlos de forma viable. En algunos ejemplos, la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada (por ejemplo, la materia prima de fermentación) se alimenta a una unidad de fermentación sembrada con las especies seleccionadas a DS al 10-40 %, tal como DS al 14-28 %. En algunos ejemplos, el microorganismo reduce selectivamente la xilosa a xilitol, sin la producción de otros polioles resultantes a partir de monosacáridos distintos de la xilosa en el caldo de fermentación.

La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede añadirse a una unidad de fermentación que contiene medios de fermentación. Los medios de fermentación pueden comprender nutrientes, incluyendo, por ejemplo, triptona, extracto de levadura, fosfato de potasio, cloruro de sodio y sulfato de magnesio. La unidad de fermentación puede inocularse con un cultivo de un microorganismo adecuado, opcionalmente a una concentración final de DS al 10-40 %. En algunos ejemplos, la temperatura de la unidad de fermentación se mantiene a una temperatura adecuada para el microorganismo, tal como de 25 a 35 °C. Opcionalmente, el pH de la solución de fermentación se mantiene a pH 6,0 a pH 8,0, tal como aproximadamente pH 7,0. El pH puede ajustarse usando NH₄OH. Opcionalmente, la solución de fermentación se agita, tal como mediante introducción de aire. En algunos ejemplos, se añade una corriente adicional de azúcar de hemicelulosa refinada. En algunos ejemplos, hexosas, tales como glucosa, se añaden a la solución de fermentación. Puede añadirse una corriente adicional de azúcar de hemicelulosa refinada 6 horas, 8 horas, 10 horas, 12 horas, 16 horas, 20 horas, 24 horas, 36 horas o 48 horas después de la adición del microorganismo a la unidad de fermentación. Puede permitirse que el proceso de fermentación se produzca durante al menos 12 horas, al menos 18 horas, al menos 24 horas, al menos 36 horas, al menos 48 horas, al menos 60 horas, al menos 72 horas, al menos 80 horas, al menos 84 horas, al menos 96 horas o al menos 108 horas antes de recuperar el xilitol del caldo de fermentación.

Un microorganismo que se describe en el presente documento puede convertir la materia prima de fermentación en un caldo de fermentación que comprende xilitol. El caldo de fermentación puede comprender al menos 50 g/l, al menos 60 g/l, al menos 70 g/l, al menos 80 g/l, al menos 90 g/l, al menos 100 g/l, al menos 110 g/l, al menos 120 g/l, al menos 130 g/l o al menos 140 g/l de xilitol. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 50 y 140 g/l de xilitol, tal como de 60 a 100 g/l, de 70 a 100 g/l, de 80 a 100 g/l o de 70 a 90 g/l de xilitol. En algunos ejemplos, el microorganismo produce poco o nada de etanol. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende menos de 15 g/l, menos de 12 g/l, menos de 10 g/l, menos de 9 g/l, menos de 8 g/l, menos de 7 g/l, menos de 6 g/l, menos de 5 g/l, menos de 4 g/l, menos de 3 g/l, menos de 2 g/l o menos de 1 g/l de etanol. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende xilosa en una cantidad de menos de 50 g/l, menos de 40 g/l, menos de 30 g/l, menos de 20 g/l, menos de 10 g/l, menos de 8 g/l, menos de 6 g/l, menos de 4 g/l, menos de 3 g/l, menos de 2 g/l, menos de 1 g/l, menos de 0,5 g/l o menos de 0,2 g/l. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende glucosa en una cantidad inferior a 35 g/l, menos de 25 g/l, menos de 15 g/l, menos de 10 g/l, menos de 8 g/l, menos de 6 g/l, menos de 4 g/l, menos de 3 g/l, menos de 2 g/l, menos de 1 g/l, menos de 0,5 g/l o menos de 0,2 g/l. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de furfural, tal como de 1 ppm a 250 ppm de furfural. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de calcio. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de calcio, tal como de 1 ppm a 250 ppm de calcio. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende menos de 1000 ppm, menos de 750 ppm, menos de 500 ppm, menos de 400 ppm, menos de 300 ppm, menos de 200 ppm, menos de 100 ppm, menos de 50 ppm o menos de 10 ppm de ácidos orgánicos, tal como ácido acético, ácido levulínico, ácido fórmico y ácido láctico. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácidos orgánicos, tal como de 1 ppm a 1000 ppm de ácido acético. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de ácido fórmico. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 1000 ppm, hasta 750 ppm, hasta 500 ppm, hasta 400 ppm, hasta 300 ppm, hasta 200 ppm, hasta 100 ppm, hasta 50 ppm o hasta 10 ppm. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende entre 1 ppm y 1000 ppm de dicho monoalcohol C₆₋₁₂, tal como de 1 ppm a 250 ppm de dicho monoalcohol C₆₋₁₂. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende: al menos 60 g/l de xilitol; menos de 50 g/l de xilosa; menos de 10 g/l de etanol; menos de 50 g/l de hexosas; furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y menos de 200 ppm de calcio. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende adicionalmente menos de 1000 ppm de ácido acético y menos de 1000 ppm de ácido fórmico. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm. Opcionalmente, el caldo de fermentación comprende menos de 100 ppm de galactitol, tal como menos de 50 ppm, menos de 10 ppm, menos de 1 ppm o menos de 1 ppb de galactitol. En algunos ejemplos, no se detecta galactitol en el caldo de fermentación. En algunos ejemplos, el caldo de fermentación comprende un microorganismo que se describe en el presente documento. Opcionalmente, el microorganismo se selecciona entre bacterias de origen natural, bacterias recombinantes, levaduras de origen natural, levaduras recombinantes y hongos. El microorganismo puede ser una cepa de *E. coli*, tal como HZ 1434, ZUC220, ZUC170, ZUC136, HZ 2061 o HZ 2062.

Opcionalmente, el rendimiento de xilitol en el caldo de fermentación es de más del 90 %, más del 91 %, más del

92 %, más del 93 %, más del 94 %, más del 95 %, más del 96 %, más del 97 % o más del 98 % con respecto a la cantidad de xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. En algunos ejemplos, al menos el 70 %, al menos el 75 %, al menos el 80 %, al menos el 85 %, al menos el 90 %, al menos el 91 %, al menos el 92 %, al menos el 93 %, al menos el 94 %, al menos el 95 %, al menos el 96 %, al menos el 97 % o al menos el 98 % de xilosa en la biomasa que contiene lignocelulosa se convierte en xilitol. Opcionalmente, la cantidad de arabitol en el caldo de fermentación es inferior al 10 % de los polioles totales. Opcionalmente, la cantidad de hexosas se reduce a menos del 10 %, menos del 9 %, menos del 8 %, menos del 7 %, menos del 6 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2 % o menos del 1 % de la concentración de hexosas en la materia prima de fermentación o la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, la fermentación produce xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h, al menos 2 g/l/h, al menos 3 g/l/h, al menos 4 g/l/h, al menos 5 g/l/h, al menos 6 g/l/h, al menos 7 g/l/h o al menos 8 g/l/h. En algunos ejemplos, la fermentación se produce en menos de 120 h, menos de 110 h, menos de 100 h, menos de 90 h, menos de 80 h, menos de 70 h, menos de 60 h, menos de 50 h, menos de 40 h, menos de 30 h, menos de 20 h, menos de 15 h o menos de 10 h, al menos 50 g/l, al menos 60 g/l, al menos 70 g/l, al menos 80 g/l, al menos 90 g/l, al menos 100 g/l, al menos 110 g/l, al menos 120 g/l, al menos 130 g/l o al menos 140 g/l de xilitol (por litro de caldo de fermentación). Opcionalmente, la fermentación produce al menos 60 g/l de xilitol en menos de 80 horas de fermentación, tal como 70 g/l de xilitol en menos de 80 horas. Opcionalmente, la fermentación produce al menos 100 g/l de xilitol en menos de 80 horas de fermentación.

El xilitol puede recuperarse del caldo de fermentación mediante cualquier método adecuado (1910), tal como filtración, cristalización o separación cromatográfica, o una combinación de los mismos. El caldo de fermentación puede filtrarse o centrifugar para retirar el microorganismo. En algunos ejemplos, la filtración comprende tres etapas, incluyendo microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración. El caldo de fermentación puede someterse a microfiltración, opcionalmente seguida de ultrafiltración, opcionalmente seguida de nanofiltración. La filtración puede retirar el microorganismo del caldo de fermentación. La nanofiltración puede retirar disacáridos y oligosacáridos residuales del caldo de fermentación. En algunos ejemplos, la filtración retira al menos el 10 %, al menos el 20 %, al menos el 30 %, al menos el 40 %, al menos el 50 %, al menos el 60 %, al menos el 70 %, al menos el 80 %, al menos el 90 %, al menos el 95 % o al menos el 98 % en peso/peso de oligosacáridos que tienen un grado de polimerización de tres (GP3) o más del caldo de fermentación. En algunos ejemplos, la filtración retira al menos el 10 %, al menos el 20 %, al menos el 30 %, al menos el 40 %, al menos el 50 %, al menos el 60 %, al menos el 70 %, al menos el 80 %, al menos el 90 %, al menos el 95 % o al menos el 98 % en peso/peso de disacáridos (GP2) del caldo de fermentación. La solución filtrada puede ponerse en contacto con al menos uno de los siguientes: carbón activado, tal como carbón activo granulado (CAG); y resina de intercambio iónico, tal como resina de cationes fuertemente ácidos (CAF), resinas de aniones débilmente básicos (ABD) y resinas de lecho mixto (LM). La solución filtrada y opcionalmente refinada puede concentrarse mediante evaporación (1915) para aumentar la concentración de sólidos disueltos a al menos el 50 %, al menos el 60 %, al menos el 70 % o al menos el 80 % en peso/peso de sólidos disueltos, tal como aproximadamente el 80 % en peso/peso de sólidos disueltos. En algunos ejemplos, la concentración de la solución es de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 90 % en peso/peso de sólidos disueltos, tal como del 75 % al 85 % en peso/peso.

La solución puede introducirse de forma discontinua o continua en una unidad de cristalización de xilitol (1920). Opcionalmente, se añade etanol a una concentración específica, tal como etanol al 0-40 % en peso/peso. Opcionalmente, la solución se siembra con cristales de xilitol y se enfría gradualmente a una velocidad controlada con agitación para inducir la cristalización. Los cristales de xilitol pueden recogerse mediante filtración o centrifugación. Opcionalmente, los cristales de xilitol recogidos se lavan y se secan (1960). Opcionalmente, los cristales de xilitol recogidos se redisuelven (1940) para formar una solución de xilitol. La solución de xilitol puede pulirse adicionalmente (1950) y la solución pulida puede usarse como producto de xilitol líquido (1950-A). El pulido puede incluir poner en contacto la solución de xilitol con una resina de intercambio iónico, tal como resinas de CAF, ABD y LM. Opcionalmente, el pulido incluye poner en contacto la solución de xilitol con carbón activo granulado.

El agua madre de la cristalización de xilitol puede concentrarse mediante evaporación (1922) a al menos el 70 % en peso/peso de sólidos disueltos, tal como del 80 % al 88 % en peso/peso de sólidos disueltos. Opcionalmente, el agua madre se extrae mediante evaporación para retirar etanol, si está presente (1928). El agua madre concentrada puede introducirse en una segunda unidad de cristalización de xilitol (1925) y puede sembrarse opcionalmente con cristales de xilitol. El enfriamiento gradual a una velocidad controlada puede dar como resultado una segunda cristalización de xilitol. Estos cristales (1925-A) pueden recogerse mediante filtración o centrifugación. La segunda cristalización puede producir cristales de menor pureza que la primera cristalización. En algunos ejemplos, el agua madre de la segunda cristalización se separa mediante cromatografía (1930) para producir una corriente de extracto que comprende una composición similar a la primer agua madre, una corriente de refinado que tiene bajo contenido de xilitol y es rica en arabitol, y una tercera corriente que comprende azúcares reductores residuales y oligómeros residuales. La corriente de extracto puede reciclarse en la segunda unidad de cristalización para aumentar el rendimiento global de xilitol. Opcionalmente, la corriente de extracto se extrae mediante evaporación para retirar el etanol, si está presente. Opcionalmente, la tercera corriente que comprende azúcares reductores residuales se recicla a fermentación. Opcionalmente, la tercera corriente se extrae mediante evaporación para retirar el etanol, si está presente (1935). Opcionalmente, la corriente de refinado que comprende arabitol se alimenta a un digestor anaeróbico para convertir la materia orgánica en metano que puede usarse como fuente de energía. Opcionalmente, la corriente de refinado se extrae mediante evaporación para retirar el etanol, si está presente (1936).

En algunos ejemplos, la recuperación de xilitol del caldo de fermentación comprende: (i) filtrar el caldo de fermentación a través de un microfiltro y recoger el microfiltrado resultante; (ii) filtrar el microfiltrado a través de un ultrafiltro y recoger el ultrafiltrado resultante; (iii) filtrar el ultrafiltrado a través de un nanofiltro y recoger el nanofiltrado resultante; (iv) poner en contacto el nanofiltrado con una resina de intercambio iónico, produciendo de este modo un nanofiltrado refinado; (v) concentrar el nanofiltrado refinado mediante evaporación, produciendo de este modo un nanofiltrado concentrado; (vi) cristalizar xilitol en el nanofiltrado concentrado; y (vii) separar cristales de xilitol del agua madre. Opcionalmente, la recuperación de xilitol del caldo de fermentación comprende adicionalmente: (viii) disolver los cristales de xilitol para formar una solución de xilitol; y (ix) pulir la solución de xilitol con una resina de intercambio iónico.

El producto de xilitol recuperado puede comprender xilitol al menos al 95 % en peso/peso, tal como xilitol al menos al 96 %, al menos al 97 %, al menos al 98 %, al menos al 99 %, al menos al 99,5 % o al menos al 99,9 % en peso/peso. El producto de xilitol puede producirse mediante un método que se describe en el presente documento. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende menos del 1 % en peso/peso de oligosacáridos, tal como menos del 0,5 %, menos del 0,25 %, menos del 0,1 %, menos del 0,05 % o menos del 0,01 % de oligosacáridos en peso/peso. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende hexosas en una cantidad de hasta el 1 % en peso/peso, tal como de hasta el 0,5 %, hasta el 0,25 %, hasta el 0,1 %, hasta el 0,05 % o hasta el 0,01 % en peso/peso de hexosas. Las hexosas pueden seleccionarse entre glucosa, galactosa, manosa y fructosa. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende menos de 100 ppm de arabitol, tal como menos de 50 ppm, 10 ppm, 1 ppm o 1 ppb de arabitol. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende menos de 100 ppm de galactitol, tal como menos de 50 ppm, 10 ppm, 1 ppm o 1 ppb de galactitol. En algunos ejemplos, no se detecta galactitol en el producto de xilitol. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso, tal como de hasta el 0,1 %, hasta el 0,05 % o hasta el 0,01 % en peso/peso de cenizas. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende furfural en una cantidad de hasta 500 ppm, tal como de hasta 250 ppm, 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm o 1 ppm de furfural. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende una amina en una cantidad de hasta 500 ppm, tal como de hasta 250 ppm, 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm o 1 ppm de amina y en donde la amina comprende al menos 12 átomos de carbono. Opcionalmente, el producto de xilitol comprende un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 500 ppm, tal como de hasta 250 ppm, 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm o 1 ppm de monoalcohol C₆₋₁₂. En algunos ejemplos, el producto de xilitol se proporciona en forma cristalina. En algunos ejemplos, el producto de xilitol se proporciona como una solución acuosa. Opcionalmente, la concentración de la solución acuosa es de al menos el 50 % en peso/peso de sólidos disueltos, por ejemplo, de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 90 % en peso/peso de sólidos disueltos, tal como del 75 % al 85 % en peso/peso.

El rendimiento de recuperación global de xilitol mediante una separación de xilitol de los métodos objeto puede ser de más del 70 %, más del 75 %, más del 80 %, más del 85 %, más del 86 %, más del 87 %, más del 88 %, más del 89 %, más del 90 %, más del 91 %, más del 92 %, más del 93 %, más del 94 %, más del 95 %, más del 96 %, más del 97 % o más del 98 % de xilitol. En algunos ejemplos, el rendimiento de xilitol recuperado mediante los métodos objeto es de al menos el 50 %, al menos el 55 %, al menos el 60 %, al menos el 65 %, al menos el 70 %, al menos el 75 %, al menos el 80 %, al menos el 85 %, al menos el 90 %, al menos el 91 %, al menos el 92 %, al menos el 93 %, al menos el 94 %, al menos el 95 %, al menos el 96 %, al menos el 97 % o al menos el 98 % de xilitol con respecto al contenido de xilosa de la biomasa que contiene lignocelulosa.

El xilitol puede separarse de una solución de mezcla de azúcares mediante cromatografía de exclusión de iones de lecho móvil simulado (LMS) usando resina de intercambio aniónico (véase, por ejemplo, la Pat. de los EE.UU. N.º 6.451.123). Puede usarse un sistema y un método mejorados para el fraccionamiento de xilitol mediante una cromatografía de lecho móvil simulado secuencial (LMSS) a escala industrial (véase, por ejemplo, la Solicitud de los EE.UU. N.º 14/398.444). Como alternativa, puede usarse una resina de CAF para la separación de xilitol de una mezcla de polioles (véase, por ejemplo, la Pat. de los EE.UU. N.º 4.008.285), en donde la sal de la resina se selecciona entre el grupo que consiste en sales de metales alcalinotérreos (por ejemplo, sales de Sr²⁺, sales de Ca²⁺), sales de Fe³⁺ y sales de Al³⁺. En algunos ejemplos, se aplica un método de LMSS similar para producir una corriente enriquecida con xilitol, una corriente de arabitol y una corriente de azúcar reductora que comprende monómeros y oligómeros. La corriente enriquecida con xilitol se recicla a la alimentación del cristalizador, de manera que se maximiza el rendimiento de xilitol. A la corriente de azúcar reductora se le extrae opcionalmente el etanol residual, si está presente, y se recicla a la unidad de fermentación. A la corriente de arabitol se le extrae el etanol residual, si está presente, y se alimenta a un proceso de tratamiento de desechos que comprende un digestor anaeróbico para producir metano que puede usarse como fuente de energía para el proceso.

Puede realizarse un fraccionamiento cromatográfico para conseguir el enriquecimiento de la concentración de xilitol con resinas de intercambio iónico (por ejemplo, una resina de intercambio catiónico y una resina de intercambio aniónico) como material de relleno de la columna. Las resinas de intercambio catiónico incluyen resinas de intercambio de cationes de ácido fuerte y resinas de intercambio de cationes de ácido débil. Las resinas de intercambio de cationes de ácido fuerte pueden estar en forma de catión metálico monovalente o multivalente, por ejemplo, en forma de H⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺ o Zn²⁺. Las resinas de intercambio de cationes de ácido fuerte normalmente tienen un esqueleto de estireno, que está preferentemente reticulado con del 3 al 8 %, preferentemente del 5 al 6,5 % de divinilbenceno. Las resinas de intercambio de cationes de ácido débil pueden estar en forma de

catión metálico monovalente o multivalente, por ejemplo, H⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, en forma de Sr²⁺ o en forma de Na⁺. Las resinas adecuadas pueden adquirirse en Lanxess AG, Purolite, Dow Chemicals Ltd. o Rohm & Haas.

Puede realizarse un fraccionamiento cromatográfico en modo discontinuo, en modo de lecho móvil simulado (LMS) o en modo de lecho móvil simulado secuencial (LMSS). La temperatura del fraccionamiento cromatográfico está normalmente en el intervalo de 20 a 90 °C, tal como de 40 a 65 °C. El pH de la solución que ha de fraccionarse puede ser ácido o puede ajustarse a un intervalo de pH de 2,5 a 7, preferentemente de 3,5 a 6,5 y mucho más preferentemente de 4 a 5,5. El fraccionamiento puede realizarse con un caudal lineal de aproximadamente 1 m/h a aproximadamente 10 m/h en la columna de separación.

La Fig. 7 presenta un ensayo de pulso que muestra la separación de xilitol de una mezcla acuosa que comprende xilitol, arabitol, xilosa y etanol, indicando la capacidad de fraccionar xilitol mediante LMSS. La resina es una resina CAF en forma de Sr²⁺.

Una biomasa incluida en un método o sistema sujeto que se desvela en el presente documento puede ser bagazo de caña de azúcar. En algunos ejemplos, la biomasa puede comprender hojas de caña de azúcar. Aunque puede ser deseable devolver parte de la masa de hojas de caña de azúcar a la tierra después de la cosecha, el exceso de masa de hojas de caña de azúcar puede ser problemático. Actualmente, muchos expertos en la materia consideran que las hojas de caña de azúcar son desechos que han de tratarse, con frecuencia en soluciones poco ecológicas, tales como la quema. Las hojas de caña de azúcar que entran en el ingenio azucarero pueden reducir la capacidad de producción y aumentar las pérdidas de sacarosa en la fibra que sale (es decir, el bagazo). Por tanto, puede ser ventajoso para los productores de caña de azúcar y/o el ingenio azucarero usar hojas como fuente de azúcares hemicelulósicos. En la actualidad, algunas de las hojas pueden procesarse a través del ingenio azucarero. Puesto que el contenido de sacarosa en las hojas es bajo, reducen eficazmente la productividad del ingenio azucarero. En algunos ejemplos, las hojas se separan de las cañas cosechadas mediante clasificación por aire para separar las hojas ligeras de la caña pesada. En algunos ejemplos, las hojas se recogen en el campo, se embalan y después se transfieren directamente a la unidad de lavado para su procesamiento. Las hojas de caña de azúcar pueden procesarse de manera similar al bagazo de caña de azúcar o pueden combinarse con bagazo para su procesamiento.

Si se usa una materia prima con contenido de xilosa, que no sea bagazo u hojas de caña de azúcar, por ejemplo, abedul o eucalipto, la etapa de lavado puede ser innecesaria y el sistema puede adaptarse en consecuencia reemplazando la unidad de lavado con un sistema de descortezado y dimensionamiento. Las unidades de extracción de hemicelulosa y los métodos que se desvelan en el presente documento son particularmente adecuados para recuperar azúcares de hemicelulosa que comprenden xilosa a partir de prehidrolizados producidos en fábricas de pulpa para transformación química en la producción de fibras celulósicas, por ejemplo, viscosa y acetato. Se aplica prehidrólisis en fábricas de pulpa para transformación química para retirar la hemicelulosa de la biomasa antes de una fabricación de pulpa de Kraft o sulfito. Las pulpas para transformación química contienen normalmente niveles bajos de hemicelulosa residual (por ejemplo, hasta el 3 %, hasta el 2 % o hasta el 1 % en peso/peso de hemicelulosa), en comparación con niveles más altos en la pulpa Kraft típica de calidad de papel, normalmente aproximadamente el 10 %. Normalmente, se realiza prehidrólisis en digestores de pulpa de difusión mediante tratamiento de las astillas de madera con vapor o agua para inducir la autohidrólisis. La hidrólisis por vapor puede dar como resultado que el hidrolizado quede retenido por los poros de la madera. La hidrólisis en agua puede permitir la recogida del hidrolizado formado con rendimientos más altos. Opcionalmente, puede añadirse un ácido al agua para acelerar la hidrólisis de la hemicelulosa. Opcionalmente, el ácido puede ser un ácido mineral o un ácido orgánico, por ejemplo, SO₂, H₂SO₄, HCl, ácido acético o ácido fórmico. Puesto que las condiciones prehidrólisis pueden ser bastante rigurosas para retirar de manera óptima la hemicelulosa de la biomasa, el hidrolizado resultante puede ser relativamente alto en los productos de degradación. No obstante, el hidrolizado puede refinarse, y puede recogerse xilosa y/o xilitol en los sistemas y métodos que se desvelan en el presente documento, valorando de este modo la corriente de hidrolizado y contribuyendo significativamente a la economía del ingenio. Opcionalmente, el sistema que se desvela en el presente documento puede combinarse con la fábrica de pulpa para transformación química para la recuperación de productos químicos, el reciclaje de disolventes y la recogida de energía a partir de corrientes de desechos, reduciendo de este modo el coste de producción tanto de los azúcares de hemicelulosa como de la pulpa para transformación química. Opcionalmente, se añaden hexosas al hidrolizado antes de la fermentación para conseguir las relaciones preferidas de xilosa a hexosas como se ha descrito anteriormente para la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada y la materia prima de fermentación.

En el presente documento se desvela un sistema para producir xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa. En un ejemplo, el sistema comprende: (i) una unidad de extracción de hemicelulosa configurada para extraer e hidrolizar hemicelulosa a partir de la biomasa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa; (ii) una unidad de refinación en comunicación fluida con la unidad de extracción, en donde la unidad de refinación se configura para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa y un extractor de amina, y en donde el extractor de amina retira las impurezas de la corriente de azúcar de hemicelulosa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; opcionalmente, (iii) una unidad de detección configurada para analizar uno o más parámetros de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde el uno o más parámetros se seleccionan entre pH, absorbancia de luz, conductividad, densidad, concentración de xilosa y

concentración de hexosa; (iv) una unidad de fermentación en comunicación fluida con la unidad de refinación para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde la unidad de fermentación se configura para contener la corriente refinada y un microorganismo, y en donde el microorganismo facilita la producción del xilitol a partir de un monosacárido en la corriente refinada para producir un caldo de fermentación; y (v) una unidad de refinación de xilitol, en donde la unidad de refinación de xilitol se configura para retirar el xilitol del caldo de fermentación.

Opcionalmente, el sistema comprende adicionalmente una unidad de lavado configurada para retirar cenizas y tierra de la biomasa. La unidad de lavado puede estar en comunicación fluida con la unidad de extracción de hemicelulosa. Opcionalmente, se usa una unidad de lavado a contracorriente como se representa en la Fig. 8 para eliminar la tierra y las cenizas de la biomasa. Un método para reducir el contenido de cenizas y tierra puede comprender al menos una y hasta n fases de resuspensión y molienda (por ejemplo, trituración) de la biomasa, y al menos una y hasta m fases de lavado y deshidratación de la biomasa, en donde n es 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10 y m es 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10. Opcionalmente, n es igual a m. En algunos ejemplos, m es superior a n o n es superior a m.

Cada fase de una unidad de lavado utilizada para reducir el contenido de tierra y cenizas de una biomasa puede comprender un tanque, en donde la biomasa se resuspende por medio de un agitador, una bomba o cualquier otro medio capaz de provocar la resuspensión de la biomasa en agua. Opcionalmente, la relación de líquido a sólido en el tanque es de 30-60:1, tal como una relación de líquido a sólido de 60 a 1, de 55 a 1, de 50 a 1,45 a 1,40 a 1,35 a 1, o de 30 a 1. Cada tanque puede estar equipado con una entrada de sólidos. El tanque puede estar en comunicación fluida, por ejemplo, a través de una bomba y un tubo, con un dispositivo de deshidratación, en donde la suspensión en el tanque puede transferirse al dispositivo de deshidratación. La unidad de lavado puede comprender una tubería para devolver la fase líquida del dispositivo de deshidratación al tanque. Opcionalmente, el dispositivo de deshidratación se posiciona más alto que el tanque para que la gravedad pueda ayudar al regreso del líquido al tanque. En algunos ejemplos, cada tanque está equipado con una entrada de líquido conectada para recibir líquido desde su fase n+1 y una salida de líquido conectada para entregar líquido a su fase n-1, donde la salida de líquido de la fase l puede conectarse para entregar líquido a un tanque auxiliar para reciclaje de agua. La posición de la salida de líquido puede estar en la parte superior de la fase líquida en el tanque de cada fase, de manera que el líquido se transfiera como una corriente de desbordamiento. Opcionalmente, el tanque de la fase n comprende una entrada de agua adicional conectada para recibir una corriente de agua. Opcionalmente, la corriente de agua comprende agua reciclada filtrada o tratada de la unidad de lavado, agua dulce o agua de proceso de otras unidades del sistema.

Un tanque auxiliar de la unidad de lavado puede recibir una corriente de purga. La corriente de purga puede provenir del desbordamiento secuencial o de la purga de la parte inferior de los tanques, en modo continuo o intermitente. Opcionalmente, el tanque auxiliar se conecta con al menos un dispositivo para la separación de partículas finas del líquido, tal como un hidrociclón, una centrífuga o un filtro. Puede usarse un hidrociclón o una centrífuga para recuperar partículas finas de biomasa de la salida de la parte superior. Esta biomasa recuperada puede enviarse al tanque de la fase n para minimizar las pérdidas de biomasa. Las partículas de cenizas y tierra pueden separarse de la salida de la parte inferior o de la salida de densidad superior (posicionándolas sin embargo en el dispositivo de separación utilizado). Esta corriente puede filtrarse adicionalmente para retirar la tierra y recuperar el agua.

El tanque de cada fase también puede estar equipado con una salida de líquido/sólido de nivel bajo, preferentemente posicionada en la parte inferior del tanque. Opcionalmente, el sistema también está equipado con al menos una entrada de aire a presión. Una o más fases pueden estar equipadas con un dispositivo de trituración o molienda, en donde dicho dispositivo es opcionalmente un dispositivo de trituración o molienda en línea o sumergido. En algunos ejemplos, la trituración o molienda es cada vez más fina con cada fase n progresiva en la unidad de lavado. Diversos proveedores ofrecen dispositivos de trituración, molienda, homogeneización y fabricación de pulpa, incluyendo, por ejemplo, EBERA Fluid Handling, Bolton Emerson, ARDE-BARINKO e IKA. Pueden usarse diferentes dispositivos en diferentes fases.

Opcionalmente, al menos un dispositivo de deshidratación comprende un tamiz. El tamaño del tamiz puede variar entre 1000 y 100 micrómetros. Opcionalmente, el tamaño del tamiz disminuye con cada fase m progresiva en la unidad de lavado. El tamiz puede mantenerse en una posición diagonal o una posición torcida con respecto a la tierra. La biomasa puede recogerse de la parte superior del tamiz y puede transferirse a través de una tolva de transferencia de sólidos al tanque de la fase n+1. Un líquido que comprende partículas de tierra y partículas finas de biomasa puede atravesar el tamiz y puede devolverse al tanque de la fase n. Diversos proveedores ofrecen dispositivos de tamizaje adecuados, incluyendo, por ejemplo, Dorr-Oliver y FluidQuip. Pueden usarse diferentes dispositivos en diferentes fases.

En algunos ejemplos, un dispositivo de deshidratación puede conectarse a otro dispositivo de deshidratación directamente (es decir, no a través de otro tanque). Opcionalmente, el dispositivo de deshidratación final m aplica presión para reducir el contenido de agua al mínimo. En algunos ejemplos, el contenido de agua final de la biomasa lavada puede ser inferior al 70, inferior al 65, inferior al 60, inferior al 55, inferior al 50, inferior al 45, inferior al 40, inferior al 35 o inferior al 30 % en peso/peso. En algunos ejemplos, el contenido de agua final de la biomasa lavada es del 40-60 % p/p. El dispositivo de deshidratación final puede comprender una prensa de tornillo. Una prensa de

tornillo adecuada puede comprender un tornillo simple o doble o un husillo doble o un molino de rodillos que consiga el contenido de agua final a la velocidad de producción deseada. Diversos proveedores ofrecen dispositivos de prensa de tornillo adecuados, incluyendo, por ejemplo, Vincent Corporation, Stord Bartz, FKC Company Ltd y Parkson Corporation. Pueden usarse diferentes dispositivos en diferentes fases.

5 La unidad de lavado puede recibir biomasa en bruto procedente de la cosecha o del tratamiento corriente arriba en astillas, trozos o partículas de diversos tamaños. Opcionalmente, la biomasa en bruto se tritura o se destruye en primer lugar para romper los trozos y dimensionar la biomasa en bruto a un tamaño uniforme que se pueda resuspender y manipular mediante bombas y molinos más corriente abajo. Los sistemas adecuados para la trituración o la destrucción pueden seleccionarse entre, pero sin limitación, una trituradora de mandíbula, una trituradora de cono, una trituradora de bañera, un molino de martillo y una astilladora. Numerosos proveedores ofrecen dichos equipos, incluyendo, por ejemplo, West Salem Machinery, Metso Corporation y Andritz. Opcionalmente, la biomasa en bruto se dimensiona de manera que más del 70, 75, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o más del 99 % en peso/peso pase a través de un tamiz de malla 20 (841 micrómetros). Opcionalmente, la biomasa en bruto se dimensiona de manera que más del 70, 75, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o más del 99 % en peso/peso pase a través de un tamiz de malla 12 (1680 micrómetros). Opcionalmente, la biomasa en bruto se dimensiona de manera que más del 70, 75, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o más del 99 % en peso/peso pase a través de un tamiz de malla 7 (2830 micrómetros). Opcionalmente, la biomasa en bruto se dimensiona de manera que más del 70, 75, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o más del 99 % en peso/peso pase a través de un tamiz de malla 5 (4000 micrómetros). En algunos ejemplos, más del 93 % p/p pasa a través de un tamiz de malla 12 y más del 90 % p/p pasa a través de un tamiz de malla 20. En algunos ejemplos, aproximadamente el 20 % (p/p) del material queda retenido en un tamiz de malla 60 (250 micrómetros) y aproximadamente el 20 % (p/p) queda retenido en un tamiz de malla 40 (400 micrómetros). En algunos ejemplos, menos del 4 %, menos del 5 %, menos del 6 %, menos del 7 %, menos del 8 %, menos del 9 %, menos del 10 %, menos del 11 % o menos del 12 % en peso/peso pasa a través de un tamiz de malla 200 (74 micrómetros). La biomasa en bruto dimensionada puede transferirse mediante cualquier medio de transferencia de material sólido y puede alimentarse al tanque de la fase I de la unidad de lavado.

30 Un sistema que se describe en el presente documento puede comprender una unidad de extracción de hemicelulosa configurada para extraer e hidrolizar hemicelulosa de la biomasa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa. Una unidad de extracción de hemicelulosa puede comprender un tanque equipado con un dispositivo de alimentación de sólidos y al menos un dispositivo de alimentación acuosa, en donde el tanque puede mantener una presión de al menos 27,58 bar (400 psi) y puede calentarse a una temperatura de al menos 250 °C. El tanque puede estar equipado con capacidad de agitación para mezclar corrientes sólidas y líquidas. Opcionalmente, el tanque está equipado con capacidad de flujo para mover corrientes sólidas y líquidas. El tanque puede estar equipado con una salida adecuada para retirar la suspensión reaccionada. Un tanque de la unidad de extracción puede tener opcionalmente más de un compartimento en donde los compartimentos adyacentes estén separados por rebasaderos. Opcionalmente, la unidad de extracción puede comprender más de un tanque, en donde los tanques están en comunicación fluida con tanques adyacentes para permitir el flujo de masa a través de tanques consecutivos. En algunos ejemplos, la unidad de extracción comprende un reactor de flujo de pistón. El reactor de flujo de pistón puede montarse en un ángulo bajo para ayudar al vaciado del reactor cuando se requiere un apagado. El reactor puede recubrirse con camisa parcial o totalmente para evitar la pérdida de calor.

45 Una suspensión acuosa que comprende la biomasa puede alimentarse de forma continua a la unidad de extracción de hemicelulosa. En algunos ejemplos, se controla la concentración de ácido de la suspensión acuosa. Opcionalmente, se añade ácido adicional si la concentración de ácido está por debajo de un umbral. Opcionalmente, dicho control es continuo y dicha adición de ácido es controlada por un sistema informatizado que acepta la entrada de al menos una sonda, en donde el sistema informatizado controla adicionalmente las bombas y válvulas del sistema. Opcionalmente, el producto de extracción, por ejemplo, una suspensión de extracción de hemicelulosa que comprende azúcares de hemicelulosa, se retira de forma continua. En algunos ejemplos, la suspensión acuosa alimentada a la unidad de extracción puede calentarse en la corriente entrante. Opcionalmente, la suspensión se calienta en un tanque de la unidad de extracción. En algunos ejemplos, una corriente que sale de la unidad de extracción (por ejemplo, una suspensión de extracción de hemicelulosa) se enfría. Los procesos de calentamiento o enfriamiento pueden ser rápidos, por ejemplo, calentamiento ultrarrápido y/o enfriamiento ultrarrápido. Opcionalmente, el calentamiento hasta el punto de ajuste de extracción se realiza en menos de 60, menos de 45, menos de 30, menos de 25, menos de 20, menos de 15, menos de 10 o menos de 5 minutos. Opcionalmente, el enfriamiento de la suspensión de extracción se realiza en menos de 60, menos de 45, menos de 30, menos de 25, menos de 20, menos de 15, menos de 10 o menos de 5 minutos. El calor retirado en el extremo de enfriamiento puede usarse para calentar el extremo de calentamiento mediante el uso de intercambiadores de calor adecuados, por ejemplo, carcasa y tubo de tipo espiral, carcasa y tubo convencionales o una placa y marco. Los intercambiadores de calor adecuados pueden obtenerse, por ejemplo, en Alfa Laval o Chemineer Inc. En algunos ejemplos, la unidad de extracción se usa para realizar un proceso por lote, o preferentemente continuo, para extraer hemicelulosa, ácidos orgánicos y cenizas y extractos residuales de la biomasa.

En algunos ejemplos, la suspensión de extracción de hemicelulosa comprende azúcares de hemicelulosa y un resto de lignocelulosa. La unidad de extracción de hemicelulosa puede comprender un sistema para separar una corriente residual de lignocelulosa de la corriente de azúcar de hemicelulosa. Opcionalmente, la corriente residual de lignocelulosa se lava para retirar los azúcares de hemicelulosa residuales. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa se lava para retirar componentes residuales de lignocelulosa. En la Fig. 9. se presenta un sistema para separar sólidos, tales como la corriente residual de lignocelulosa, de líquidos, tales como la corriente de azúcar de hemicelulosa, después de la extracción de hemicelulosa. Este sistema puede comprender al menos un dispositivo de separación sólido-líquido. En algunos ejemplos, el sistema comprende al menos un tanque de resuspensión. Puede realizarse más de una etapa de separación sólido-líquido y resuspensión, opcionalmente con el líquido de lavado aplicado a contracorriente. El sistema puede comprender 1, 2, 3, 4, 5 o 6 etapas de separación sólido-líquido seguidas de etapas de resuspensión. Los dispositivos de separación sólido-líquido pueden seleccionarse entre tamices doblados, tanques de sedimentación, centrífugas e hidrociclones. En algunos ejemplos, la etapa de lavado final se realiza en una centrífuga. El líquido recogido en la carga más pesada puede transferirse a la alimentación del líquido de extracción.

La corriente residual de lignocelulosa puede separarse de la corriente de azúcar de hemicelulosa por medio de un filtro de correa de vacío. Los sistemas de filtro de correa de vacío están disponibles en el mercado de diversos proveedores, incluyendo, por ejemplo, Pannevis, BHS-Sonthofen Inc. y FLSmidth. En algunos ejemplos, la suspensión de extracción se alimenta de forma continua sobre una correa móvil. A medida que se mueve la correa, puede aplicarse vacío para retirar líquidos y crear una torta de filtración que descansa sobre la correa móvil. Opcionalmente, la correa pasa a través de una zona de lavado. Opcionalmente, la correa pasa a través de una zona de secado. Una zona de lavado puede comprender boquillas que pulverizan un fluido de lavado sobre la torta de filtración (es decir, la corriente residual de lignocelulosa) para aclarar los azúcares de hemicelulosa residuales de la corriente residual de lignocelulosa, aumentando de este modo la recuperación de azúcares de hemicelulosa. La temperatura de la suspensión de extracción y el fluido de lavado pueden estar a aproximadamente 20-100 °C, tal como 30-90 °C, 35-85 °C, 35-80 °C, 40-80 °C, 50-80 °C, 40-75 °C o 55-75 °C. Opcionalmente, el líquido de lavado es agua. El flujo del fluido de lavado puede ser de aproximadamente 0,25, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 o 1 en comparación con el flujo de la suspensión de extracción. En algunos ejemplos, menos del 40 %, menos del 30 %, menos del 20 %, menos del 10 %, menos del 5 %, menos del 4 %, menos del 3 %, menos del 2,5 %, menos del 2 %, menos del 1,5 % o menos del 1 % de los sólidos permanecen en la corriente de azúcar de hemicelulosa. En algunos ejemplos, la correa se enrolla sobre un rodillo para hacer que la torta de filtración (es decir, la corriente residual de lignocelulosa) se caiga. Opcionalmente, los sólidos residuales se raspan de la correa con rascadores. Más de aproximadamente el 60 %, más de aproximadamente el 70 %, más de aproximadamente el 80 %, más de aproximadamente el 90 % o más de aproximadamente el 95 % de los sólidos en la suspensión de extracción pueden recuperarse en la corriente residual de lignocelulosa. Después de la retirada de la corriente residual de lignocelulosa, la correa puede enrollarse de nuevo en los rodillos de partida al comienzo de la línea. Una correa de vacío puede fabricarse con diversos materiales usando diferentes métodos de producción de tela y puede ser tejida o no tejida. La fabricación puede optimizarse para producir la porosidad, el espesor y la permeabilidad al aire deseados.

Un sistema que se describe en el presente documento puede comprender una unidad de refinación en comunicación fluida con la unidad de extracción, en donde la unidad de refinación se configura para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa y un extractor de amina, y en donde el extractor de amina retira las impurezas de la corriente de azúcar de hemicelulosa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, la corriente de azúcar de hemicelulosa se extrae con un extractor de amina a contracorriente, por ejemplo, la corriente de azúcar de hemicelulosa fluye en una dirección opuesta al flujo del extractor de amina. La unidad de refinación puede comprender un dispositivo mezclador-decantador, un tanque agitado, una centrífuga de separación líquido-líquido o una columna, en donde el dispositivo mezclador-sedimentador, el tanque agitado, la centrífuga de separación líquido-líquido o la columna están equipados con un dispositivo de alimentación de líquidos para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa de la unidad de extracción. La unidad de refinación puede estar equipada con una entrada para recibir el extractor de amina. Opcionalmente, la extracción de amina se realiza en un dispositivo mezclador-sedimentador, en donde el dispositivo mezclador-sedimentador puede diseñarse para minimizar la formación de emulsión, reduciendo de este modo el tiempo de separación de fases. Un mezclador-sedimentador puede comprender una primera fase que mezcla las fases juntas, seguida de una fase de sedimentación en reposo que permite que las fases se separen por gravedad. Pueden usarse diversos mezcladores-sedimentadores conocidos en la técnica. En algunos ejemplos, la separación de fases puede potenciarse incorporando una centrífuga adecuada con el mezclador-sedimentador. Opcionalmente, tanto la mezcla como la separación pueden realizarse en una centrífuga de separación líquido-líquido. Las centrifugadoras de separación líquido-líquido están disponibles en el mercado de diversos proveedores, incluyendo, por ejemplo, Rousselet Robatel Inc. y US Centrifuge Systems LLC. La extracción de la amina puede realizarse a cualquier temperatura a la que la amina sea soluble, tal como 50-70 °C. Opcionalmente, la extracción de amina comprende más de una etapa de extracción (por ejemplo, 2, 3 o 4 etapas). La relación de la corriente de extractor de amina (corriente orgánica) a la corriente de azúcar de hemicelulosa (corriente acuosa) puede variar de aproximadamente 0,5:1 a aproximadamente 5:1 en peso/peso, tal como aproximadamente 0,5:1, aproximadamente 1:1, aproximadamente 1,5:1, aproximadamente 2:1, aproximadamente 2,5:1, aproximadamente 3:1, aproximadamente 3,5:1, aproximadamente 4:1, aproximadamente 4,5:1 o aproximadamente 5:1. En algunos ejemplos, la relación de la corriente orgánica a la corriente acuosa es de aproximadamente 1,5-4,0:1 en peso/peso. La unidad de refinación puede comprender adicionalmente al menos una

5 salida para retirar la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. En algunos ejemplos, la unidad de refinación comprende adicionalmente unidades de columna o discontinuas para poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con resinas de intercambio iónico o carbón activado para pulir adicionalmente la solución de azúcar refinada. En algunos ejemplos, la salida está en comunicación fluida con una unidad de fermentación. La unidad de refinación puede comprender una segunda salida para retirar la corriente orgánica que comprende el extractor de amina. En algunos ejemplos, la corriente orgánica se trata y el extractor de amina purificado resultante se recicla de nuevo a la unidad de refinación.

10 Un sistema que se describe en el presente documento puede comprender una unidad de detección en comunicación fluida con la unidad de refinación para analizar la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. La unidad de detección puede analizar la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada de forma continua o discontinua. En algunos ejemplos, la unidad de detección comprende una sonda de pH. Opcionalmente, si la sonda de pH detecta que el pH de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es demasiado ácido, tal como un pH inferior a aproximadamente 3,0, la unidad de detección puede desviar la corriente de la unidad de fermentación. En algunos ejemplos, si una sonda de pH detecta que el pH de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es demasiado ácido, la unidad de detección se configura para elevar el pH de la solución, por ejemplo, mediante la adición de amoníaco. En algunos ejemplos, la unidad de detección analiza el color de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, por ejemplo, usando un espectrofotómetro. Si se determina que la absorbancia de la luz a una longitud de onda particular es demasiado alta, la unidad de detección puede desviar la corriente de la unidad de fermentación. En algunos ejemplos, la unidad de detección analiza la conductividad de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, por ejemplo, usando una sonda de conductividad. Si se determina que la conductividad es demasiado alta, tal como una conductividad superior a 10.000 microS/cm, la unidad de detección puede desviar la corriente de la unidad de fermentación. En algunos ejemplos, la unidad de detección analiza la densidad de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, por ejemplo, usando un refractómetro. Si se determina que la densidad es demasiado alta o demasiado baja, tal como una densidad correspondiente a una concentración de azúcar fuera del intervalo de 50 g/l a 300 g/l, la unidad de detección puede desviar la corriente de la unidad de fermentación o puede hacer que la adición de agua diluya la corriente. La unidad de detección puede configurarse para analizar la concentración de uno o más componentes de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde uno o más componentes se seleccionan entre xilosa, arabinosa, hexosas, glucosa, galactosa, manosa, fructosa, disacáridos, oligosacáridos, cenizas, compuestos fenólicos, furfural e hidroximetilfurfural. Cualquier concentración fuera de los intervalos descritos para los métodos y composiciones objeto puede hacer que la unidad de detección desvíe la corriente de la unidad de fermentación o corrija la concentración mediante una compensación o dilución adecuadas. Cualquier corriente desviada de la unidad de fermentación puede refinarse o utilizarse en algún otro proceso de la planta.

35 Un sistema que se describe en el presente documento puede comprender una unidad de fermentación en comunicación fluida con la unidad de refinación para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde la unidad de fermentación se configura para contener una materia prima de fermentación que comprende la corriente refinada y un microorganismo, en donde el microorganismo facilita la producción de xilitol a partir de un monosacárido en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para producir un caldo de fermentación. La unidad de fermentación puede comprender un tanque equipado con al menos una entrada de alimentación acuosa para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Opcionalmente, la unidad de fermentación puede tener una temperatura controlada, de manera que la unidad de fermentación mantenga una temperatura de fermentación dada dentro de $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro de $\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro de $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro de $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro de $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ o dentro de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Opcionalmente, la unidad de fermentación comprende uno o más sensores, tales como un sensor de temperatura, un sensor de densidad o un sensor de pH. Opcionalmente, la unidad de fermentación comprende un sensor de densidad, tal como un refractómetro, de manera que se pueda medir la densidad específica del caldo de fermentación. Un cambio en la densidad del caldo de fermentación por encima o por debajo de determinado umbral puede indicar que la fermentación ha consumido una concentración deseada de azúcares de hemicelulosa. Un tanque de la unidad de fermentación puede estar equipado con al menos una salida, de manera que el caldo de fermentación se pueda retirar a través de la al menos una salida.

55 Un sistema que se describe en el presente documento puede comprender una unidad de refinación de xilitol, en donde la unidad de refinación de xilitol se configura para retirar el xilitol del caldo de fermentación. La unidad de refinación de xilitol puede estar en comunicación fluida con la unidad de fermentación. En algunos ejemplos, la unidad de refinación de xilitol comprende uno o más filtros, tales como microfiltros, ultrafiltros y nanofiltros. Opcionalmente, la unidad de refinación de xilitol comprende tres fases de filtración, de manera que el caldo de fermentación se someta a microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración. El uno o más filtros pueden estar en comunicación fluida con una o más columnas, en donde la una o más columnas pueden contener carbón activado, tal como carbón activo granulado o una resina de intercambio iónico, tal como resina de cationes fuertemente ácidos, resina de aniones débilmente básicos o resina de lecho mixto. Opcionalmente, la una o más columnas están en comunicación fluida con una unidad de evaporación, en donde la unidad de evaporación se configura para evaporar agua de la solución, aumentando de este modo la concentración de sólidos disueltos. Opcionalmente, la unidad de refinación de xilitol comprende una unidad de cristalización de xilitol. La unidad de cristalización de xilitol puede estar en comunicación fluida con la unidad de evaporación. En algunos ejemplos, la unidad de cristalización de xilitol comprende un medio para agitar la solución. Opcionalmente, la cristalización de xilitol tiene una temperatura controla, de manera que la temperatura de la unidad pueda enfriarse gradualmente. La unidad de cristalización de

xilitol puede comprender adicionalmente una entrada para recibir etanol. En algunos ejemplos, se añade etanol a la solución en la unidad de cristalización de xilitol para ayudar a la cristalización de xilitol. En algunos ejemplos, la unidad de cristalización de xilitol se configura para recibir solución de alimentación de la unidad de evaporación en modo discontinuo o continuo. La unidad de cristalización de xilitol puede comprender un tamiz o filtro para facilitar la separación de cristales de xilitol del agua madre mediante filtración, o puede estar en comunicación fluida con un filtro o centrífuga configurados para recibir la suspensión de cristalización. Los cristales de xilitol separados pueden redisolverse y la solución de xilitol resultante puede transferirse a una unidad de pulido de xilitol. En algunos ejemplos, la unidad de pulido de xilitol comprende una resina de intercambio iónico, tal como una resina de CAF, ABD o LM. Opcionalmente, la unidad de pulido de xilitol comprende carbón activo, tal como carbón activo granulado.

En algunos ejemplos, las unidades descritas se conectan de manera que la masa se transfiera a través de etapas de proceso secuenciales. La unidad de alimentación de sólidos puede transferir masa de bagazo sólida a un molino dimensionador, ya sea de forma discontinua o continua. La unidad de dimensionamiento puede configurarse para transferir masa de bagazo dimensionada de forma discontinua o continua a la unidad de lavado. Esta unidad de lavado (1770) puede conectarse de manera que la masa sólida de bagazo lavada se transfiera a la unidad de extracción de hemicelulosa, ya sea de forma continua o discontinua. Opcionalmente, la unidad de lavado también se conecta con una corriente de desechos que permite la retirada de una corriente de desechos sólidos que comprende la tierra y las cenizas retiradas a un lugar de eliminación. La unidad de lavado puede conectarse opcionalmente con otras unidades de proceso corriente abajo para recibir agua de proceso. La unidad de extracción de hemicelulosa (1700) puede conectarse para recibir masa de bagazo lavada mediante un medio de transferencia de sólidos. Opcionalmente, la unidad de extracción de hemicelulosa también se conecta en su salida con la unidad de refinación por medio de transferencia de líquidos. La unidad de extracción de hemicelulosa también puede conectarse con otros procesos que utilizan la corriente residual de lignocelulosa sólida por medio de transferencia de sólidos. En algunos ejemplos, la unidad de refinación (1710) se conecta mediante un medio de transferencia de líquidos con la unidad de extracción de hemicelulosa, alimentándole licor de extracción. La unidad de refinación puede conectarse por medio de transferencia de líquidos con una unidad de fermentación (1900), alimentándola con la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada como alimentación para la fermentación de xilitol. Como alternativa, esta unidad de refinación se conecta con una unidad de fraccionamiento de xilosa (1720 y 1837) por medio de transferencia de líquidos. En la Fig. 2A se proporciona un diagrama esquemático de procesos de conversión de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares de hemicelulosa enriquecida en xilosa (1720-P1) en productos corriente abajo. La unidad de fraccionamiento de xilosa puede conectarse por medio de transferencia de líquidos con una unidad de fermentación (1900), alimentándola con una mezcla de azúcares enriquecida en xilosa para la producción de xilitol. El xilitol puede refinarse en una unidad de refinación de xilitol (1920). La unidad de fraccionamiento de xilosa opcionalmente se conecta como alternativa o además con una unidad de cristalización de xilosa (1841) para la producción de xilosa cristalina (1841-P1). La xilosa cristalina puede usarse en una unidad de conversión catalítica (1910) para la conversión catalítica de xilosa en xilitol, opcionalmente puede cristalizarse en una unidad de cristalización de xilitol (1915) para producir xilitol (1950-P1). La unidad de fraccionamiento de xilosa puede conectarse opcionalmente o adicionalmente con otro proceso (1780) para la conversión química de azúcares C₅ en furfural (1780-P1). En algunos ejemplos, la unidad de fraccionamiento de xilosa también se conecta mediante un medio de transferencia de líquidos con otro proceso capaz de usar la mezcla de azúcares agotada en xilosa como alimentación para la conversión bioquímica o química de la mezcla de azúcares en productos. En la Fig. 2C se proporciona un diagrama esquemático de procesos de ejemplo para convertir una mezcla de azúcares agotada en xilosa (1720-P3) en un producto corriente abajo. La mezcla de azúcares agotada en xilosa puede experimentar un segundo fraccionamiento (2000) para proporcionar un producto de arabinosa (2000-P1). La mezcla de azúcares agotada en xilosa opcionalmente puede digerirse como alternativa o adicionalmente en una unidad de digestión anaeróbica (2030) para producir metano (2030-P1). En algunos ejemplos, la unidad de fermentación de xilosa se conecta con la unidad de fraccionamiento de xilosa por medio de transferencia de líquidos, alimentándola con una mezcla de azúcares enriquecida en xilosa como alimentación. La unidad de fermentación puede conectarse con la unidad de refinación de xilitol por medio de transferencia de líquidos. En algunos ejemplos, la unidad de refinación de xilitol se conecta con la unidad de fermentación por medio de transferencia de líquidos, alimentándola con una mezcla que comprende xilitol. La unidad de refinación de xilitol puede conectarse con una unidad de cristalización de xilitol, alimentándola con xilitol refinado y fraccionado por medio de transferencia de líquidos. La unidad de refinación de xilitol también puede conectarse con otro proceso capaz de utilizar la corriente rechazada en el fraccionamiento de xilitol por medio de transferencia de líquidos. La unidad de refinación de xilitol puede conectarse como alternativa con la unidad de fermentación, transfiriendo la corriente líquida rechazada de vuelta a la unidad de fermentación para reciclar nutrientes y azúcares residuales. En un ejemplo preferido, el sistema global de unidades conectadas que se desvela en el presente documento funciona de manera orquestada para dar como resultado un sistema industrial para la producción de mezclas de azúcar de hemicelulosa refinada, xilosa, xilitol y productos adicionales hechos de los mismos, eficientemente y con economía positiva.

En algunos ejemplos, el flujo de transferencia de masas de las diferentes conexiones se optimiza para que coincida con los flujos corriente arriba y corriente abajo de cada flujo, de manera que las unidades se optimicen para usarse eficientemente. La energía puede transferirse de una unidad a otra de manera que el exceso de calor en una unidad se utilice para calentar otra unidad. El uso de energía en todas las unidades que se desvelan en el presente documento puede optimizarse para el proceso global.

En algunos ejemplos, el uso del agua se optimiza para el proceso global. El exceso de agua producida en una unidad puede transferirse por medio de transferencia de líquidos para utilizarse donde se necesita agua en otra unidad. Opcionalmente, el uso de ácido y base se optimiza para el proceso global para minimizar la necesidad de ácido o base recién preparados. Por ejemplo, las corrientes ácidas resultantes de la regeneración de resinas de intercambio catiónico mediante lavado ácido se usan para regenerar intercambiadores de cationes ácidos débiles y/o acidificar o neutralizar corrientes en otras unidades.

El sistema puede construirse de manera que pueda alimentar al menos 35.000 toneladas (sólido seco) de bagazo de caña de azúcar por año en el sistema, para producir al menos 7.000 toneladas (sólido seco) de azúcares de hemicelulosa refinada por año. El sistema se construye opcionalmente de manera que pueda producir al menos 5.000 toneladas (sólido seco) de xilosa por año, al menos 2.000 toneladas (sólido seco) de mezcla de azúcares de xilosa parcialmente agotada por año, junto con al menos 24.000 toneladas (sólido seco) de un resto de lignocelulosa. El sistema opcionalmente se construye de manera que produzca agua de desecho a aproximadamente 250 gpm.

Ejemplos

Se entiende que los ejemplos y realizaciones que se describen en el presente documento solo tienen fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención reivindicada. También se entiende que se sugerirán diversas modificaciones o cambios a la luz de los ejemplos y realizaciones que se describen en el presente documento a los expertos en la materia y se incluirán dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Ejemplo 1 - Análisis de cenizas de materia prima de bagazo de Luisiana antes y después de la retirada de tierra y cenizas

La fracción de cenizas de una muestra de bagazo tomada de una pila en un ingenio azucarero en Luisiana se evaluó mediante la incineración de muestras en un horno de microondas (3.1. Horno de mufa de microondas CEM Phoenix™). Se descubrió que la muestra de bagazo contenía un 13,4 % de cenizas.

Tabla 1A: Resultados de cenizas después de diferentes tratamientos para retirar la tierra y las cenizas

| Muestra | % de Cenizas |
|---|--------------|
| Muestra de Luisiana R1 | 13,12 |
| Muestra de Luisiana A | 17,81 |
| Muestra de Luisiana R2 | 13,38 |
| Muestra R1 lavada con agua | 12,78 |
| Muestra A lavada con agua | 17,16 |
| Muestra R2, 1 tratamiento por cizalla, 1 lavado a presión | 6,67 |
| Muestra A, 2 tratamientos por cizalla, 2 lavados a presión | 2,52 |
| Muestra R2, 6 tratamientos por cizalla, 6 lavados a presión | 2,68 |
| Muestra R2, 8 tratamientos por cizalla, 8 lavados a presión | 2,26 |

Los resultados que se resumen en la Tabla 1A demuestran la alta presencia de cenizas en el bagazo de Luisiana obtenido de diferentes ingenios azucareros y diferentes tiempos de muestreo. Los resultados también muestran que para conseguir una retirada eficaz de la tierra y las cenizas es esencial aplicar varios ciclos de tratamiento por cizalla y lavado con alta presión para provocar la retirada de piedras, arena y tierra del compuesto de cenizas. El bagazo restante todavía contiene el 2-3 % de cenizas "verdaderas", que están relacionadas con cationes metálicos y otros elementos asociados a nivel molecular en la estructura celular.

Otra muestra de bagazo se molió y se le eliminaron las cenizas, y las muestras se tamizaron a través de una serie de tamices antes y después de la eliminación de cenizas.

Tabla 1B: Eliminación de tierra/eliminación de cenizas del bagazo

| Tamaño de tamiz | Tamaño de tamiz (mm) | Bagazo en bruto triturado | | Bagazo sin cenizas | |
|-----------------|----------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | % de Cenizas | Longitud de la fibra | % de Cenizas | Longitud de la fibra |
| en malla 6 | 340 | 0,3 | 1,0-15,0 | 0 | |
| en 12 | 170 | 5 | 2,0-15,0 | 1 | 5,0-10,0 |
| en 16 | 120 | 9,5 | 1,0-10,0 | 5,4 | 2,0-10,0 |
| en 20 | 80 | 12,7 | 1,0-10,0 | 6 | 1,0-5,0 |
| en 30 | 60 | 57,3 | <1,0-5,0 | 71,1 | 1,0-5,0 |
| a través de 30 | <60 | 15,4 | <1,0 | 16,5 | <1,0 |

Los resultados que se resumen en la Tabla 1B demuestran que la capacidad de retirar por medios industriales la mayor parte de la tierra y las cenizas de la materia prima de bagazo mediante tratamiento por cizalla y lavado a alta presión, mientras se mantiene el ~85 % de la materia prima original a un tamaño superior a una malla 30, que permite la manipulación adicional del material lavado.

Ejemplo 2 - Caracterización de diferentes muestras de bagazo

5 En condiciones operativas prácticas, un proceso industrial debe ser capaz de utilizar bagazo de historial de almacenamiento variable, ya que el molino de azúcar puede almacenar bagazo en pilas durante más de 1, 3, 5 o incluso más de 10, 12 o 14 años. Por otra parte, la temporada de cosecha de la caña de azúcar es de aproximadamente 3 meses, siendo la producción de azúcar un proceso estacional, mientras que una biorrefinería debería funcionar durante todo el año. Además, es ventajoso que el exceso de hojas y desechos de campo puedan 10 manejarse en el mismo proceso para recoger la porción de xilosa en el mismo y para eliminar un cuello de botella de manipulación de desechos para el agricultor y/o el ingenio azucarero. Se caracterizaron muestras de bagazo que se almacenaron durante más de un año, bagazo nuevo y desechos de campo. Las muestras de "Bagazo nuevo" eran de pilas acumuladas durante hasta 4 años, Las muestras de "Bagazo viejo" eran de pilas acumuladas hacia 5-15 años y a las "Hojas" y otros desechos de campo se les eliminaron la tierra/se les eliminaron las cenizas de acuerdo con el Ejemplo 1. Las muestras lavadas se calentaron a 160 °C durante 60 minutos para extraer azúcares de hemicelulosa. La biomasa lignocelulósica antes y después de la extracción se analizó de acuerdo con la norma 15 NREL/TP-510-42622. Tanto las fases sólidas como el licor de hidrólisis se analizaron para determinar la composición de hidratos de carbono mediante IAAR-DAP. Los resultados se resumen en la Tabla 2. Los resultados indican que todas las muestras pueden manipularse mediante los métodos y sistemas que se desvelan en el presente documento.

20

Tabla 2: Composición de diferentes muestras de bagazo y de desechos de campo

| | Bagazo nuevo | | Bagazo viejo | | Hojas | |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| En seco, % p/p | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis |
| Hemicelulosa | 28,11 | 4,39 | 19,32 | 3,58 | 30,60 | 3,04 |
| Celulosa | 40,26 | 49,74 | 47,39 | 48,26 | 36,19 | 40,51 |
| Lignina Klason | 20,52 | 27,08 | 26,45 | 31,21 | 19,07 | 30,76 |
| Cenizas | 2,1 | 6,49 | 2,27 | 10,08 | 3,56 | 3,89 |
| TOTAL | 91,36 | 88,24 | 95,93 | 96,24 | 89,97 | 78,95 |
| Azúcares individuales en seco, % p/p | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis | Sólidos pre-hidrólisis | Sólidos post-hidrólisis |
| trehalosa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| arabinosa | 2,33 | 0,3 | 0,24 | 0,09 | 3,87 | 0,35 |
| galactosa | 0,5 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,74 | 0,15 |
| glucosa | 40,26 | 49,74 | 47,39 | 48,26 | 36,19 | 40,51 |
| xilosa | 24,81 | 3,31 | 18,45 | 2,69 | 25,41 | 2,03 |
| manosa | 0,47 | 0,72 | 0,58 | 0,74 | 0,57 | 0,50 |
| fructosa | 0,33 | 0,49 | 0,46 | 0,53 | 0,49 | 0,67 |
| isomaltosa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| celobiosa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| maltosa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Conc aq; % p/p | | Hidrolizado | | Hidrolizado | | Hidrolizado |
| trehalosa | | 0 | | 0 | | 0,00 |
| arabinosa | | 0,08 | | 0,005 | | 0,12 |
| galactosa | | 0,02 | | 0,005 | | 0,02 |
| glucosa | | 0,12 | | 0,088 | | 0,25 |
| xilosa | | 0,58 | | 0,326 | | 0,59 |
| manosa | | 0,03 | | 0,006 | | 0,01 |
| fructosa | | 0,02 | | 0,003 | | 0,03 |
| isomaltosa | | 0 | | 0 | | 0,00 |
| celobiosa | | 0 | | 0 | | 0,00 |
| maltosa | | 0 | | 0 | | 0,00 |
| xilosa/monómeros | | 68,2 % | | 75,3 % | | 57,1 % |
| C6/xilosa | | 32,8 % | | 31,3 % | | 54,7 % |

Ejemplo 3 - Destrucción de bagazo de Luisiana

25 Se recibió bagazo de un ingenio azucarero en trozos. La biomasa se destruyó usando una astilladora de madera y se tamizó a través de una serie de cedazos. Se presentan tamaños de partícula típicos del bagazo

triturado/destruido en la Tabla 3.

Tabla 3: Tamaño de partícula del bagazo destruido

| Malla | Micrómetro | % Encima |
|----------|------------|----------|
| 12 | 1680 | 6,2 |
| 20 | 841 | 3,6 |
| 30 | 595 | 16,5 |
| 40 | 420 | 20,4 |
| 60 | 250 | 21,6 |
| 80 | 177 | 10,2 |
| 100 | 149 | 5,9 |
| 120 | 125 | 2,4 |
| 200 | 74 | 6,5 |
| A través | 74 | 7,3 |
| | | 100,6 |

5 Ejemplo 4 - Extracción, refinación y fraccionamiento de la biomasa

El bagazo se destruye en una destructora de madera. El bagazo destruido se lavó en un tanque de temperatura controlada y el bagazo lavado (27,21 kg (60 lb)), base seca se trató con una solución acuosa que contenía H₂SO₄ al 0,5 % (p/p) en una relación líquido a sólido de 14,2:1. La temperatura promedio del tanque con temperatura controlada se mantuvo a 130-135 °C durante 3 horas. La solución se hizo circular mediante bombeo. El licor resultante se recogió y los sólidos se lavaron con agua. El agua de lavado después se usó para preparar la solución de ácido para el siguiente lote mediante la adición de ácidos según sea necesario. La corriente residual de lignocelulosa agotada en hemicelulosa se recogió y se secó.

La corriente de azúcar de hemicelulosa ácida se hizo correr a través de una columna de CAF. Después, la corriente de azúcar se extrajo de forma continua en una serie de mezcladores-decantadores (2 fases) con un extractor de amina (trilaurilamina:hexanol 30:70). La relación de extractor de amina a corriente de azúcar se mantuvo en el intervalo de 2:1 a 1,5:1. La fase acuosa resultante se purificó adicionalmente mediante el uso de una resina de CAF, una resina de ABD, un carbón activo granulado y una resina de lecho mixto. El pH de la corriente resultante se ajustó a 4,5 con HCl al 0,5 % y la solución de azúcar se evaporó a una concentración de DS al ~30 %. La corriente de azúcar de hemicelulosa refinada resultante contenía aproximadamente arabinosa al 7 %, galactosa al 2,5 %, glucosa al 6,5 %, xilosa al 65 %, manosa al 1,5 %, fructosa al 4 % y oligosacáridos al 14 % (todos % en peso/azúcares totales). Esta solución de azúcar se procesó adicionalmente mediante fraccionamiento en un sistema de LMSS, dando como resultado una fracción rica en xilosa y una fracción agotada en xilosa. Cada fracción se concentró mediante evaporación. La Tabla 4 proporciona un análisis químico de la solución de azúcar rica en xilosa resultante.

Tabla 4: Análisis químico de una corriente de azúcar enriquecida en xilosa producida mediante extracción y purificación de azúcar de hemicelulosa a partir de bagazo

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES |
|--|---------------|----------|
| ASPECTO | Incoloro | |
| pH | 3,58 | |
| Sacáridos | | |
| % de TS (HPLC) | 68,2 | % p/p |
| Composición (IAAR-DAP) | | |
| XILOSA | 81,84 (55,81) | %/TS (%) |
| ARABINOSA | 4,38 (2,99) | %/TS (%) |
| MANOSA | 1,99 (1,36) | %/TS (%) |
| GLUCOSA | 5,07 (3,46) | %/TS (%) |
| Composición (IAAR-DAP) | | |
| GALACTOSA | 0,91 (0,62) | %/TS (%) |
| FRUCTOSA | 6,15 (4,20) | %/TS (%) |
| Impurezas | | |
| Furfurales (CG) | < 0,005 | % p/p |
| Fenoles (CU) | 0,04 | % p/p |
| Metales y compuestos inorgánicos (PAI) | | |
| Ca | <2 | ppm |

(continuación)

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES |
|--|-----------|----------|
| Metales y compuestos inorgánicos (PAI) | | |
| Cu | <2 | ppm |
| Fe | <2 | ppm |
| K | <2 | ppm |
| Mg | <2 | ppm |
| Mn | <2 | ppm |
| Na | <2 | ppm |
| S | < 10 | ppm |
| P | < 10 | ppm |

Ejemplo 5 - Extracción y refinación de biomasa

- 5 Se destruyó bagazo y se le eliminó la tierra de acuerdo con los Ejemplos 1 y 3, y los sólidos refinados se separaron mediante filtración. La corriente de azúcar de hemicelulosa recogida se refinó poniéndola en contacto en primer lugar con una resina de CAF, seguido de la retirada de gran parte de las impurezas mediante extracción de amina. La solución acuosa de azúcar refinada se pulió adicionalmente poniéndola en contacto con una resina de CAF, una resina de ABD y por último se evaporó a una concentración de azúcares disueltos superior al 70 % p/p. El proceso se realizó a escala piloto en Virdia PDU, Danville, VA. La Tabla 5 resume el perfil de azúcar de las corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada.
- 10

Tabla 5: Composición de azúcar de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada producida mediante extracción y purificación de azúcar de hemicelulosa a partir de bagazo

| Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Promedio |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Azúcares totales (g) | 87,53 | 87,53 | 86,68 | 89,79 | 76,02 | 87,81 | 76,25 | 71,41 | 81,11 | 88,41 | 83,25 |
| Arabinosa (g) | 5,59 | 5,59 | 6,13 | 5,90 | 4,81 | 5,59 | 3,63 | 3,14 | 3,60 | 4,06 | 4,80 |
| Galactosa (g) | 2,05 | 2,05 | 2,12 | 2,03 | 1,62 | 2,02 | 1,84 | 1,74 | 1,78 | 1,95 | 1,92 |
| Glucosa (g) | 5,09 | 5,09 | 5,58 | 5,33 | 4,65 | 6,79 | 7,15 | 6,75 | 7,54 | 6,79 | 6,07 |
| Xilosa (g) | 58,69 | 58,69 | 56,58 | 59,05 | 52,14 | 58,11 | 50,65 | 47,21 | 56,24 | 55,10 | 55,25 |
| Manosa (g) | 1,51 | 1,51 | 1,12 | 1,43 | 1,30 | 2,27 | 2,22 | 2,09 | 2,27 | 1,84 | 1,75 |
| Fructosa (g) | 3,12 | 3,12 | 3,37 | 1,97 | 1,54 | 2,52 | 2,86 | 2,94 | 2,16 | 3,49 | 2,71 |

Como se evidencia en la Tabla 5, una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada producida a partir de bagazo comprende, en promedio, xilosa al 66 %, arabinosa al 6 % y hexosas al 15 %, todo en peso/peso con respecto a los azúcares totales. Las corrientes ejemplificadas en la Tabla 5 son, por tanto, adecuadas para su uso en los métodos objeto para la conversión en xilitol.

5

Ejemplo 6 - Fraccionamiento de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada

Las corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada 1 a 10 producidas de acuerdo con el Ejemplo 5 se fraccionaron mediante cromatografía (de acuerdo con el documento PCT/US2013/039585) para producir las corrientes de extracto enriquecido en xilosa 1 a 10 (Tabla 6A) y las corrientes de refinado agotado en xilosa 1 a 10 (Tabla 6B). En la Fig. 6 se proporciona un cromatograma de ensayo de pulso que muestra el fraccionamiento de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada. Este ensayo de pulso demuestra la capacidad de fraccionar una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para obtener una corriente enriquecida en xilosa y una corriente agotada de xilosa.

10

15 Tabla 6A: Composición de azúcar de una mezcla de azúcares enriquecida en xilosa producida a partir de bagazo

| Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Promedio |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Azúcares totales (g) | 45,01 | 45,01 | 67,60 | 66,06 | 70,42 | 69,72 | 44,97 | 63,04 | 58,11 | 46,74 | 57,67 |
| Arabinosa (g) | 0,23 | 0,23 | 3,35 | 4,38 | 3,60 | 3,91 | 1,06 | 2,16 | 1,60 | 0,96 | 2,15 |
| Galactosa (g) | 0,04 | 0,04 | 0,58 | 0,96 | 0,69 | 0,73 | 0,25 | 0,76 | 0,48 | 0,20 | 0,47 |
| Glucosa (g) | 0,37 | 0,37 | 3,31 | 4,52 | 3,57 | 4,16 | 1,85 | 4,08 | 3,20 | 1,36 | 2,68 |
| Xilosa (g) | 39,09 | 39,09 | 57,86 | 53,33 | 60,13 | 55,34 | 38,27 | 51,98 | 50,18 | 39,89 | 48,51 |
| Manosa (g) | 0,23 | 0,23 | 0,69 | 1,32 | 0,84 | 1,91 | 0,80 | 1,64 | 1,40 | 0,88 | 1,00 |
| Fructosa (g) | 0,68 | 0,68 | 1,78 | 1,55 | 1,58 | 3,67 | 2,75 | 2,40 | 1,20 | 3,40 | 1,97 |

Tabla 6B: Composición de azúcar de una mezcla de azúcares agotada en xilosa producida a partir de bagazo

| Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Promedio |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Azúcares totales (g) | 18,00 | 18,00 | 19,15 | 18,00 | 10,24 | 17,62 | 15,32 | 12,68 | 19,53 | 22,98 | 17,15 |
| Arabinosa (g) | 2,32 | 2,32 | 2,42 | 1,63 | 1,14 | 1,84 | 1,21 | 1,24 | 2,07 | 2,11 | 1,83 |
| Galactosa (g) | 1,36 | 1,36 | 1,32 | 1,00 | 0,63 | 1,12 | 1,07 | 0,94 | 1,53 | 1,49 | 1,18 |
| Glucosa (g) | 1,88 | 1,88 | 2,02 | 1,27 | 0,89 | 1,53 | 2,54 | 2,64 | 4,79 | 3,75 | 2,32 |
| Xilosa (g) | 2,87 | 2,87 | 3,17 | 3,82 | 2,14 | 3,78 | 3,13 | 2,51 | 4,60 | 5,02 | 3,39 |
| Manosa (g) | 0,36 | 0,36 | 0,42 | 0,28 | 0,15 | 0,29 | 0,45 | 0,46 | 0,84 | 0,80 | 0,44 |
| Fructosa (g) | 0,57 | 0,57 | 0,65 | 0,51 | 0,20 | 0,19 | 0,72 | 0,46 | 0,57 | 1,07 | 0,55 |

Como se evidencia en la Tabla 6A, una mezcla de azúcares enriquecida en xilosa producida a partir de bagazo comprende, en promedio, xilosa al 84 %, arabinosa al 4 % y hexosas al 11 %, todo en peso/peso con respecto a los azúcares totales. Algunas mezclas enriquecidas en xilosa, tales como la Muestra 3, tienen una concentración más baja de hexosas (xilosa al 86 %, arabinosa al 5 % y hexosas al 9 %). En promedio, las muestras ejemplificadas en la Tabla 6A son adecuadas para su uso en los métodos objeto de conversión en xilitol, aunque algunas de las muestras individuales pueden contener una relación superior a la ideal de xilosa a hexosas. Sorprendentemente, el fraccionamiento de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada puede no ser necesario para producir una corriente de azúcar adecuada para la conversión en xilitol.

20

25

Como se evidencia en la Tabla 6B, una mezcla de azúcares agotada en xilosa producida a partir de bagazo comprende, en promedio, xilosa al 20 %, arabinosa al 11 % y hexosas al 26 %, todo en peso/peso con respecto a los azúcares totales.

30

Ejemplo 7 - Composición de azúcar para alimentar un proceso de fermentación

Las corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada que se desvelan en el presente documento son particularmente adecuadas como alimentación para fermentar especies capaces de hidrogenar xilosa a xilitol con alta especificidad y capaces de usar los azúcares C6, así como al menos parte de la arabinosa, como su fuente de energía para la proliferación. La Tabla 7 resume corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada típicas adecuadas que han de alimentarse para la producción de xilitol.

35

Tabla 7: Composición de azúcar de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada adecuada como alimentación para la fermentación de xilitol

| Muestra | AC13 0418 | AC13 0419 | AC13 0420 | AC1 30422 | AC1 30423 | AC1 30424 | AC1 30502 | AC1 30507 | AC1 30508 | AC1 30517 | Promedio |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| Xilosa (%/ monómeros) | 77,2 | 77,2 | 75,5 | 78,0 | 78,9 | 75,2 | 74,1 | 73,9 | 76,4 | 75,3 | 76,1 |
| Arabinosa (%/ monómeros) | 7,4 | 7,4 | 8,2 | 7,8 | 7,3 | 7,2 | 5,3 | 4,9 | 4,9 | 5,5 | 6,6 |
| Azúcares C6 (%/ monómeros) | 15,5 | 15,5 | 16,3 | 14,2 | 13,8 | 17,6 | 20,6 | 21,2 | 18,7 | 19,2 | 17,3 |

Ejemplo 8 - Cristalización de xilitol a partir de una solución modelo

Se evaluó la capacidad de purificar xilitol a partir de una mezcla que contenía xilitol, arabitol y xilosa mediante cristalización y cromatografía. La cristalización se realizó en un vaso de precipitados agitado, con camisa, unido a un calentador/enfriador de agua circulante. Se preparó una solución para simular un producto de fermentación: Se diluyeron 300 g de una solución que contenía xilitol al 93,9 %, xilosa al 3,7 % y arabitol/arabinosa al 2,8 % hasta DS al 79,2 %, y se añadió etanol de acuerdo con el peso total del disolvente al % molar indicado. La cristalización se inició a 65 °C sembrando con xilitol y la solución se enfrió a 35 °C durante 16 h. Los cristales se recogieron mediante filtración, se lavaron con etanol, se secaron y se analizaron para determinar la pureza del xilitol mediante IAAR-DAP. El rendimiento y la pureza del xilitol se resumen en la Tabla 8. Se observa que se consiguió un alto rendimiento de xilitol (por ejemplo, el 77 % en una cristalización), siendo el xilitol 99,9 % puro de azúcares reductores y arabitol.

Tabla 8: Rendimiento y pureza de los cristales de xilitol

| % de etanol | Rendimiento de xilitol, % | Pureza de xilitol, % | Arabitol residual, ppm | Xilosa residual, ppm |
|-------------|---------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| 10 | 77 | 99,9 | 200 | 570 |

Ejemplo 9 - Fraccionamiento de xilitol a partir del agua madre de cristalización

Se fraccionó xilitol a partir de una mezcla que contenía xilitol al 43 % en peso/peso, arabitol al 6 % en peso/peso, xilosa al 6 % en peso/peso y etanol al 8 % en peso/peso. La composición de esta mezcla es representativa de los principales componentes presentes en el agua madre de cristalización.

Se realizó un ensayo de pulso utilizando 250 ml de Purolyte PCR 642 (forma de gel, copolímero de estireno divinilbenceno, grupo funcional ácido sulfónico y tamaño medio de la perla 295-335 mm). El gel se preacondicionó con una solución que contenía sal de estroncio para que esté en forma de estroncio por completo. Se inyectó una muestra de 12,5 ml de la mezcla de xilitol, seguido de elución con agua a 8,33 ml/min. Se observó un fraccionamiento eficaz de xilitol a partir de la mezcla, con el pico de xilosa a 0,61 VL, etanol a 0,72 VL, arabitol a 0,84 VL y xilitol a 0,96 VL. Los resultados del ensayo de pulso se describen en la Fig. 7. Este ensayo de pulso demuestra la capacidad de fraccionar la solución de agua madre para obtener una corriente de xilitol, corriente de arabitol y corriente de azúcar reductora.

Ejemplo 10 - Eliminación de las cenizas/eliminación de la tierra del bagazo viejo y nuevo a escala piloto

Se construyó un sistema como se describe esquemáticamente en la Fig. 8, que comprende 4 tamices (Fluidquip, DSM, Screen Service) para la separación sólido/líquido y una prensa de tornillo final (Vincent Corporation). Se analizaron 40 toneladas de bagazo de Raceland, LA para determinar el contenido de cenizas y humedad y se descubrió que tenían un nivel de cenizas del $12,9 \pm 1,6$ % p/p y un nivel de humedad del $56,6 \pm 6,6$ % p/p. El bagazo se trituró en primer lugar para romper los trozos y se alimentó a la unidad de lavado de la Fig. 8. El bagazo lavado y deshidratado se recogió a diario para el análisis de las cantidades de cenizas residuales. Los resultados diarios que se muestran en la Fig. 10 indican que el sistema de lavado retiró satisfactoriamente la tierra de la alimentación de bagazo para reducir el nivel de cenizas medido por debajo del 6 % p/p.

Ejemplo 11 - Filtrado, lavado y deshidratación de la corriente residual de lignocelulosa a partir de la corriente de azúcar de hemicelulosa

Se calentó bagazo lavado para extraer los azúcares de hemicelulosa en lotes de 907,18-1360,78 kg (2000-3000 Lb) en condiciones similares a las del Ejemplo 4. La suspensión recogida se alimentó de forma continua en un filtro 024 de acero inoxidable 0,6 m² (BHS Sonthofen Inc). La suspensión, que tenía una concentración de sólidos del 7,5-8 %, se alimentó a 70 °C con un rendimiento de 1,89-5,68 l/min (0,5-1,5 gal/min) (promedio de aproximadamente 3,79 l/min (1 gal/min)). El líquido de lavado era agua de ciudad a 70 °C. Se usó polipropileno (850 mm de espesor, permeabilidad al aire de 50 l/m²S) como material de filtración. Antes de la filtración, la suspensión se rocío con vapor para aumentar la temperatura a 70 °C. La suspensión se agitó y se calentó en las bolsas usando vapor y un dispositivo de dispersión de aire. Después, la suspensión se bombeó al filtro usando una bomba de diafragma. La torta del filtro se lavó con agua caliente. La torta del filtro se dejó deshidratar al vacío y se descargó a través de un rodillo de 90 grados. La torta se analizó para determinar la humedad, las cenizas y los azúcares libres residuales, con los resultados que se resumen en la Tabla 11, que muestran el lavado y la deshidratación eficaces de la corriente residual de lignocelulosa. La transparencia del filtrado se evaluó centrifugando una muestra del filtrado. El contenido sólido del filtro madre se estimó en menos del 0,1 % y no se visualizó ningún contenido sólido en el filtrado de lavado, lo que indica que los sólidos se retiraron eficientemente mediante filtración.

Tabla 11: Humedad, cenizas y azúcar residual en la corriente residual de lignocelulosa

| N.º de referencia | Azúcares residuales (% p/p) | Humedad (% p/p) | Cenizas (% p/p) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 21888 | 0,4 | 73,4 | 5,5 |
| 21892 | 1,9 | 74,9 | 2,8 |

60

(continuación)

| N.º de referencia | Azúcares residuales (% p/p) | Humedad (% p/p) | Cenizas (% p/p) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 21896 | 0,7 | 72,9 | 3,0 |
| 21787 | 1,0 | 73,0 | 3,6 |
| 21752 | 0,7 | 72,5 | 3,0 |
| 21791 | 1,1 | 71,8 | 5,4 |
| 21795 | 0,3 | 72,2 | 4,8 |
| 21853 | 0,5 | 72,7 | 3,0 |
| 21884 | NA | 74,8 | NA |
| Promedio | 0,8 | 73,1 | 3,9 |
| DT | 0,5 | 1,1 | 1,2 |

Ejemplo 12 - Refinación del hidrolizado de hemicelulosa recogido en el Ejemplo 11

- 5 El hidrolizado de hemicelulosa recogido en el Ejemplo 11 se refinó poniendo en contacto con una resina de CAF seguido de extracción de amina. La solución acuosa refinada se evaporó para extraer el disolvente, después puede pulirse adicionalmente poniéndola en contacto con una resina de CAF, una resina de ABD, una resina de LM y por último se evaporó a aproximadamente DS al 70 % p/p. Los productos finales de azúcar se analizaron y demostraron tener las composiciones de la Tabla 12A. Parte del material se fraccionó mediante cromatografía para enriquecer la fracción de xilosa, cuya composición se proporciona en la Tabla 12B. Ambas muestras se fermentaron con éxito a xilitol mediante diversos microorganismos, con la adición apropiada de azúcares C6 (por ejemplo, glucosa) para respaldar la proliferación del microorganismo.

15 Tabla 12A: Composición de azúcar de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada producida mediante extracción y purificación de azúcar de hemicelulosa a partir de bagazo

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES |
|--|---------------------------------|----------------|
| ASPECTO | Solución incolora, transparente | |
| pH | 4,08 | |
| Sacáridos | | |
| DS (HPLC) | 68,64 | % p/p |
| Grado de polimerización (HPLC) | | |
| Monómeros | 98,80 | % |
| Oligómeros | 1,20 | % |
| Composición (IAAR-DAP) | | |
| XILOSA | 57,58 | % de monómeros |
| ARABINOSA | 8,09 | % de monómeros |
| MANOSA | 2,61 | % de monómeros |
| GLUCOSA | 16,84 | % de monómeros |
| GALACTOSA | 2,21 | % de monómeros |
| FRUCTOSA | 12,67 | % de monómeros |
| Impurezas | | |
| Furfurales (UV) | < 0,01 | % p/p |
| Fenoles (UV) | 0,02 | ppm/DS |
| Metales y compuestos inorgánicos (PAI) | | |
| Ca | 11 | ppm/DS |
| Cu | <2 | ppm/DS |
| Fe | <2 | ppm/DS |
| K | <2 | ppm/DS |
| Mg | 2 | ppm/DS |
| Mn | <2 | ppm/DS |
| Na | 110 | ppm/DS |
| S | < 16 | ppm/DS |
| P | < 23 | ppm/DS |
| Referencia: DB4D01 | | |

Tabla 12B: Composición de azúcar de una corriente de azúcar enriquecida en xilosa producida mediante extracción y purificación de azúcar de hemicelulosa a partir de bagazo

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES |
|--|---|----------------|
| ASPECTO | Líquido viscoso incoloro, suspensión cristalina | |
| Sacáridos | | |
| DS (HPLC) | 78,80 | % p/p |
| Grado de polimerización (HPLC) | | |
| Monómeros | 98,11 | % |
| Oligómeros | 1,89 | % |
| Composición (IAAR-DAP) | | |
| XILOSA | 83,71 | % de monómeros |
| ARABINOSA | 2,97 | % de monómeros |
| MANOSA | 2,01 | % de monómeros |
| GLUCOSA | 5,39 | % de monómeros |
| GALACTOSA | 0,83 | % de monómeros |
| FRUCTOSA | 5,09 | % de monómeros |
| Impurezas | | |
| Furfurales (UV) | <0,005 | % p/p |
| Fenoles (UV) | 0,04 | ppm/DS |
| Impurezas | | |
| Metales y compuestos inorgánicos (PAI) | | |
| Ca | <2 | ppm/DS |
| Cu | <2 | ppm/DS |
| Fe | <2 | ppm/DS |
| K | <2 | ppm/DS |
| Mg | <2 | ppm/DS |
| Mn | <2 | ppm/DS |
| Na | <2 | ppm/DS |
| S | <10 | ppm/DS |
| P | <10 | ppm/DS |
| Referencia: DB4D02 | | |

5 Ejemplo 13 - Análisis de la composición de la biomasa después de la etapa de eliminación de tierra y la etapa de extracción de hemicelulosa a escala piloto

Se eliminó la tierra de bagazo de Raceland, LA de acuerdo con el Ejemplo 10 y se extrajo y se separó como se describe en el Ejemplo 11. Se recogieron muestras de biomasa sólida después de cada etapa del proceso, se secaron y se analizaron para determinar su composición. La Tabla 13 resume los resultados, indicando la
 10 eliminación eficiente de cenizas del sólido en la etapa de eliminación de cenizas/eliminación de tierra y la extracción eficiente de azúcares de hemicelulosa, así como la reducción de gran parte de los elementos metálicos restantes presentes en la biomasa mediante la extracción de los metales unidos fisiológicamente en la etapa de extracción. Se anticipa que la biomasa a la que se le han eliminado las cenizas es mucho más adecuada que la biomasa de
 15 alimentación para su uso como alimentación para usos energéticos, por ejemplo, la quema oxidativa para producir energía directamente o la pirólisis para producir bio-aceite. Se anticipa que la biomasa semiagotada será una alimentación aún mejor para fines energéticos, ya que se retira más contenido inorgánico así como algunos hidratos de carbono, en consecuencia, el porcentaje de lignina aumenta de un promedio del ~24 % a un promedio del ~40 %. El mayor contenido de lignina y el menor contenido de azúcar dan como resultado una densidad de energía superior de la biomasa.

Tabla 13: Análisis de la composición de bagazo de Raceland después de la etapa de eliminación de cenizas y después de la etapa de extracción de hemicelulosa

| Nombre de la muestra | Humedad (% en p/p) | Análisis de la composición - % en seco | | | | | | Resultados del PAI - ppm en seco | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|--|---------|-----------------------------|------------------------------------|--------|-----------|----------------------------------|------|------|------|------|------|-----|--------|----------|
| | | Cenizas | Lignina | Hidratos de carbono totales | Composición de hidratos de carbono | | | | S | Ca | Fe | K | Mg | Na | | |
| | | | | | Glucosa | Xilosa | Arabinosa | Galactosa | | | | | | | Manosa | Fructosa |
| Cenizas eliminadas 1 | 54,6 | 4,7 | 23,81 | 66,98 | 42,58 | 21,41 | 1,00 | 0,25 | 1,24 | 0,5 | 81 | 1800 | 1600 | 590 | 560 | 120 |
| Cenizas eliminadas 2 | 58,5 | 4,8 | 24,03 | 66,16 | 40,62 | 22,62 | 0,97 | 0,24 | 1,22 | 0,49 | 67 | 980 | 1200 | 580 | 510 | 120 |
| Cenizas eliminadas 3 | 57,7 | 3,9 | 23,28 | 68,35 | 40,48 | 24,53 | 1,19 | 0,24 | 1,43 | 0,48 | 61 | 710 | 970 | 400 | 360 | 65 |
| Cenizas eliminadas 4 | 55,2 | 3,6 | 23,45 | 67,41 | 39,95 | 24,02 | 1,23 | 0,25 | 1,47 | 0,49 | 44 | 690 | 970 | 340 | 350 | 50 |
| Cenizas eliminadas 5 | 53,2 | 3,1 | 23,36 | 70,31 | 41,71 | 25,26 | 1,19 | 0,48 | 1,19 | 0,48 | 44 | 800 | 830 | 240 | 320 | 120 |
| Semiagotado 1 | 64,1 | 4,2 | 39,32 | 57,76 | 52,42 | 4,37 | 0 | 0 | 0,73 | 0,24 | 780 | 120 | 130 | 88 | 63 | 500 |
| Semiagotado 2 | 71,7 | 5,4 | 39,65 | 61,9 | 57,60 | 4,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 730 | 97 | 130 | 88 | 56 | 490 |
| Semiagotado 3 | 66,9 | 4,1 | 31,85 | 57,05 | 54,62 | 2,43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2300 | 190 | 240 | 92 | 84 | 620 |
| Semiagotado 4 | 66,4 | 5,1 | 47,47 | 47,19 | 45,19 | 2,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1900 | 150 | 180 | 82 | 67 | 650 |
| Semiagotado 5 | 68,2 | 5 | 42,89 | 52,8 | 49,61 | 3,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3700 | 330 | 380 | 170 | 140 | 460 |

Ejemplo 14 - Fermentación de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada

Un reactor que contiene medio de fermentación (triptona, 14 g; extracto de levadura, 7 g; fosfato de potasio, dibásico, 4,2 g; cloruro de sodio, 7 g; sulfato de magnesio, 2 g; agua, 750 ml, antiespumante Cognis Clerol FBA 3107, 3 gotas) se esteriliza como se describe en la Publicación de los EE.UU. N.º 2013/0217070. Se añade una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada preparada de acuerdo con los métodos objeto (por ejemplo, como en los Ejemplos 5 y 7) (100 ml, que comprende 30 g de xilosa). El reactor se inocula con 50 ml de un cultivo iniciador de un microorganismo adecuado (por ejemplo, ZUC220 o ZUC170) a 30 °C y se deja que la fermentación se produzca a 30 °C y pH 7,0 (controlada con NH₄OH) con agitación (800 RPM) e introducción de aire a 1 LPM como se describe en la Pub de los EE.UU. N.º 2013/0217070. El volumen después de la inoculación es de 900 ml. Después de 24 horas, se añade una corriente adicional de azúcar de hemicelulosa refinada (185 ml, que comprende 130 g de xilosa). Se deja que la fermentación se produzca durante un total de 80 horas después de la inoculación antes de separar el microorganismo de la corriente de xilitol mediante filtración. El xilitol se cristaliza como se describe en el Ejemplo 8. Los métodos de fermentación de la divulgación pueden mostrar una productividad volumétrica superior a 1,5 g/l/h (productividad "A"), de 1,0 a 1,5 g/l/h (productividad "B"), de 0,5 a 1,0 g/l/h (productividad "C") o menos de 0,5 g/l/h (productividad "D"). En algunos ejemplos, el rendimiento de xilitol de los métodos de fermentación que se describen en el presente documento es superior a 100 g/l (rendimiento "A"), de 75 a 100 g/l (rendimiento "B"), de 50 a 75 g/l (rendimiento "C") o inferior a 50 g/l (rendimiento "D"). Pueden encontrarse ejemplos adicionales de condiciones de fermentación, por ejemplo, en la Pub de los EE.UU. N.º 2013/0217070.

Ejemplo 15 - Retirada de proteínas y aminoácidos mediante el método de refinación de azúcar

Por lo general hay proteínas y aminoácidos presentes en la materia prima de biomasa y pueden retirarse de las soluciones de azúcar para evitar la inhibición de algunos microorganismos utilizados para los procesos de fermentación industriales. Esto puede ser necesario cuando se usan hojas de caña de azúcar como materia prima, ya que inherentemente hay más proteínas y aminoácidos presentes en las hojas que en la caña. Las muestras de bagazo y hojas se hidrolizaron y refinaron como se describe en el Ejemplo 5. Se analizaron muestras de bagazo, hojas y corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada derivadas de los mismos por Galbraith Laboratories, Inc. para determinar el contenido de nitrógeno y proteína, con los resultados que se resumen en la Tabla 15. Puede observarse que las moléculas que contienen nitrógeno se han retirado eficientemente en el proceso de refinación, ya que ambas muestras comprenden menos de 200 ppm de nitrógeno.

Tabla 15: Análisis de nitrógeno y proteínas en biomasa y corrientes de azúcar de hemicelulosa refinada producidas a partir de la misma

| Muestra | Nitrógeno (Kjeldahl) | Química de proteínas en húmedo) |
|--|----------------------|---------------------------------|
| Bagazo | 1121 ppm | 7005 ppm |
| Hojas de caña de azúcar | 5574 ppm | 34800 ppm |
| Corriente de azúcar de hemicelulosa refinada de bagazo, DS aproximadamente al 65 % | 13 ppm | No determinado |
| Corriente de azúcar de hemicelulosa refinada de hojas, DS aproximadamente al 65 % | 147 ppm | No determinado |

REALIZACIONES ADICIONALES DE LA DIVULGACIÓN

1. Un método de producción de xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa, que comprende:

(i) fermentar una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada para producir un caldo de fermentación que comprende xilitol; y

(ii) recuperar xilitol del caldo de fermentación; en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se ha producido mediante un proceso que comprende:

(a) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa;

(b) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor de amina para formar una mezcla; y

(c) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor de amina y al menos una impureza y la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada.

2. El método de la realización 1, en donde la biomasa se selecciona entre madera dura, pulpa de madera, bagazo, hojas de caña de azúcar, abedul, eucalipto, mazorcas de maíz, rastrojos de maíz, cáscaras de coco, pasto varilla y paja de trigo, o una combinación de los mismos.

3. El método de la realización 2, en donde la biomasa se selecciona entre bagazo y hojas de caña de azúcar o una combinación de los mismos.
4. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 3, que comprende adicionalmente reducir el contenido de cenizas y tierra de la biomasa antes de extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa.
5. El método de la realización 4, en donde la reducción comprende una o más fases de suspensión, lavado y deshidratación de la biomasa.
6. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 5, en donde la extracción de azúcares de hemicelulosa comprende extracción con agua caliente.
7. El método de la realización 6, que comprende adicionalmente un ácido.
8. El método de la realización 7, en donde el ácido es un ácido inorgánico.
9. El método de la realización 7 u 8, en donde el ácido está presente en una cantidad de hasta el 2 % en peso/peso.
10. El método de una cualquiera de las realizaciones 6 a 9, en donde la extracción se produce a una temperatura de 100 a 200 °C.
11. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 10, en donde el extractor de amina comprende una amina y un diluyente.
12. El método de la realización 11, en donde la amina comprende al menos 20 átomos de carbono.
13. El método de la realización 12, en donde la amina es trilaurilamina.
14. El método de una cualquiera de las realizaciones 11 a 13, en donde el diluyente comprende un alcohol.
15. El método de la realización 14, en donde el diluyente comprende hexanol o 2-etil-1-hexanol.
16. El método de una cualquiera de las realizaciones 11 a 13, en donde el diluyente comprende un monoalcohol C₆₋₁₂, queroseno o una mezcla de los mismos.
17. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 16, en donde la al menos una impureza se selecciona entre cenizas, lignina soluble en ácido, furfural, ácidos grasos, ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, metanol, proteínas, aminoácidos, glicerol, esteroides, ácido resínico y materiales cerosos.
18. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 17, en donde el caldo de fermentación comprende adicionalmente un microorganismo seleccionado entre bacterias de origen natural, bacterias recombinantes, levaduras de origen natural, levaduras recombinantes y hongos.
19. El método de la realización 18, en donde el microorganismo es una cepa de *E. coli*.
20. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 19, en donde la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 60 gramos de xilitol por litro del caldo de fermentación.
21. El método de la realización 20, en donde la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 100 gramos de xilitol por litro del caldo de fermentación.
22. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 21, en donde la fermentación produce el xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h.
23. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 22, en donde el caldo de fermentación comprende menos de 1 gramo de etanol por litro.
24. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 23, en donde al menos el 70 % de la xilosa en la biomasa se convierte en xilitol.
25. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 24, en donde el contenido de xilosa de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es de al menos el 80 % del contenido de xilosa de la corriente de azúcar de hemicelulosa.
26. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 25, en donde la fermentación no comprende xilosa purificada mediante cristalización.
27. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 26, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende xilosa al menos al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.
28. El método de la realización 27, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre el 50 y el 90 % en peso/peso de xilosa con respecto a los azúcares disueltos totales.
29. Un método para producir xilitol mediante fermentación de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada derivada de un hidrolizado lignocelulósico, que comprende convertir la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol a través de fermentación mediante un microorganismo, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende: xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, menos de 200 ppm de calcio y furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm.
30. El método de la realización 29, en donde el microorganismo se selecciona entre bacterias de origen natural, bacterias recombinantes, levaduras de origen natural, levaduras recombinantes y hongos.
31. El método de la realización 30, en donde el microorganismo es una cepa de *E. coli*.
32. El método de una cualquiera de las realizaciones 29 a 31, en donde la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 60 gramos del xilitol por litro de caldo de fermentación.
33. El método de una cualquiera de las realizaciones 29 a 32, en donde la fermentación produce, en menos de 80 horas, al menos 100 gramos del xilitol por litro de caldo de fermentación.
34. El método de una cualquiera de las realizaciones 29 a 33, en donde la fermentación produce el xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h.
35. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 34, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos del 5 % en peso/peso de oligómeros con respecto a los azúcares disueltos totales.
36. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 35, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares

disueltos totales.

37. El método de la realización 36, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre el 3 y el 12 % en peso/peso de arabinosa con respecto a los azúcares disueltos totales.

38. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 37, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.

39. El método de la realización 38, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende entre el 10 y el 50 % en peso/peso de hexosas con respecto a los azúcares disueltos totales.

40. El método de la realización 38 o 39, en donde las hexosas comprenden glucosa, galactosa, manosa y fructosa.

41. El método de una cualquiera de las realizaciones 38 a 40, en donde la glucosa y la fructosa comprenden hexosas al menos al 50 % en peso/peso.

42. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 41, en donde la relación de xilosa a hexosas es de entre 1,5:1 y 5:1 en peso/peso.

43. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 42, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.

44. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 43, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso.

45. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 44, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende compuestos fenólicos en cantidades de hasta 200 ppm.

46. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 45, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende furfural en una cantidad de hasta 200 ppm.

47. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 46, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende menos de 200 ppm de calcio.

48. El método de una cualquiera de las realizaciones 1 a 47, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

49. Un sistema para producir xilitol a partir de una biomasa que contiene lignocelulosa, que comprende:

(i) una unidad de extracción de hemicelulosa configurada para extraer e hidrolizar hemicelulosa a partir de la biomasa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa;

(ii) una unidad de refinación en comunicación fluida con la unidad de extracción, en donde la unidad de refinación se configura para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa y un extractor de amina, y en donde el extractor de amina retira las impurezas de la corriente de azúcar de hemicelulosa para producir una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada;

(iii) una unidad de detección configurada para analizar uno o más parámetros de la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada;

(iv) una unidad de fermentación en comunicación fluida con la unidad de refinación para recibir la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada, en donde la unidad de fermentación se configura para contener la corriente refinada y un microorganismo, y en donde el microorganismo facilita la producción del xilitol a partir de un monosacárido en la corriente refinada para producir un caldo de fermentación; y

(v) una unidad de refinación de xilitol, en donde la unidad de refinación de xilitol se configura para retirar el xilitol del caldo de fermentación.

50. El sistema de la realización 49, que comprende adicionalmente una unidad de lavado configurada para retirar cenizas y tierra de la biomasa, en donde la unidad de extracción de hemicelulosa está en comunicación fluida con la unidad de lavado.

51. El sistema de la realización 49 o 50, en donde al menos el 90 % de la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada se convierte en xilitol en la unidad de fermentación.

52. El sistema de una cualquiera de las realizaciones 49 a 51, en donde el xilitol se produce a una velocidad de al menos 1 g/l/h en la unidad de fermentación.

53. El sistema de una cualquiera de las realizaciones 49 a 52, en donde el caldo de fermentación comprende menos de 10 g/l de etanol.

54. El sistema de la realización 53, en donde el caldo de fermentación comprende menos de 4,5 g/l de etanol.

55. El sistema de la realización 53, en donde el caldo de fermentación comprende menos de 1 g/l de etanol.

56. El sistema de una cualquiera de las realizaciones 49 a 55, en donde la biomasa se selecciona entre bagazo y hojas de caña de azúcar o una combinación de los mismos.

57. El sistema de una cualquiera de las realizaciones 49 a 56, en donde el uno o más parámetros se seleccionan entre pH, absorbancia de luz, conductividad, densidad, concentración de xilosa y concentración de hexosa.

58. Una materia prima de fermentación que comprende:

(i) xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(ii) hexosas del 10 al 45 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(iii) arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(iv) disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(v) furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y

(vi) menos de 200 ppm de calcio.

59. La materia prima de fermentación de la realización 58, que comprende adicionalmente:

- 5 (vii) menos de 1000 ppm de ácido acético; y
(viii) menos de 1000 ppm de ácido fórmico.

60. La materia prima de fermentación de la realización 58 o 59, que comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm.

10 61. La materia prima de fermentación de una cualquiera de las realizaciones 58 a 60, que comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

62. La materia prima de fermentación de una cualquiera de las realizaciones 58 a 61, que comprende adicionalmente un microorganismo.

63. Un caldo de fermentación que comprende:

- 15 (i) al menos 60 g/l de xilitol
(ii) menos de 10 g/l de etanol;
(iii) xilosa en una cantidad de hasta 50 g/l;
(iv) hexosas en una cantidad de hasta 35 g/l;
20 (v) furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm; y
(vi) menos de 200 ppm de calcio.

64. El caldo de fermentación de la realización 63, que comprende adicionalmente:

- 25 (vii) menos de 1000 ppm de ácido acético; y
(viii) menos de 1000 ppm de ácido fórmico.

65. El caldo de fermentación de la realización 63 o 64, que comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm.

30 66. El caldo de fermentación de una cualquiera de las realizaciones 63 a 65, que comprende adicionalmente un microorganismo.

67. Una composición de xilitol que comprende:

- 35 (i) xilitol al menos al 98 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales;
(ii) oligosacáridos en una cantidad de hasta el 1 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales;
y
(iii) hexosas en una cantidad de hasta el 1 %.

40 68. La composición de la realización 67, que comprende adicionalmente cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso con respecto a los sólidos disueltos totales.

69. La composición de la realización 67 o 68, que comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm.

70. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 69, que comprende adicionalmente una amina en una cantidad de hasta 100 ppm y en donde la amina comprende al menos 12 átomos de carbono.

45 71. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 70, que comprende adicionalmente un monoalcohol C₆₋₁₂ en una cantidad de hasta 100 ppm.

72. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 71, en donde las hexosas se seleccionan entre glucosa, galactosa, manosa y fructosa.

73. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 72, que comprende adicionalmente menos de 100 ppm de arabitól.

50 74. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 73, que comprende adicionalmente menos de 100 ppm de galactitol.

75. La composición de la reivindicación 74, que comprende adicionalmente menos de 1 ppm de galactitol.

76. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 75, en donde la composición deriva de un hidrolizado de una biomasa que contiene lignocelulosa.

55 77. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 76, en donde la composición es cristalina.

78. La composición de una cualquiera de las realizaciones 67 a 76, en donde la composición se proporciona en forma de una solución acuosa.

79. La composición de la realización 78, en donde la solución acuosa comprende sólidos disueltos al menos al 50 % en peso/peso.

60 80. Un método de producción de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada adecuado para la conversión en xilitol, que comprende:

- 65 (i) extraer azúcares de hemicelulosa a partir de la biomasa, obteniendo de este modo una corriente de azúcar de hemicelulosa y una corriente residual de lignocelulosa;
(ii) poner en contacto la corriente de azúcar de hemicelulosa con un extractor de amina para formar una mezcla;

(iii) separar de la mezcla una corriente orgánica que comprende el extractor de amina y al menos una impureza y una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada; y

(iv) medir las concentraciones de al menos uno de entre xilosa, arabinosa, hexosas, disacáridos, cenizas, ácido acético, ácido fórmico, compuestos fenólicos, furfural, calcio y nitrógeno;

5 en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada es adecuada para la conversión en xilitol si la corriente refinada comprende:

(1) xilosa al menos al 50 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

10 (2) hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales; y

(3) menos de 200 ppm de calcio;

y en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente al menos una característica seleccionada entre:

15 (4) arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(5) disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales;

(6) cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso;

20 (7) menos de 1000 ppm de ácido acético;

(8) menos de 1000 ppm de ácido fórmico;

(9) compuestos fenólicos en una cantidad de hasta 200 ppm;

(10) furfural en una cantidad de hasta 200 ppm; y

(11) nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm;

25 y en donde una corriente refinada inadecuada para la conversión en xilitol se refina adicionalmente.

81. El método de la realización 80, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 200 ppm.

30 82. El método de la realización 80 u 81, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.

83. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 82, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente disacáridos en una cantidad de hasta el 8 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.

35 84. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 83, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso.

85. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 84, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente ácido acético en una cantidad de hasta 1000 ppm.

86. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 85, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente ácido fórmico en una cantidad de hasta 1000 ppm.

40 87. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 86, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente compuestos fenólicos en una cantidad de hasta 200 ppm.

88. El método de una cualquiera de las realizaciones 80 a 87, en donde la corriente refinada adecuada para la conversión en xilitol comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para producir xilitol mediante fermentación de una corriente de azúcar de hemicelulosa refinada derivada de un hidrolizado lignocelulósico, que comprende convertir la xilosa en la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada en xilitol a través de fermentación mediante un microorganismo, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende: xilosa del 50 al 90 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, hexosas al menos al 10 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales, en donde la glucosa y la fructosa comprenden hexosas al menos al 50 % en peso/peso, menos de 200 ppm de calcio y furfural en una cantidad de hasta 1000 ppm.
- 10 2. El método de la reivindicación 1, en donde las hexosas comprenden glucosa, galactosa, manosa y fructosa.
3. El método de la reivindicación 1, en donde la relación de xilosa a hexosas es de entre 1,5:1 y 5:1 en peso/peso.
- 15 4. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente arabinosa en una cantidad de hasta el 12 % en peso/peso con respecto a los azúcares disueltos totales.
- 20 5. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente menos del 5 % en peso/peso de oligómeros con respecto a los azúcares disueltos totales.
6. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente cenizas en una cantidad de hasta el 0,25 % en peso/peso.
- 25 7. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente compuestos fenólicos en cantidades de hasta 200 ppm.
8. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente furfural en una cantidad de hasta 200 ppm.
- 30 9. El método de la reivindicación 1, en donde la corriente de azúcar de hemicelulosa refinada comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad de hasta 1000 ppm.
- 35 10. El método de la reivindicación 1, en donde la xilosa no se ha purificado mediante cristalización.
11. El método de la reivindicación 1, en donde la conversión produce, en menos de 80 horas, al menos 60 gramos de xilitol por litro de caldo de fermentación.
- 40 12. El método de la reivindicación 1, en donde la conversión produce el xilitol a una velocidad de al menos 1 g/l/h.
13. El método de la reivindicación 1, en donde la conversión produce menos de 1 gramo de etanol por litro de caldo de fermentación.

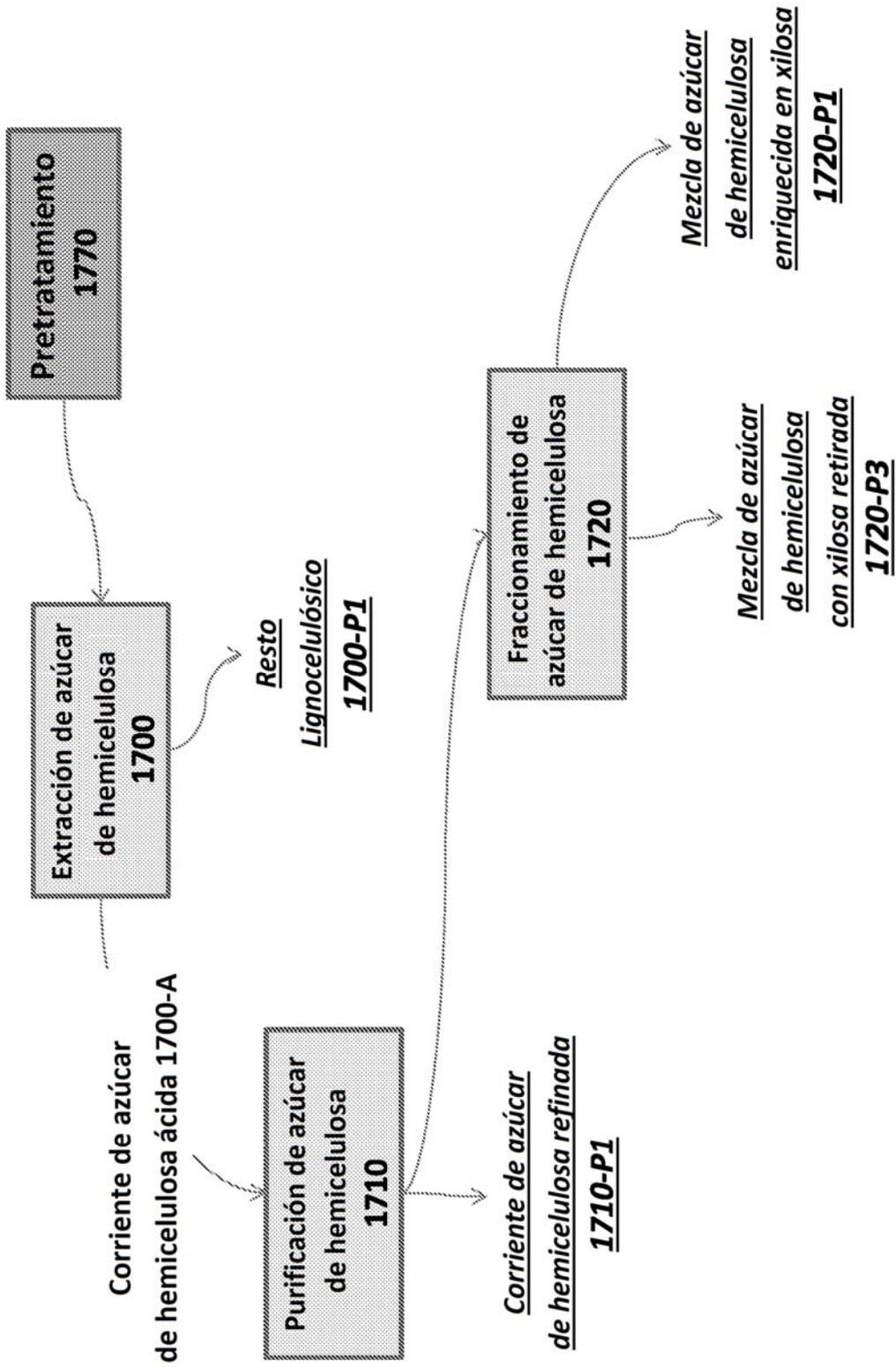


Fig. 1

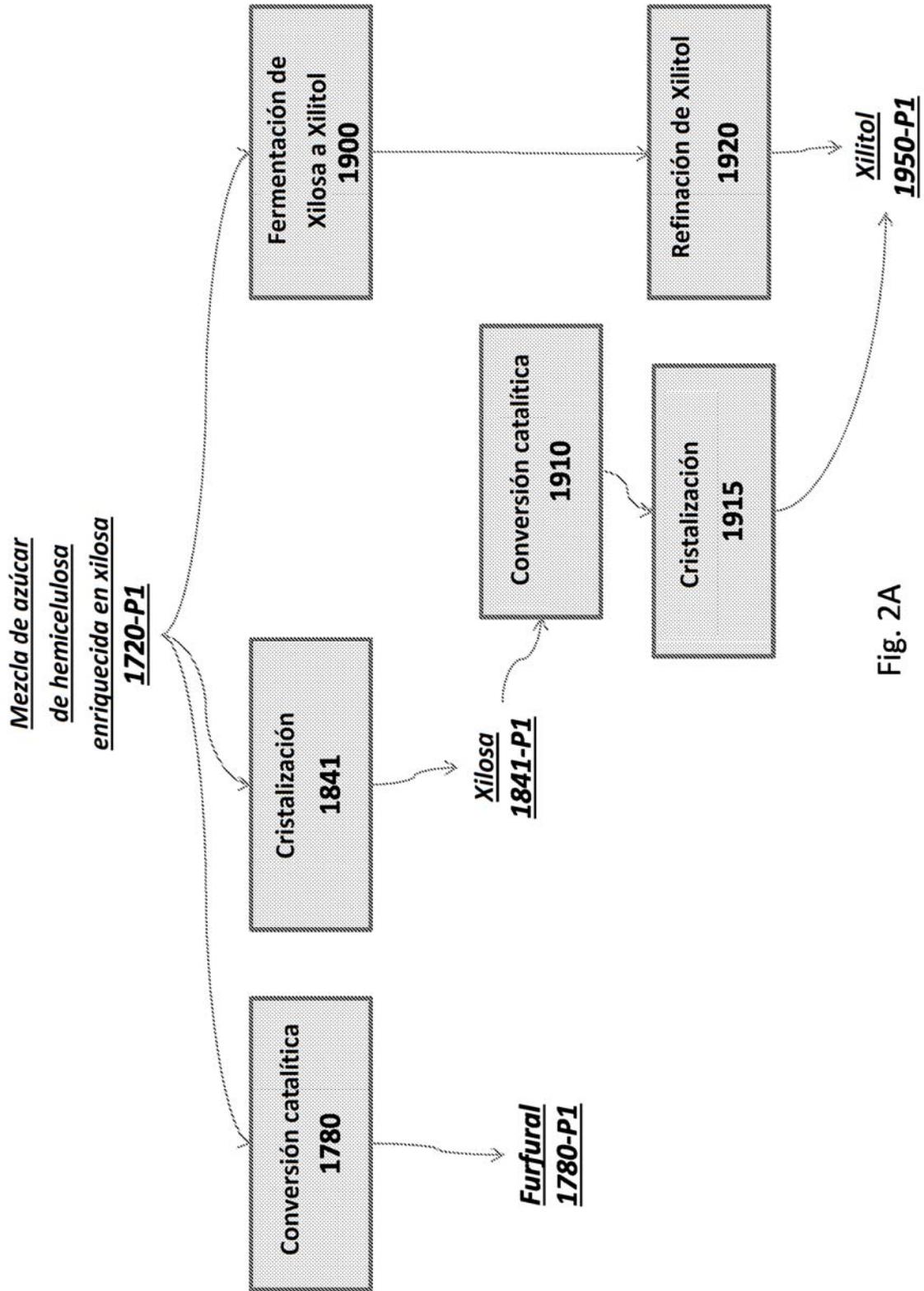


Fig. 2A

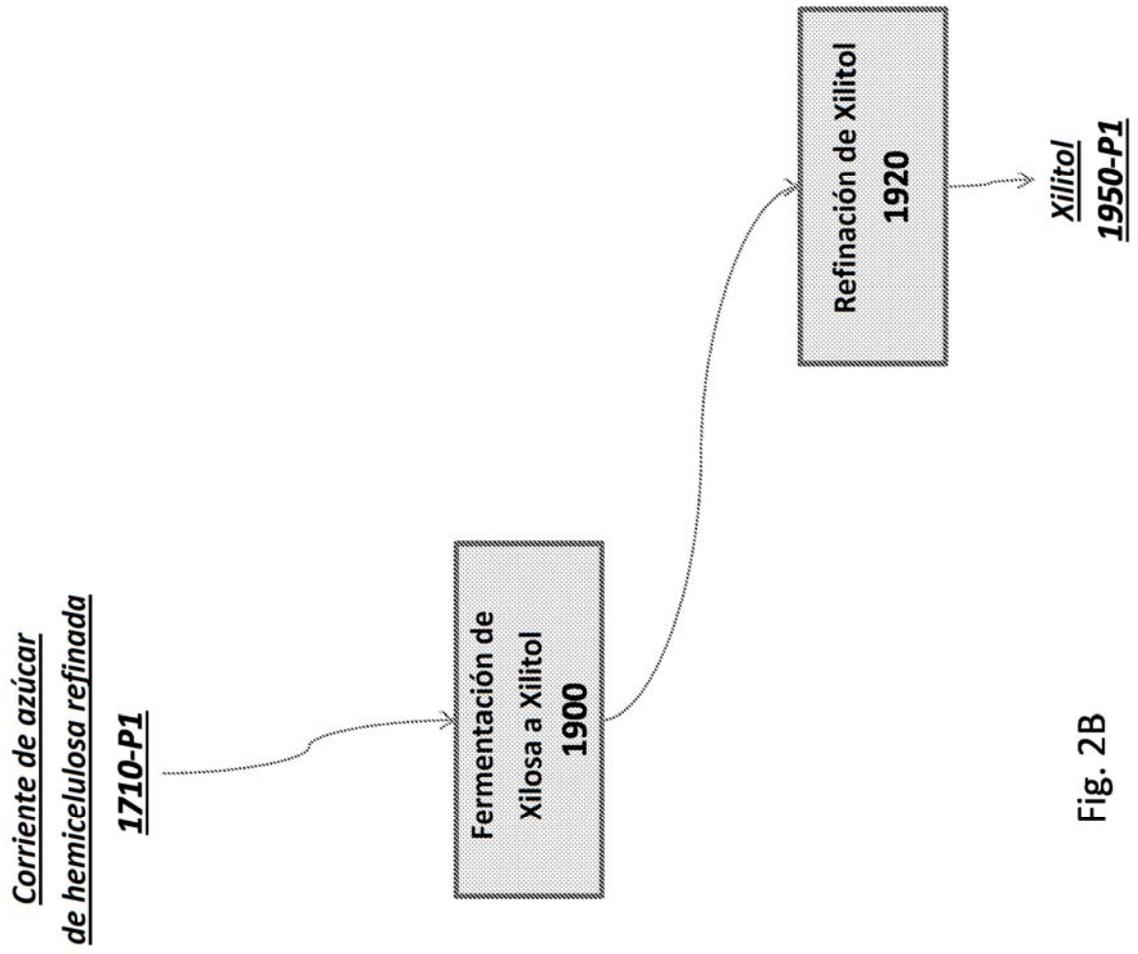


Fig. 2B

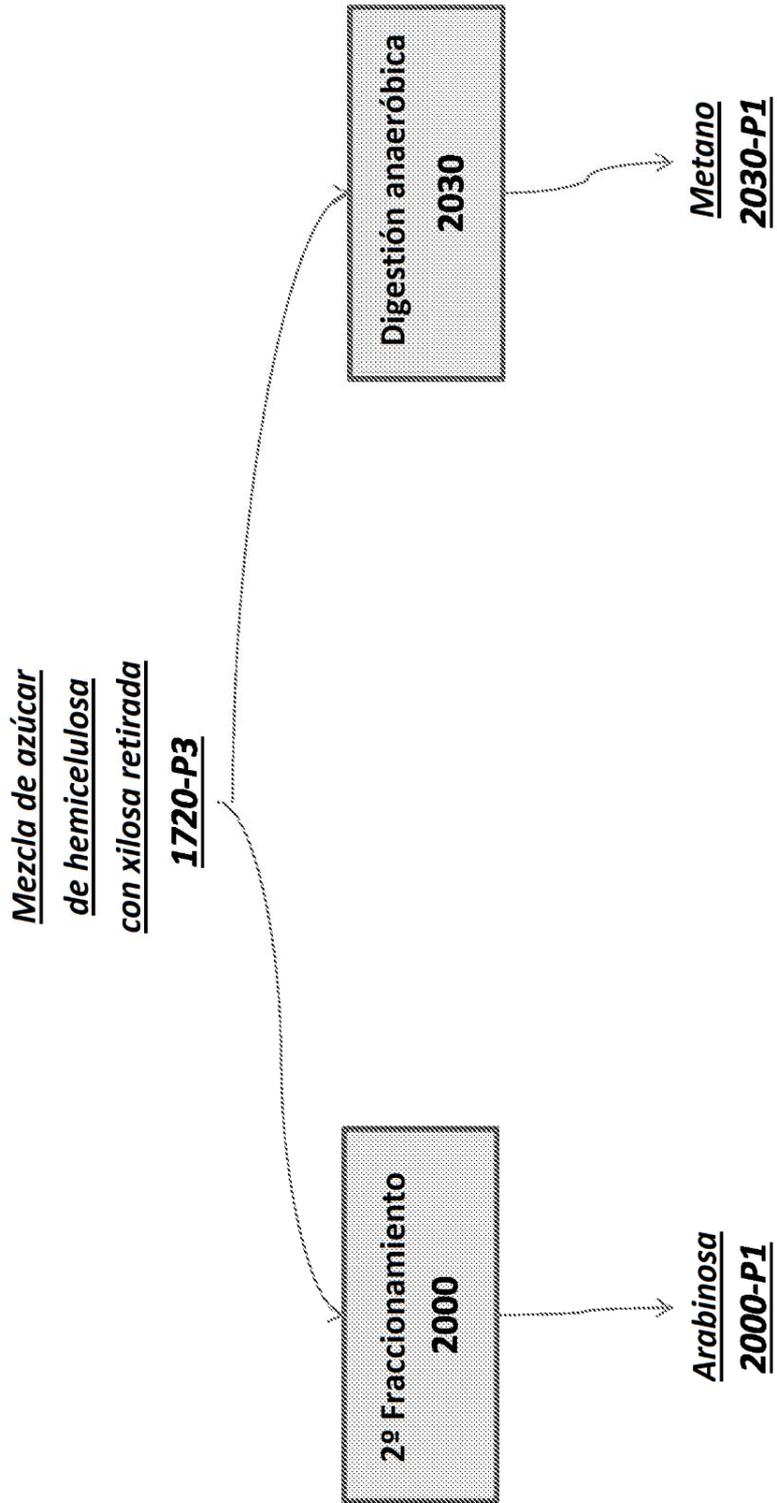


Fig. 2C

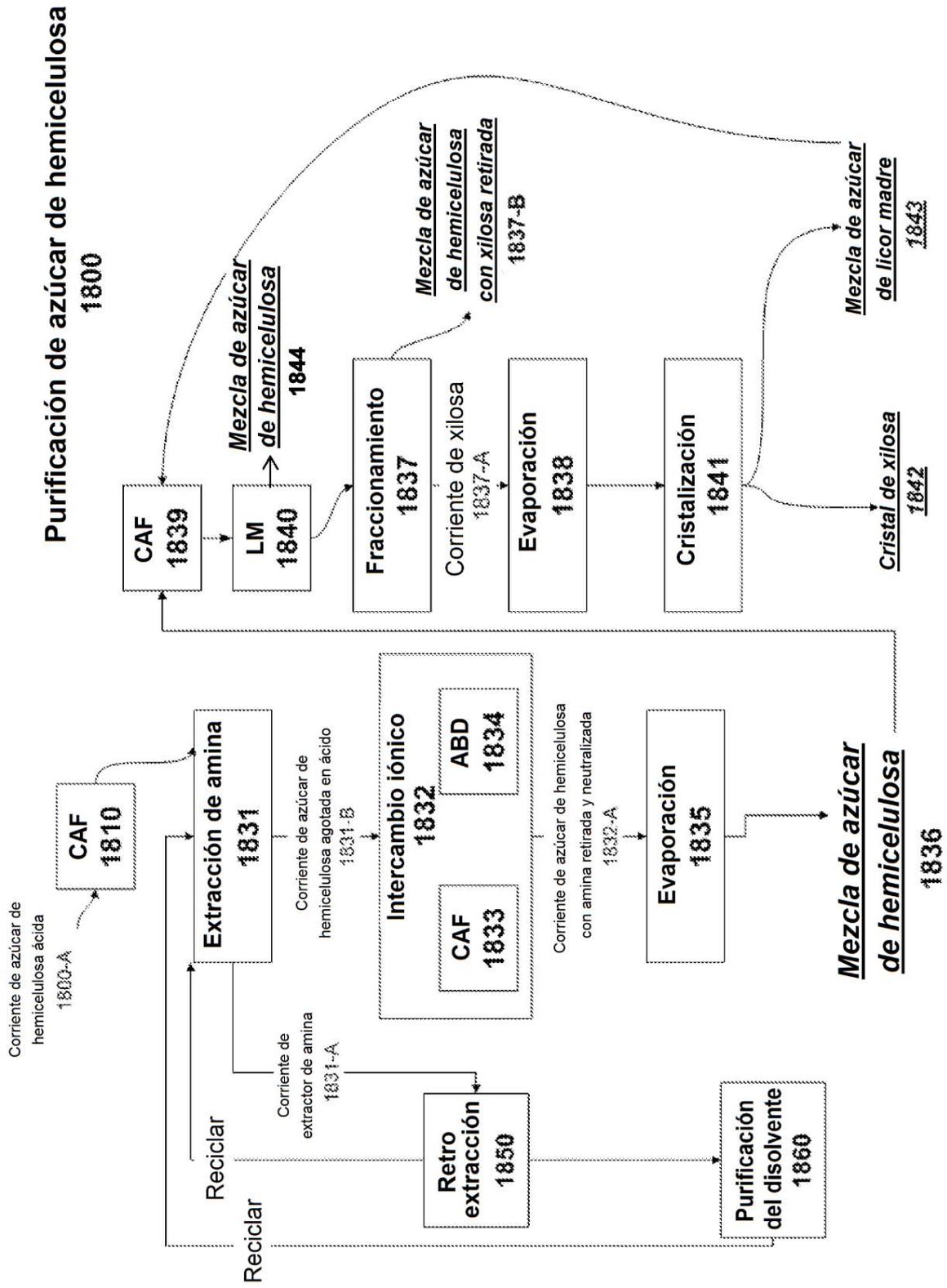


Fig. 3

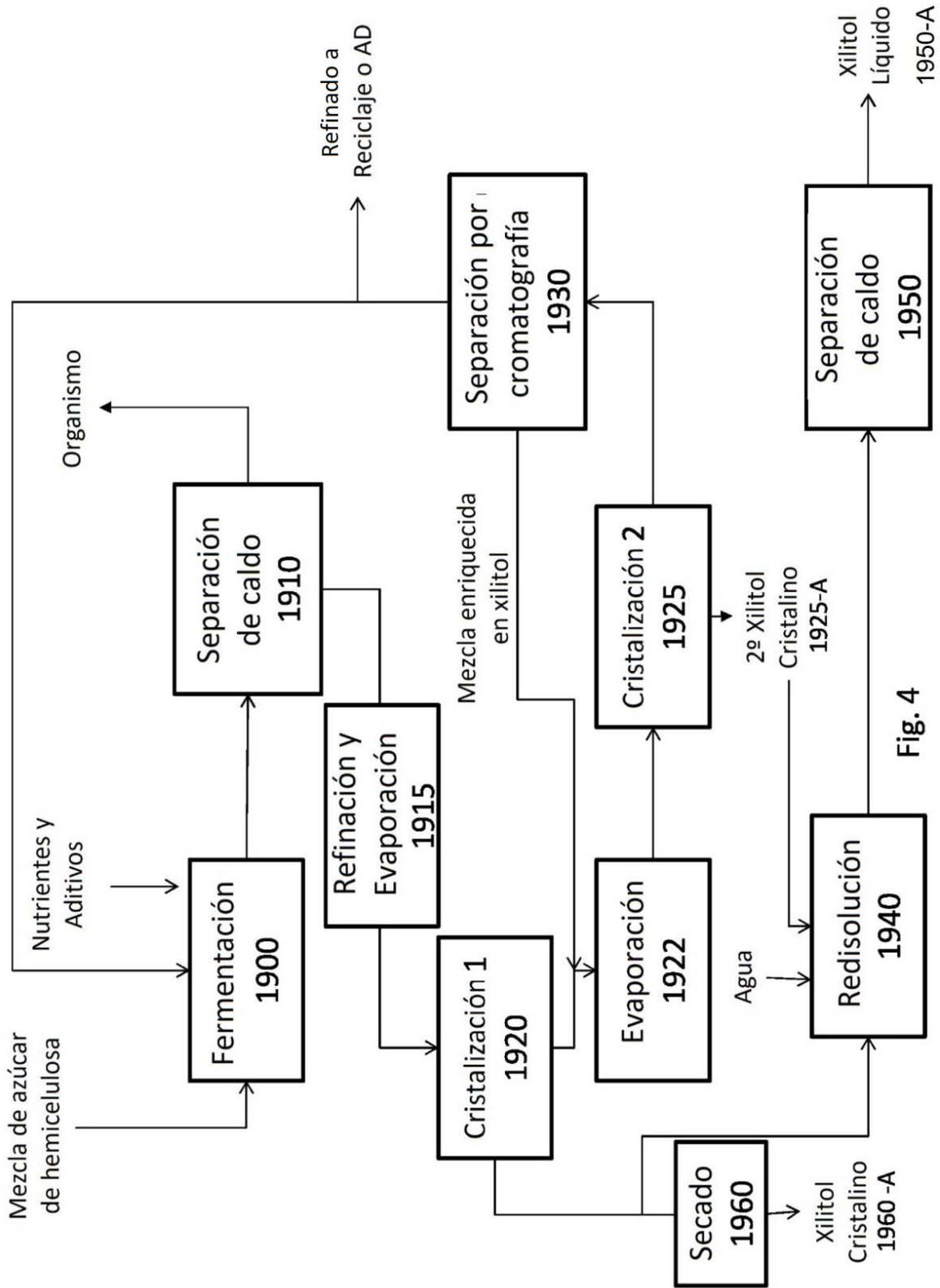


Fig. 4

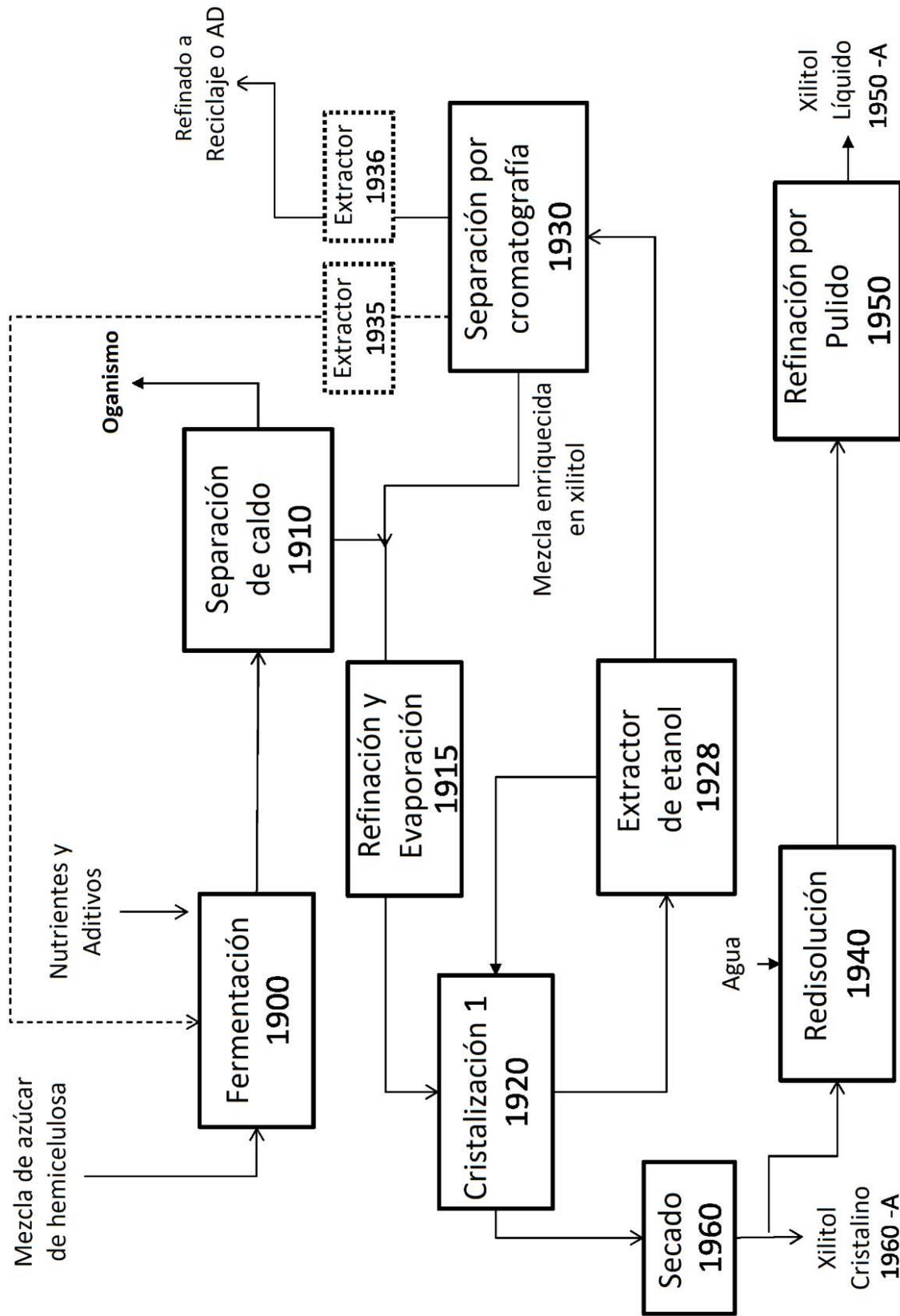


Fig. 5

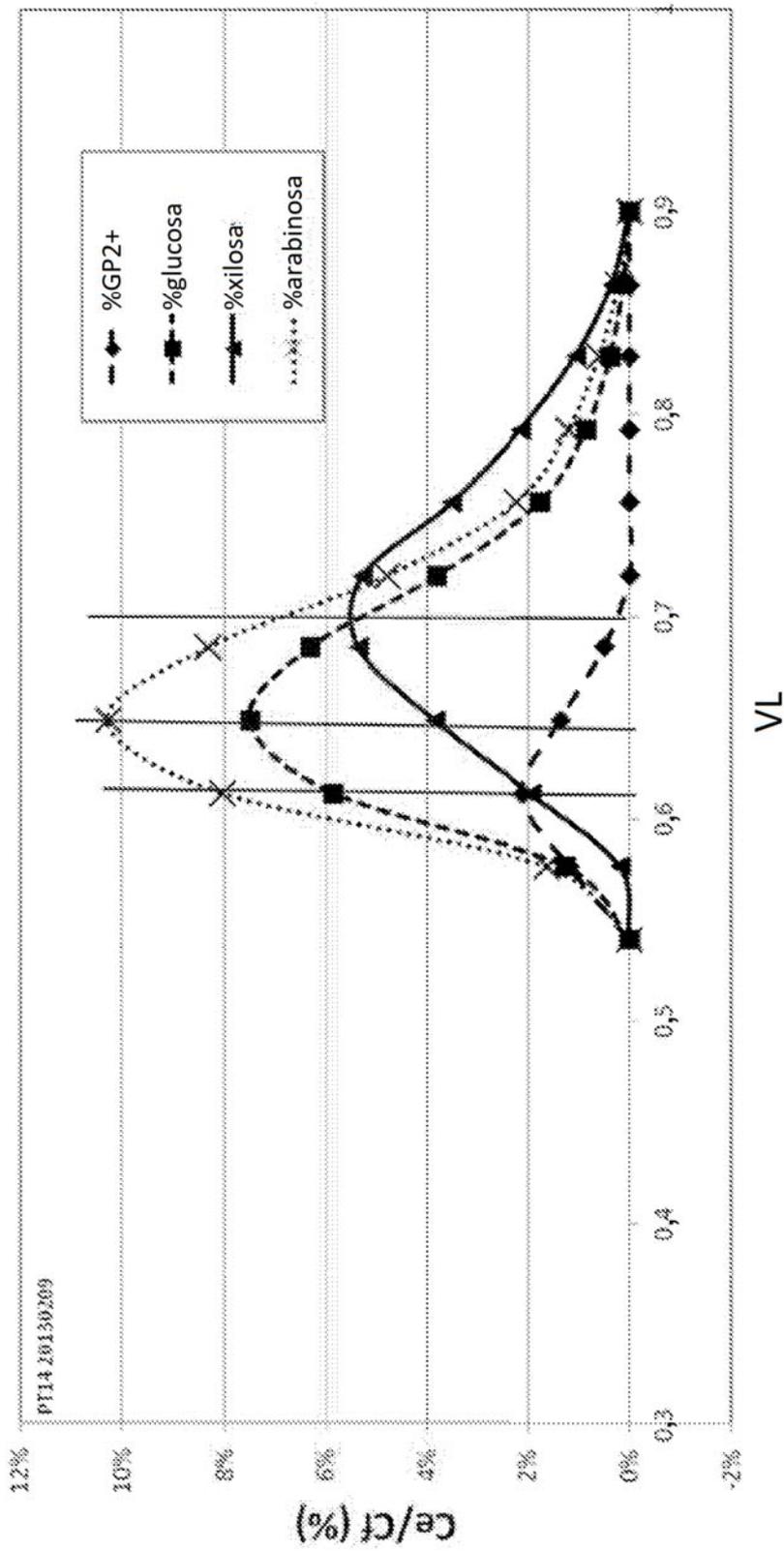


Fig. 6

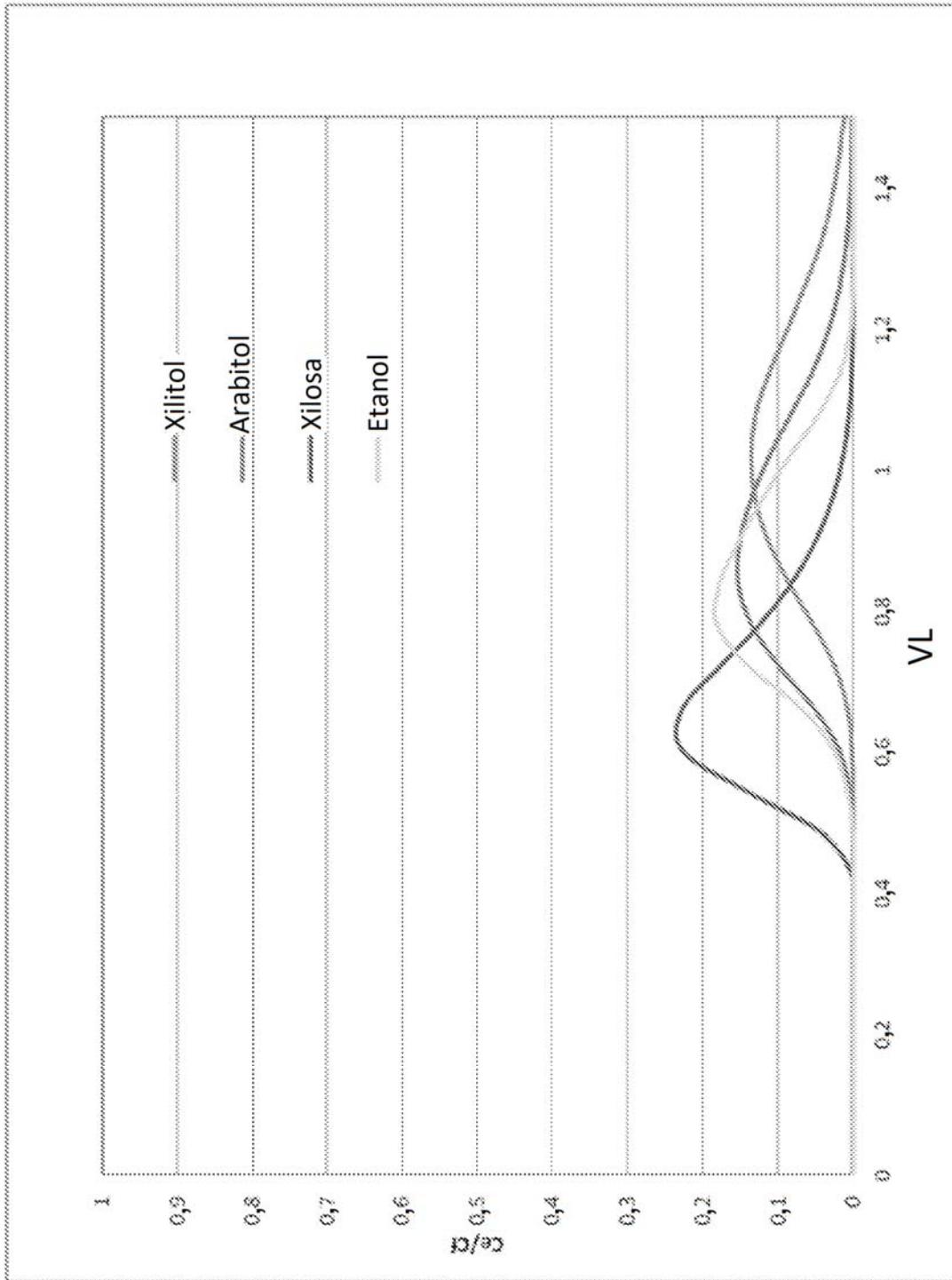


Fig. 7

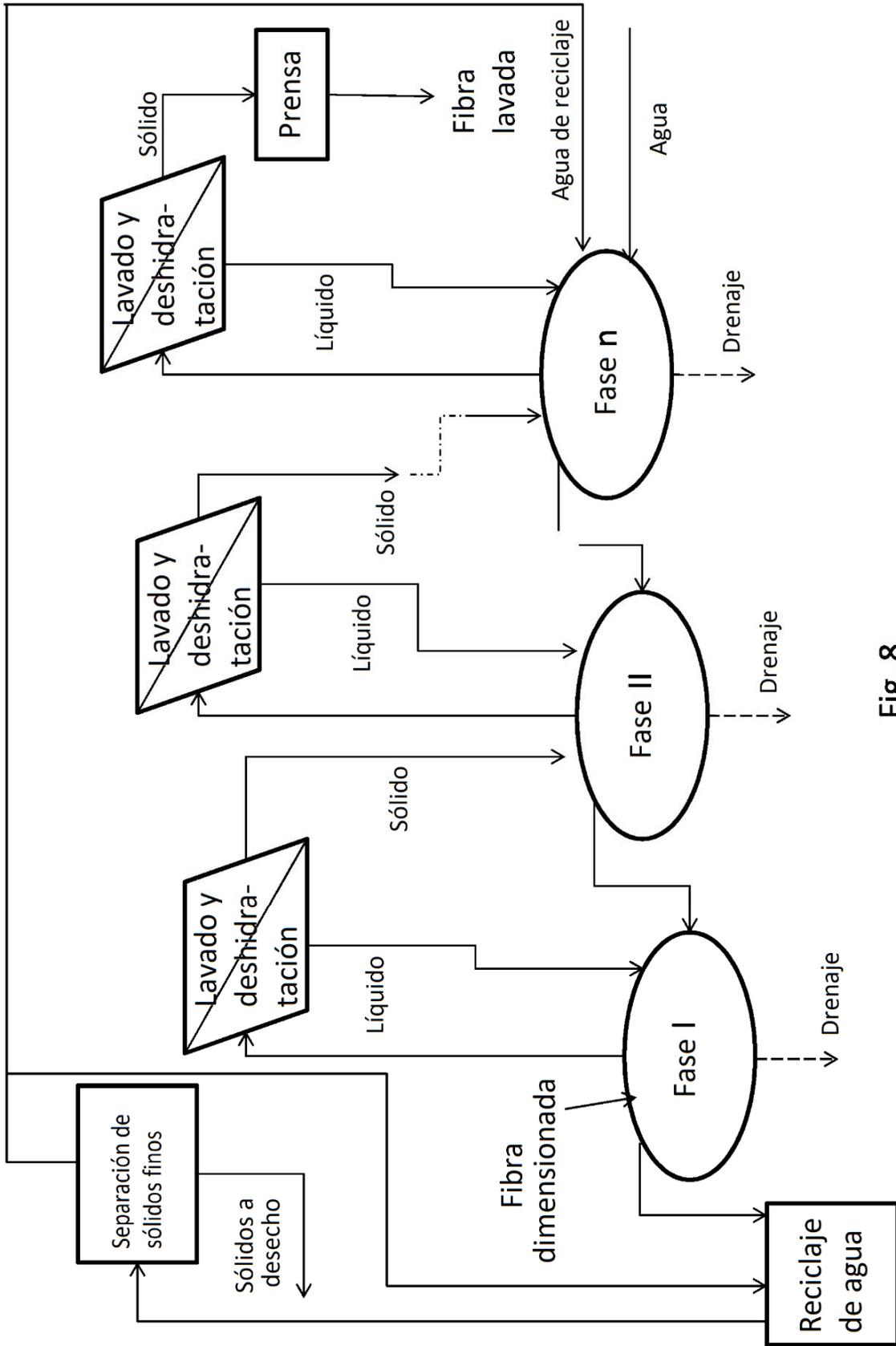


Fig. 8

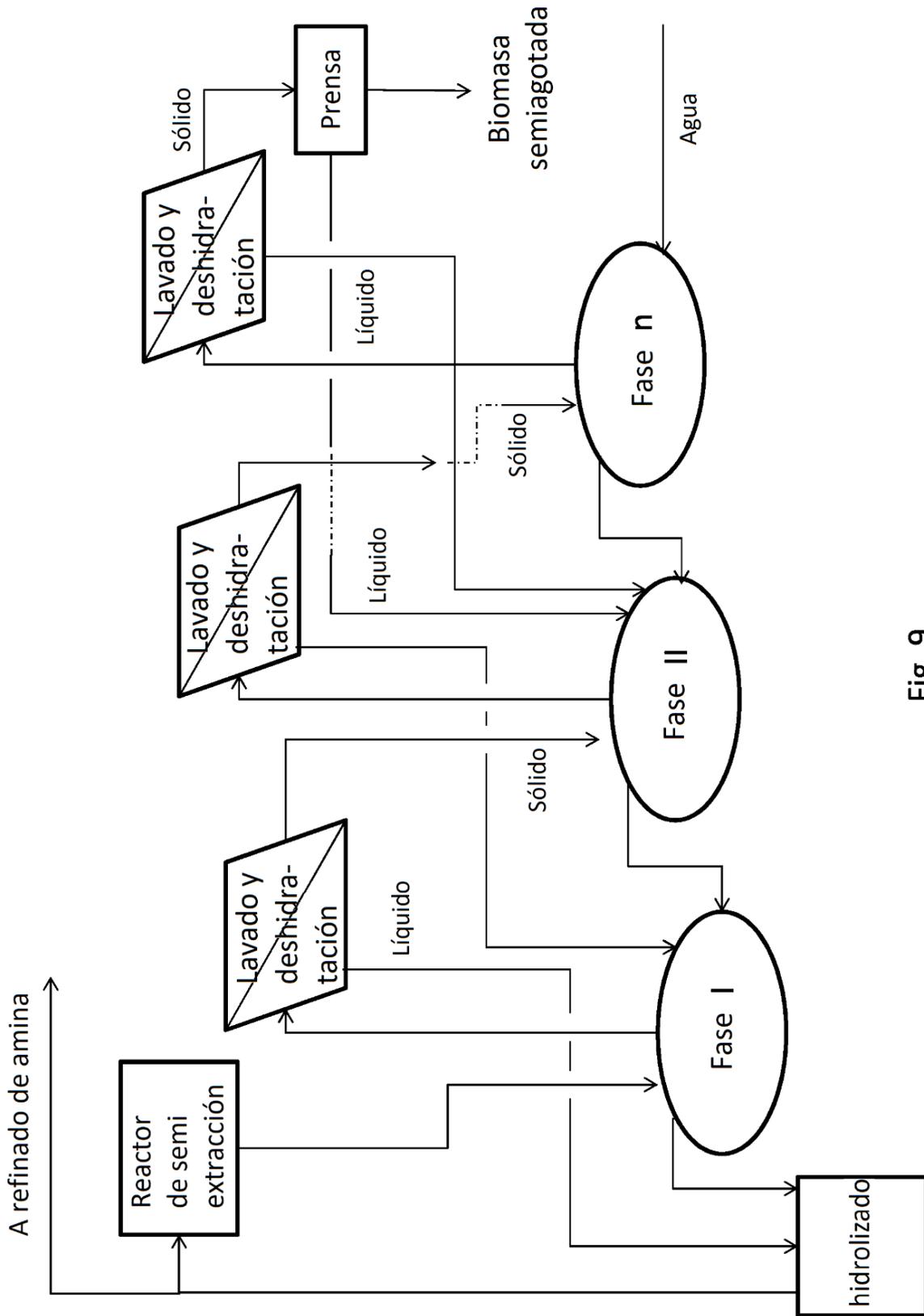


Fig. 9

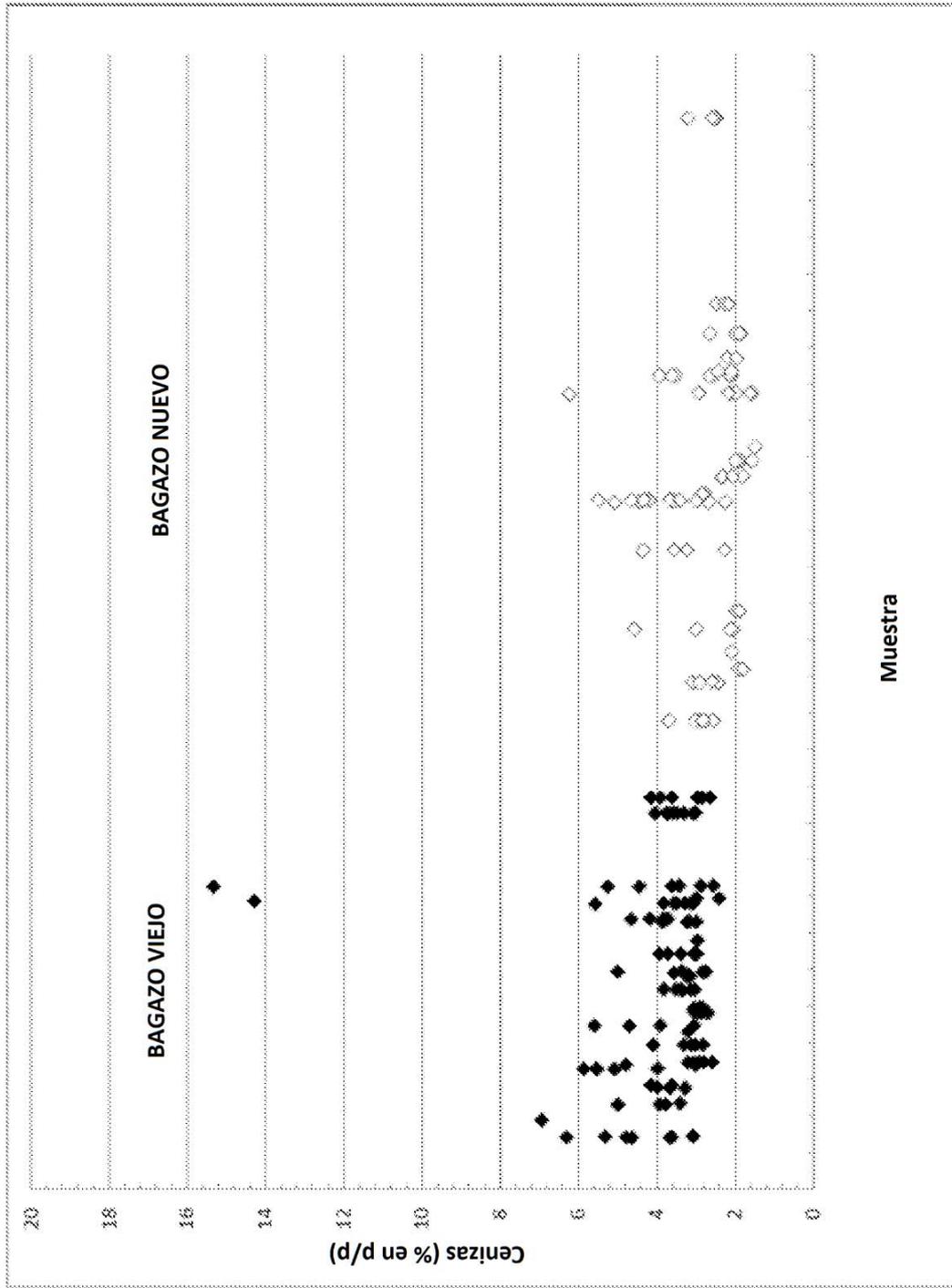


Fig. 10