

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 538 669**

51 Int. Cl.:

C08B 1/00	(2006.01)	C08L 1/02	(2006.01)
C12P 19/00	(2006.01)	C08L 97/00	(2006.01)
C13B 10/00	(2011.01)		
C12P 7/10	(2006.01)		
C12P 13/02	(2006.01)		
C08B 30/12	(2006.01)		
C13K 1/02	(2006.01)		
C12P 7/02	(2006.01)		
C12P 7/24	(2006.01)		
C13K 13/00	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.01.2011 E 11740173 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015 EP 2531528**

54 Título: **Método de producción de azúcares usando una combinación de ácidos para hidrolizar selectivamente materiales hemicelulósicos y celulósicos**

30 Prioridad:

03.02.2010 US 300853 P

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

23.06.2015

73 Titular/es:

**ARCHER DANIELS MIDLAND COMPANY (100.0%)
4666 East Faries Parkway
Decatur, IL 62526, US**

72 Inventor/es:

**BINDER, THOMAS P.;
BLOOM, PAUL D.;
DOANE, PERRY H. y
MA, CHICHENG**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 538 669 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de producción de azúcares usando una combinación de ácidos para hidrolizar selectivamente materiales hemicelulósicos y celulósicos

5 Esta invención se refiere a un procedimiento mejorado para llevar a cabo la hidrólisis de materiales que contienen celulosa y hemicelulosa, y especialmente de biomásas lignocelulósicas para su uso adicional en la síntesis de productos químicos o la preparación de aditivos de combustible o combustibles con base biológica.

10 El uso de biomasa - de materiales cuyo contenido en carbono es de origen biológico más que de origen fósil - para proporcionar productos químicos y productos de combustible derivados en la actualidad de materiales de origen fósil tales como el petróleo, o para proporcionar alternativas funcionales con base biológica aceptables a tales productos químicos y productos de combustible, se está convirtiendo cada vez más en el centro de atención para el esfuerzo y la inversión en investigación y desarrollo en los últimos años, ya que los suministros de materiales de origen fósil se han visto comprometidos o están siendo más difíciles o caros de adquirir y usar.

15 Determinadas sustituciones o alternativas de productos químicos y de combustible ya se producen a gran escala comercial a partir de biomásas. Para el área de productos de combustibles líquidos, por ejemplo, hasta ahora se han producido etanol y biodiésel (ésteres alquílicos de ácidos grasos) a escala comercial a partir de maíz u otros cereales y a partir de caña de azúcar (para el etanol) y a partir de diversos aceites y grasas vegetales (para el biodiésel).

25 Sin embargo, se reconoce desde hace mucho tiempo que sería preferible poder obtener combustibles líquidos y aditivos de combustible adecuados a partir de biomásas lignocelulósicas que contienen normalmente el 6 por ciento o más de lignina insoluble en detergente ácido (en una base en peso seco) y que no se usan como productos alimenticios, o que pueden recogerse o utilizarse como fuente y usarse sin afectar de manera materialmente adversa a los patrones y comportamientos de uso de la tierra (por ejemplo, deforestación para producir soja, maíz o cultivos similares adicionales). Podrían contemplarse varias biomásas lignocelulósicas no alimenticias de este carácter, incluyendo por ejemplo cultivos de biomasa no alimenticia con finalidades específicas (tales como pastos, sorgo dulce, árboles de crecimiento rápido), o más particularmente desechos de madera (tales como podas, virutas de madera, serrín) y desechos vegetales (por ejemplo hojas, pastos cortados, y desechos de frutas y verduras). Se ha estimado además respecto a las tierras ya en cultivo para cultivos alimenticios u otros fines, que aproximadamente tres cuartas partes de la biomasa generada son desecho, de modo que si la biomasa en cuestión es desecho en la producción de un cultivo alimenticio o algún otro cultivo al que se haya destinado la tierra en cultivo o surge de fuentes no relacionadas con ningún cultivo, parecería por la abundancia de alimentaciones lignocelulósicas disponibles, que los diversos productos químicos y de combustible que se necesitan podrían obtenerse partiendo de biomásas lignocelulósicas, si de hecho pudieran obtenerse económicamente.

35 40 Desgraciadamente, lo cierto es que hay varias dificultades prácticas reales que deben superarse con el fin de que esta proposición sea cierta. Una primera dificultad surge de las características muy diferentes de los diversos componentes que comprenden las biomásas lignocelulósicas.

45 A este respecto, al igual que para los materiales basados en fósiles tales como el petróleo, la capacidad práctica real de producir toda la variedad de sustituciones o alternativas de productos químicos y de combustible comerciales que se necesitan o se necesitarán, en la escala y con las calidades, economía y eficacia necesarias, depende hasta cierto punto de la efectividad y eficacia con que puede fraccionarse la materia prima - biomasa lignocelulósica - en sus partes componentes y de la efectividad y eficacia con que estas partes componentes pueden procesarse adicionalmente a su vez para producir las sustituciones o alternativas de productos químicos y de combustible comerciales deseados.

50 Con respecto a la presente invención, las biomásas lignocelulósicas comprenden principalmente fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo la celulosa el más numeroso de estos tres componentes. La celulosa se deriva del tejido estructural de las plantas y consiste en cadenas largas de residuos beta-glucosídicos unidos a través de las posiciones 1,4. Estas uniones hacen que la celulosa tenga una alta cristalinidad y por tanto una baja accesibilidad para las enzimas o catalizadores ácidos que se ha sugerido que hidrolizan la celulosa dando lugar a azúcares C6 o hexosas para su procesamiento adicional. Por el contrario, la hemicelulosa es un heteropolímero amorfo que se hidroliza fácilmente, mientras que la lignina, un polímero aromático tridimensional, está intercalada entre la celulosa y la hemicelulosa dentro de una célula de fibra vegetal y se presta por sí misma todavía a otras opciones de procesamiento.

60 A modo de explicación, con respecto a la fracción de lignina, los materiales que se entiende que están englobados dentro del término "lignina" y el método mediante el cual el contenido en lignina se ha cuantificado correspondientemente en una biomasa han dependido históricamente del contexto en el que se ha considerado el contenido en lignina, careciendo la "lignina" de una estructura molecular definida y determinándose por tanto empíricamente de una biomasa a otra. En agronomía y ciencia animal, al considerarse el contenido en energía digerible de las biomásas lignocelulósicas, por ejemplo, la cantidad de lignina en una biomasa dada se ha

determinado más comúnmente usando un método de lignina con detergente ácido (Goering y Van Soest, Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications), Agriculture Handbook No. 379, Agricultural Research Service, United States Dept of Agriculture (1970); Van Soest *et al.*, "Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Non-starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition", J. Dairy Sci., vol. 74, págs. 3583-3597 (1991)). Por el contrario, en la industria del papel y de la pasta la cantidad de lignina en una biomasa dada se ha determinado convencionalmente mediante el método de determinación de lignina de Klason (Kirk y Obst, "Lignin Determination", Methods in Enzymology, vol 16, págs.: 89-101 (1988)). Para los fines de la presente invención, hay una preocupación especial por aquellas biomásas lignocelulósicas que tienen al menos un contenido en lignina coherente con los pastos de clima templado maduros que tienen un valor nutritivo relativamente bajo para rumiantes y que por consiguiente se derivan a otros usos en general, caracterizándose tales pastos normalmente por el 6% o más de materiales insolubles en detergentes ácidos (en una base en peso seco).

Debido a las diferencias en las fracciones celulósica, hemicelulósica y de lignina de la biomasa, así como considerando otras fracciones menores presentes en diversas biomásas en diferentes grados, tal como se indica en la patente estadounidense n.º 5.562.777 concedida a Farone *et al.*, "Method of Producing Sugars Using Strong Acid Hydrolysis of Cellulosic and Hemicellulosic Materials", se han desarrollado o propuesto varios procedimientos a lo largo de los años para fraccionar biomásas lignocelulósicas e hidrolizar las fracciones celulósica y hemicelulósica.

Fundamentalmente se han dado a conocer procedimientos tanto biológicos como no biológicos, implicando los métodos no biológicos más antiguos y mejor conocidos de producción de azúcares a partir de celulosa la hidrólisis ácida, más comúnmente la hidrólisis basada en ácido sulfúrico usando un enfoque de ácido diluido, un enfoque de ácido concentrado o una combinación de los dos. La patente '777 concedida a Farone *et al.* describe las ventajas y las desventajas de los diversos procedimientos basados en ácido sulfúrico conocidos entonces en la técnica y sugiere una variación adicional usando hidrólisis con ácido fuerte/ácido sulfúrico y empleando una o más iteraciones de una combinación de una etapa de descristalización en la que la biomasa (y/o incluyendo los sólidos que proceden de la etapa de descristalización en una iteración previa) se mezcla con una disolución de ácido sulfúrico al 25-90 por ciento para solubilizar una parte de la biomasa, luego se diluye el ácido hasta entre el 20 y el 30 por ciento y se calienta la mezcla hasta preferiblemente entre 80 y 100 grados Celsius durante un tiempo para solubilizar la fracción celulósica y cualquier material hemicelulósico que no se hubiera hidrolizado.

Una dificultad adicional surge del hecho de que, tal como se mencionó anteriormente, se ha estimado que aproximadamente tres cuartas partes de la biomasa generada en tierras cultivadas y pastizales son desecho. Aunque estas biomásas de desecho representan un enorme recurso potencial para la producción de diversos productos químicos y de combustible con base biológica, los medios para obtener y distribuir tales productos químicos y de combustible como alternativa a los materiales basados en petróleo - así como los mercados de uso finales para tales productos químicos y de combustible - generalmente no se ubican donde (ni cerca de donde) se producen o generan las biomásas de desecho. La misma observación es cierta para los cultivos de biomasa no alimenticia con finalidades específicas que se han propuesto o que están considerándose. Por consiguiente, alguien que busque usar las diversas biomásas lignocelulósicas disponibles para obtener productos químicos, combustibles y alternativas o aditivos de combustible se ha enfrentado hasta ahora o bien con la construcción de varias plantas químicas o refinerías en zonas rurales de capacidad más pequeña, cerca de donde se recogen o generan las biomásas pero lejos de los canales de distribución y clientes, con la construcción de varias instalaciones de procesamiento para procesar las biomásas para dar un producto o productos intermedio(s) (jarabe de azúcar o alcoholes de azúcar, por ejemplo) y luego enviar el producto o los productos intermedio(s) a una instalación de fabricación y/o refinado de productos químicos o combustibles adicional ubicada (en general) más cerca de los canales de distribución y clientes, o bien con el envío de las biomásas desde los lugares en los que se han recogido o generado a una instalación central en la que se procesarán las biomásas desde el principio.

Con respecto al procesamiento y el transporte/la logística/la distribución asociados y a las opciones de venta que acaban de mencionarse, una dificultad inherente al uso de alimentaciones de biomasa lignocelulósica pero no encontrada con las materias primas basadas en petróleo, se deriva del hecho de que las biomásas surgen a partir de materia viva. Por ejemplo, uno de los retos de usar rastrojo de maíz como alimentación de biomasa, ya sea para producir etanol mediante fermentación u otros productos químicos, combustibles con base biológica o alternativas de combustible que pueden obtenerse partiendo de una alimentación de rastrojo de maíz (por ejemplo, dioles y polioles, acrilatos, hidroximetilfurfural y otros furánicos, levulinatos, epíclorhidrina), ha sido determinar cuánto rastrojo debe recogerse, así como cómo debe cortarse, empaquetarse o atarse, almacenarse y transportarse para proporcionar una alimentación de biomasa coherente con las calidades apropiadas; a este respecto, como con cualquier procedimiento de transformación, la consistencia de la materia prima siempre constituye una preocupación, y puesto que la biomasa se deriva de organismos vivos, la calidad de la biomasa recogida es algo cambiante de manera inherente de modo que ha sido necesario tener en cuenta las instalaciones de almacenamiento, transporte y procesamiento en la selección de la biomasa.

La presente invención proporciona métodos para procesar biomásas lignocelulósicas en formas que pueden abordar y superar algunas o todas las dificultades mencionadas anteriormente. En particular, la presente invención se refiere a un método para producir azúcares usando una combinación de ácidos para hidrolizar materiales hemicelulósicos y celulósicos en biomasa, comprendiendo dicha combinación de ácidos concretamente un primer ácido orgánico débil

(tal como ácido acético o ácido fórmico) para proporcionar un producto o corriente de pentosas a partir de la hidrólisis de materiales hemicelulósicos en la biomasa de manera discontinua, semicontinua o continua, y un segundo ácido mineral fuerte (tal como ácido sulfúrico) para proporcionar un producto o corriente de hexosas a partir de la hidrólisis de materiales celulósicos en la biomasa.

5 En un primer aspecto - tras procesar previamente de manera opcional la biomasa para aislar un componente más rico en proteínas que puede ser deseable para piensos o como fertilizante (mediante descomposición mecánica de la biomasa y mediante clasificación por aire, como ejemplo) y/o para aislar un componente o componentes que tiene(n) un contenido comparativamente alto de una especie o material que será más difícil de eliminar aguas abajo y que puede interferir con o hacer que las conversiones deseadas aguas abajo sean más difíciles y/o que puede afectar adversamente al procesamiento adicional de los productos contemplados (por ejemplo, compuestos de nitrógeno, compuestos de azufre, compuestos con contenido en ceniza superior) – el primer ácido orgánico débil se aplica a la biomasa, cerca de un punto de recogida de la biomasa, en condiciones (por ejemplo, en lo que se refiere a concentraciones de ácido, temperaturas, presiones y tiempos de residencia) suficientes para despolimerizar los materiales hemicelulósicos y solubilizar las ligninas en la biomasa. Entonces se seca la biomasa acidificada “cocinada” para eliminar el agua de la misma hasta un punto mediante el cual los sólidos secos se transforman en gránulos para su envío a una instalación central. Entonces, en la instalación central, se lava la biomasa procesada con ácido débil, transformada en gránulos, con un disolvente o mezcla de disolventes que es eficaz para separar las hemicelulosas y ligninas solubilizadas y despolimerizadas de una fracción celulósica de la biomasa, y luego se pone en contacto la fracción celulósica con el segundo ácido (o ácidos) mineral(es) fuerte(s) en condiciones adecuadas para proporcionar un producto o corriente de hexosas. Preferiblemente, el primer ácido orgánico débil se aplica a la biomasa en forma de vapor a temperaturas elevadas, en parte para reducir la carga de secado antes de la etapa de transformación en gránulos.

25 En un segundo aspecto relacionado, el primer ácido orgánico débil – que se entenderá, conjuntamente con las referencias al segundo ácido mineral fuerte, que abarca tanto un ácido individual así caracterizado como combinaciones de ácidos así caracterizados - se aplica a la biomasa (o a aquella porción de la biomasa que queda tras procesar previamente de manera opcional la biomasa como un todo, tal como se describió anteriormente) en condiciones adecuadas para hidrolizar materiales hemicelulósicos en la biomasa, y entonces se lava la biomasa procesada con ácido débil con un disolvente o mezcla de disolventes para separar el producto o corriente de pentosas (a partir de la hidrólisis de los materiales hemicelulósicos en la biomasa) de una fracción de sólidos predominantemente celulósicos restante. Entonces se seca la fracción de sólidos celulósicos, se transforma en gránulos y se envía a una ubicación central para el procesamiento adicional con el segundo ácido mineral fuerte, mientras que las ligninas y los materiales hemicelulósicos solubilizados se retienen y se procesan adicionalmente de manera opcional en el primer sitio, cerca del punto de recogida para la biomasa. Generalmente, este procesamiento adicional incluirá al menos un lavado con agua, para efectuar una separación de las ligninas insolubles en agua como un residuo de sólidos del producto o corriente de pentosas que resulta de la hidrólisis de los materiales hemicelulósicos en la biomasa. También se entiende que dependiendo de las condiciones del mercado local, la biomasa acidificada “cocinada” o los sólidos celulósicos podrán hacerse disponibles como ingrediente para alimento.

40 En un aspecto adicional, que no forma parte de la invención, el primer ácido orgánico débil se aplica a la biomasa (o al resto tras el procesamiento previo opcional de la biomasa, de nuevo), pero entonces se lava la biomasa procesada con ácido débil con un disolvente o mezcla de disolventes para separar las ligninas y materiales hemicelulósicos solubilizados de una fracción de sólidos predominantemente celulósicos, seguido por la puesta en contacto de la fracción de sólidos celulósicos con un ácido o ácidos mineral(es) fuerte(s), produciéndose las hidrólisis con ácido débil y ácido fuerte en la misma ubicación. Preferiblemente, el primer ácido orgánico débil se aplica de nuevo a la biomasa en forma de vapor caliente.

50 Dependiendo de consideraciones de emplazamiento convencionales tales como la logística implicada en trasladar o bien la biomasa recogida a una instalación de procesamiento central o bien para hacer que los productos derivados lleguen a los mercados y clientes a los que se sirven estos productos, el acceso a servicios públicos, mano de obra y otras entradas de proceso, etc., los expertos en la técnica apreciarán que en esta última concepción general del procedimiento inventivo, la ubicación en cuestión puede estar idealmente cerca de una agrupación de puntos de recogida para la biomasa, o más preferiblemente puede estar en una ubicación central en relación con las fuentes de biomasa que van a utilizarse para la instalación y conveniente para los mercados y clientes a los que va a servir la instalación.

60 La figura 1 es un dibujo esquemático que ilustra un procedimiento según la presente invención, según el primer aspecto.

La figura 2 es un dibujo esquemático que ilustra un procedimiento según la presente invención, según el segundo aspecto.

65 La figura 3 es un dibujo esquemático que ilustra un procedimiento, según el aspecto adicional descrito anteriormente, que no forma parte de la invención.

El procedimiento con ácidos combinados actual para producir azúcares hidrolizando materiales hemicelulósicos y celulósicos en biomasa lignocelulósica se entiende más fácilmente haciendo referencia a los dibujos adjuntos, mediante los cuales la presente invención se muestra en un primer aspecto o realización 100 general (figura 1), y en un segundo aspecto o realización 200 general (figura 2). La realización 300 general (figura 3) no forma parte de la invención.

Haciendo referencia en primer lugar a la figura 1, se recoge inicialmente una biomasa lignocelulósica, que en una realización preferida contiene normalmente el 6 por ciento o más de lignina insoluble en detergente ácido y que preferiblemente no tiene ningún uso alternativo sustancial en o para obtener productos alimenticios humanos, en la etapa 102 en una ubicación conveniente (sitio A) cerca de donde se cultiva o produce la biomasa.

Obviamente también se contemplan mezclas de biomásas procedentes de diversas fuentes, incluyendo biomásas procedentes de la cosecha y el procesamiento de cultivos alimenticios, y deben considerarse englobadas por el uso de "una biomasa lignocelulósica" en singular. Cuando se emplean varias biomásas diferentes procedentes de diversas fuentes, preferiblemente una biomasa no alimenticia con finalidad específica o una biomasa de desecho agrícola comprende la fracción mayor de esas varias biomásas en la mezcla. Un ejemplo de una alimentación de biomasa mixta comprendería rastrojo de maíz y fibra de maíz, comprendiendo preferiblemente el rastrojo de maíz una proporción mayor de la alimentación que la fibra de maíz. Una alimentación de biomasa mixta puede ser también simplemente ensilaje de planta completa, por ejemplo, maíz de planta completa cosechado y almacenado mayoritariamente de manera anaerobia, "ensilado" para formar un ensilaje, ya que la mayoría de las instalaciones para obtener productos químicos, combustibles y aditivos de combustible basados en recursos renovables requerirán el acceso durante todo el año a la biomasa o a las alimentaciones basadas en biomasa para esas instalaciones, de la misma manera que las instalaciones que se basan en alimentaciones dependientes de petróleo, y el ensilaje representa mucho más un "producto básico conocido" para el operario de tales instalaciones que otras biomásas procesadas.

La presente invención, en la realización 100 procesa de manera fundamentalmente parcial (en el sitio A) la biomasa recogida en la etapa 102, con el fin de hacer que el material esté en un estado que pueda transportarse más económicamente desde el sitio A, una ubicación conveniente cerca de donde se cultiva o se produce la biomasa, a una instalación de procesamiento central ("instalación central") ubicada normalmente más cerca de los medios para obtener y distribuir los productos químicos y de combustible con base biológica deseados y más cerca de los clientes que comprarían en última instancia estos productos químicos y de combustible. De manera convencional se espera que un sitio A y la instalación central estén a 50 o más kilómetros (30 millas o más) uno del otro, y que varios sitios A estén como promedio al menos a la misma distancia de separación de una instalación central. A menudo, los sitios A estarán como promedio a 80 km (50 millas) o más de separación de una instalación central.

Obviamente, también puede ser posible que la instalación central y el sitio A estén mucho más cerca geográficamente, por ejemplo, cuando los medios para obtener un producto químico o combustible con base biológica deseado ya están en un lugar cerca del sitio A - o cuando el sitio A está cerca de una fuente de demanda de modo que se preferiría normalmente la realización de la figura 3, pero consideraciones específicas para el sitio A (por ejemplo, consideraciones de zonificación y autorización o limitaciones de espacio) impiden que se implemente la realización de la figura 3.

Volviendo ahora a la figura 1, como etapa inicial en el procedimiento 100, se recoge la biomasa y se lava según sea necesario para eliminar la suciedad y otros contaminantes. Entonces se secan opcionalmente los materiales, preferiblemente hasta obtener un contenido en humedad del 10% o menos. Entonces se tritura la biomasa mediante cualquiera de varios medios, incluyendo sin limitación mediante molienda, cortado y sometiendo a molino de martillo. Dependiendo de la biomasa y del procesamiento aguas abajo deseado y de la lista de productos que van a producirse a partir de las diversas fracciones celulósica, hemicelulósica y de lignina de la biomasa, el procesamiento previo incluido de la biomasa puede incluir separar y recuperar (a través de clasificación por aire u otros métodos de separación conocidos) una parte más rica en proteínas de la biomasa para su uso para piensos y como fertilizante, por ejemplo, la fracción de hojas del rastrojo de maíz tiene un mayor contenido en nitrógeno y el valor nutricional aproximado del heno. Para una biomasa mixta, tal como ensilaje de maíz de grano entero, el procesamiento previo de la biomasa puede implicar la recuperación del aceite de maíz del cereal como coproducto valioso adicional.

Alternativa o adicionalmente, y de nuevo dependiendo de la biomasa y del procesamiento aguas abajo deseado y de la lista de productos que van a producirse a partir de las diversas fracciones celulósica, hemicelulósica y de lignina de la biomasa, la biomasa puede procesarse previamente para separar y eliminar partes de la biomasa completa que tienen un contenido comparativamente alto de una especie o material que será más difícil de eliminar aguas abajo y que puede interferir con o hacer que las conversiones deseadas aguas abajo sean más difíciles y/o que puede afectar adversamente al procesamiento adicional de los productos contemplados. Por ejemplo, se ha sugerido que varios productos químicos útiles pueden derivarse de productos de pentosas y/o hexosas a través de diversas transformaciones catalíticas y partes de la biomasa pueden contener materiales (o precursores de tales materiales) que tenderían a desactivar un catalizador contemplado, a través de coquización, polimerización, bloqueo de sitios activos en el catalizador u otros mecanismos. Además, tal como se sugirió anteriormente, un producto deseado del procesamiento de la biomasa puede ser un pienso, y sería deseable eliminar los nitratos en una

biomasa lignocelulósica - si están más altamente concentrados en una parte de la biomasa que puede separarse y eliminarse antes del procesamiento adicional – mediante el procesamiento previo de la biomasa completa.

La biomasa recogida o procesada previamente se pone entonces en contacto con un ácido orgánico débil para solubilizar/despolimerizar al menos parcialmente los materiales hemicelulósicos y preferiblemente algunas de las ligninas en la biomasa también en la etapa 104 de ácido débil. Los ácidos preferidos incluyen ácido fórmico, ácido málico, ácido acético, ácido succínico y ácido propiónico, siendo los ácidos fórmico y acético más preferidos. Preferiblemente, el/los ácido(s) débil(es) se aplica(n) a la biomasa en forma de vapor caliente para minimizar las necesidades de eliminación de agua en la etapa 106 de secado posterior.

Se ha encontrado que una disolución de ácido débil del 50 por ciento o más en agua puede bastar, con calentamiento suficiente, para despolimerizar los materiales hemicelulósicos y de lignina en la biomasa hasta un punto mediante lo cual los materiales parcialmente despolimerizados pueden servir como aglutinante, en efecto, en la etapa posterior de transformación en gránulos o densificación. Preferiblemente, no se requieren aglutinantes adicionales para lograr gránulos que tengan la durabilidad deseada, tal como se comentará adicionalmente más adelante.

Por tanto, el ácido débil puede aplicarse en una realización preferida en forma de un vapor caliente de ácido desde al 50 por ciento y mayor, pero más preferiblemente se aplica como un vapor concentrado que contiene ácido desde al 70 por ciento hasta un exceso de ácido del 90 por ciento, a una temperatura de desde 50 grados Celsius hasta 160 grados Celsius, una presión de desde presión atmosférica hasta 3,5 MPa, manométricos (500 psig), y durante un tiempo de residencia de al menos aproximadamente treinta minutos, para descomponer la fracción hemicelulósica y al menos algunas de las ligninas en la biomasa lo máximo posible sin comprometer excesivamente la durabilidad de los gránulos formados posteriormente por lo que deben añadirse cantidades significativas de un aglutinante.

Entonces se somete la biomasa procesada con ácido débil a una etapa 106 de secado o deshidratación para eliminar suficiente humedad para permitir que la biomasa seca se convierta en gránulos en la etapa 108. La etapa 106 de secado/deshidratación puede llevarse a cabo mediante varios dispositivos convencionales o combinaciones de tales dispositivos para concentrar una suspensión acuosa y eliminar el agua de la misma hasta un nivel adecuado para la transformación en gránulos de los sólidos restantes, por ejemplo, centrifugas, hidrociclones, secadores de prensa de filtro banda, secadores de lecho fluido, secadores de tambor rotatorio directo o indirecto, secadores giratorios instantáneos y similares. Preferiblemente, la biomasa que sale de la etapa 106 de secado tendrá un contenido en humedad del 10 por ciento en peso o menos, más preferiblemente del 8 por ciento en peso o menos y lo más preferiblemente del 6 por ciento en peso o menos para facilitar su transformación en gránulos y reducir los costes de transporte.

La transformación en gránulos de los sólidos que salen de la etapa 106 de secado puede llevarse a cabo en la etapa 108 usando métodos y equipo conocidos de manera convencional por los expertos en la técnica, ya que la transformación en gránulos de piensos y de biomasa de madera para combustibles está bien establecida, y dará como resultado preferiblemente un material con capacidad de cohesión e integridad suficientes para soportar el transporte neumáticamente o mediante sistemas/cintas transportadoras, mediante camiones, barcos o trenes, o mediante algún otro medio o combinación de medios para transportar un material desde el sitio A hasta la instalación central. Por conveniencia, el transporte del material transformado en gránulos desde el sitio A a una segunda ubicación se describirá en las reivindicaciones más adelante y en otra parte en el presente documento como “envío” del material desde el sitio A local a una segunda ubicación, y no se pretende que el uso de “envío” se limite a barcos, aviones, trenes o camiones o medios similares de transporte vehicular, sino que debe entenderse como inclusivo de cualquier forma en la que puedan desplazarse tales materiales transformados en gránulos desde un sitio A a una segunda ubicación.

A este respecto, la durabilidad necesaria del material transformado en gránulos – lo que significa principalmente que el gránulo no produce una cantidad excesiva de finos en la manipulación, el transporte y el almacenamiento – dependerá más particularmente de cómo se manipule, transporte y almacene el material en un sitio A dado, entre el sitio A y una instalación central dada, y en la instalación central. Además, hay varios dispositivos y métodos relacionados que se han desarrollado para evaluar la durabilidad de los gránulos, de modo que a priori no pueden asignarse de manera razonable valores numéricos precisos para la durabilidad. Preferiblemente, sin embargo, ya sea por la manera en la que se procesa el material transformado en gránulos o en virtud de los aglutinantes añadidos al material, o ambos, la biomasa parcialmente procesada, transformada en gránulos, será suficientemente duradera de modo que no experimente más del cinco por ciento de pérdida de masa por la formación de polvo o finos desde la finalización de la etapa 108 de transformación en gránulos hasta el comienzo del lavado con disolvente en la instalación central, y preferiblemente no más del tres por ciento de la biomasa parcialmente procesada, transformada en gránulos se perderá como finos en esta transición.

Entonces se envía convenientemente la masa parcialmente procesada, transformada en gránulos a la instalación central para el procesamiento adicional, que incluye al menos lavar con un disolvente o combinación de disolventes en la etapa 110, seleccionándose el disolvente o los disolventes para que separen eficazmente los materiales

hemicelulósicos despolimerizados al menos parcialmente en un producto o corriente 112 que contiene pentosas a partir de la hidrólisis de materiales hemicelulósicos en la biomasa, y una fracción 114 de sólidos celulósicos. La etapa 110 de lavado con disolvente puede comprender opcionalmente varias iteraciones de lavado y filtración, según se desee.

5 Opcionalmente, se emplea una etapa 116 de lavado con disolvente adicional (en una o más iteraciones de lavado y filtración) junto con la etapa 110 de lavado con disolvente para separar la fracción 118 de ligninas de la biomasa. La manera en la que se realizan las etapas 110 y 116 dependerá de cómo se ha procesado la biomasa en el sitio A, pero en todos los casos se realizará para proporcionar un producto o corriente 114 de pasta celulósica limpia que
10 entonces puede hidrolizarse mediante la exposición al ácido mineral fuerte en la etapa 124 para producir un producto o corriente 122 de hexosas.

Por ejemplo, aunque la aplicación en el sitio A de una disolución al 50 por ciento de ácido acético en agua, en caliente, por ejemplo, es suficiente tal como se comentó anteriormente para despolimerizar al menos parcialmente
15 las hemicelulosas y ligninas en la biomasa de modo que el material pueda transformarse en gránulos y transportarse eficazmente, las ligninas en la biomasa mayoritariamente no serán solubles en una disolución al 50 por ciento. Para la etapa 110, un enfoque preferido sería usar agua caliente para separar las hemicelulosas despolimerizadas al menos parcialmente y las sales solubles de la fracción 114 de sólidos celulósicos que también contendría las ligninas insolubles en agua. Entonces se realizaría la etapa 116 de lavado con disolvente en la fracción 114 para
20 solubilizar y separar las ligninas en la corriente 118 y producir un material en el producto o la corriente 114 que puede someterse a hidrólisis ácida con un ácido mineral fuerte, siendo un disolvente útil para este fin una disolución de ácido orgánico más concentrada aplicada a la temperatura necesaria para solubilizar las ligninas y separar las mismas de la fracción celulósica restante.

25 En una realización alternativa en la que se emplea un ácido orgánico débil más concentrado (por ejemplo, ácido al 70 por ciento y mayor frente al 50 por ciento) en el sitio A, sin embargo, puede recuperarse la pasta 114 celulósica limpia en la etapa 110 sin necesidad de una etapa 116 de lavado con disolvente adicional. Se ha encontrado que el lactato de etilo es un disolvente eficaz para su uso en la etapa 110 en esta realización. Otros disolventes eficaces incluyen tetrahidrofurano, 2-metil-tetrahidrofurano, formiato de etilo y acetato de etilo. La etapa 116 de lavado con
30 disolvente adicional opcional en esta realización se usaría para separar la fracción 118 de ligninas, lo que implica preferiblemente lavar simplemente con agua caliente para recuperar las ligninas insolubles en agua en la corriente 118.

Entonces se convierte la fracción 114 de sólidos celulósicos recuperada o fraccionada de esta manera en un
35 producto de hexosas o una corriente 122 sustancialmente de hexosas a través de hidrólisis 124 con ácido mineral fuerte convencional en condiciones adecuadas para llevar a cabo esta conversión. El producto o corriente de hexosas producido mediante la presente invención en sus diversas realizaciones (como corriente 122 en la figura 1, corriente 220 en la figura 2 y corriente 314 en la figura 3) comprenderá preferiblemente de manera sustancial exclusivamente monosacáridos C6 y será de un carácter adecuado para mejorar los productos químicos y de
40 combustible con base biológica deseado con procesamiento previo o limpieza adicionales mínimos. Los productos químicos y de combustible con base biológica a modo de ejemplo que se han sugerido como que pueden derivarse de los monosacáridos C6 incluyen productos aditivos de combustible a través de hidrogenación e hidrotratamiento, o etanol, lisina, treonina, ácido láctico, glucónico u otros ácidos orgánicos a través de fermentación.

45 Asimismo, el producto o corriente de pentosas producido mediante la presente invención en sus diversas realizaciones (como corriente 112/120 en la figura 1, corriente 208 en la figura 2, corriente 316 en la figura 3) comprenderá preferiblemente de manera sustancial exclusivamente monosacáridos C5 y será de un carácter adecuado para mejorar aquellos productos químicos y de combustible con base biológica que pueden derivarse de
50 tales monosacáridos C5, por ejemplo, etanol, treonina, lisina, ácido láctico, glucónico u otros ácidos orgánicos mediante fermentación, furfural, alcohol furfúrico, metil-tetrahidrofurfural, ácido furfúrico y aditivos de combustible generalmente mediante hidrogenación e hidrotratamiento.

Un ácido mineral fuerte preferido para la etapa 124 es el ácido sulfúrico, aplicado como una disolución acuosa de
55 ácido sulfúrico a una concentración del 1 al 80, y preferiblemente de desde el 40 hasta el 80 por ciento, a una temperatura de desde 25 grados Celsius hasta 100 grados Celsius, una presión de desde presión atmosférica hasta 0,7 MPa, manométricos (100 psig), y un tiempo de residencia de 15 minutos a 2 horas dependiendo principalmente de las condiciones de temperatura usadas.

La fracción de ligninas (como corriente 118 en la figura 1, corriente 212 en la figura 2 y corriente 318 en la figura 3)
60 puede llevarse de manera similar al uso práctico adicional, por ejemplo, ozonólisis para dar un aditivo de combustible aromático basándose, por ejemplo, en las enseñanzas de la solicitud de patente publicada estadounidense n.º 2009/0718498A1, como alimentación de gasificación para producir gas de síntesis, como combustible de combustión, u ozonólisis para producir una alimentación de sulfonación aromática para producir sulfonatos de alquilbenceno lineal con base biológica.

65 Volviendo ahora a la figura 2, se muestra esquemáticamente una realización 200 alternativa. En la realización 200,

sólo se recoge la fracción celulósica de la biomasa en forma sólida y se transforma en gránulos para su envío y procesamiento a una instalación central para producir un producto o corriente de hexosas, mientras que las fracciones hemicelulósica y de lignina se hidrolizan en un primer sitio, el sitio A, que está de manera preferiblemente conveniente donde se ha producido o cultivado la biomasa. Se espera que la realización 200 alternativa sea
5 ventajosa cuando la biomasa tenga un contenido en lignina comparativamente alto pero no una salida directa para los productos que van a obtenerse a partir de las fracciones celulósica o de lignina.

Más particularmente, en la realización 200 general, se recoge la biomasa lignocelulósica y se prepara para la hidrólisis con ácido débil posterior en la etapa 202, de la misma manera que la descrita anteriormente para la etapa
10 102 de la realización 100. La biomasa recogida y procesada previamente se somete entonces a una etapa 204 de hidrólisis con ácido débil, que se corresponde de nuevo preferiblemente con la etapa 104 de hidrólisis con ácido débil de la realización 100. La biomasa hidrolizada con ácido débil, que comprende ligninas y materiales hemicelulósicos despolimerizados al menos parcialmente y una fracción de sólidos celulósicos, se lava con
15 disolvente en una o más iteraciones y se filtra en una etapa 206 de lavado con disolvente, igual que en la etapa 110 de lavado con disolvente descrita anteriormente para la realización 100. Entonces se lava opcionalmente un producto o corriente 208 de pentosas (entendiéndose “producto” en el presente documento como que contempla un modo de funcionamiento por lotes o generalmente discontinuo, y entendiéndose “corriente” convencionalmente como que hace referencia a un modo de funcionamiento continuo) procedente de la hidrólisis con ácido débil de hemicelulosas en la biomasa en la etapa 210 en una o más iteraciones de lavado y filtración, para producir un
20 producto o corriente 212 de lignina sólido y un producto o corriente 214 de pentosas líquido.

Simultáneamente, se secan los sólidos celulósicos procedentes de la etapa 206 de lavado con disolvente en una etapa 216 de secado, para eliminar la humedad de los sólidos antes de su transformación en gránulos en la etapa
25 218 para el envío a un segundo lugar – denominado “instalación central” en la figura 2. La etapa 216 de secado y la etapa 218 de transformación en gránulos se llevarán a cabo generalmente para la realización 200 tal como se describió anteriormente para la etapa 106 de secado y la etapa 108 de transformación en gránulos de la figura 1.

En la “instalación central”, que está ubicada preferiblemente cerca de una fuente significativa de demanda para un producto o corriente 220 de hexosas que va a producirse a partir de los sólidos celulósicos transformados en
30 gránulos de la etapa 218, se combinarán preferiblemente estos mismos sólidos celulósicos transformados en gránulos de la etapa 218 en un sitio A dado con sólidos celulósicos transformados en gránulos de la etapa 218 en otros sitios A localizados y se hidrolizarán en una etapa 222 de hidrólisis con ácido mineral fuerte. La etapa 222 de hidrólisis con ácido mineral fuerte en la realización 200 será preferiblemente tal como se describió anteriormente para la realización 100, para la etapa 124.

La figura 3, que no forma parte de la invención, puede describirse brevemente como que comprende las mismas etapas básicas de recogida y procesamiento previo de biomasa, hidrólisis con ácido débil, lavado con disolvente,
40 lavado con agua opcional e hidrólisis con ácido fuerte realizadas en común con las realizaciones 100 y 200, pero omitiendo por ejemplo las etapas de secado y transformación en gránulos de la realización 200, ya que la realización 300 se contempla para su puesta en práctica en un sitio localizado dado, idealmente cerca de donde se cultiva o produce la biomasa que va a procesarse. Por tanto, la biomasa se recoge y se procesa previamente en una etapa 302 de recogida, después se somete a una etapa 304 de hidrólisis con ácido débil seguido por un proceso 306 de lavado con disolvente y filtración para separar sustancialmente la fracción 308 celulósica sólida de las fracciones 310 hemicelulósica y de lignina solubilizadas/hidrolizadas. Los sólidos 308 celulósicos se hidrolizan a su vez en una
45 etapa 312 de hidrólisis con ácido fuerte para producir un producto o corriente 314 de hexosas, mientras que las pentosas solubles en agua y las ligninas insolubles en agua se separan y se recuperan opcionalmente como productos (o corrientes) 316 y 318 a través de una etapa 320 de lavado realizada en la corriente 310.

La figura 3 se emplea por tanto ventajosamente cuando la biomasa que va a procesarse se cultiva o se produce
50 cerca de una fuente de demanda para las pentosas y/o hexosas que van a producirse a partir de la misma, por ejemplo, para obtener productos químicos, combustibles y/o aditivos de combustible con base biológica. Como ejemplo, en el corredor de procesamiento petroquímico del río Misisipi entre Baton Rouge y Nueva Orleans, Luisiana, se cultiva ampliamente caña de azúcar - y el bagazo dejado en este procesamiento para obtener azúcar de caña y productos relacionados. Los expertos en la técnica apreciarán que debido a la variedad de biomasa lignocelulósicas que pueden procesarse pueden considerarse otros numerosos ejemplos similares en los que existe un suministro suficiente de una biomasa adecuada cerca de una fuente de demanda para las pentosas y/o hexosas. En economías con industrias de productos químicos y de combustible bien desarrolladas ubicadas cerca de grandes
55 núcleos de población, las oportunidades para hacer uso de la figura 3 (en contraposición a las realizaciones 100 y 200) pueden ser relativamente más limitadas, mientras que para economías con industrias químicas y de combustible desarrolladas o en desarrollo y núcleos de población menos grandes – o en las que las industrias químicas y de combustible se han desarrollado lejos de grandes núcleos de población y más cerca de zonas agrarias – puede preferirse la figura 3. En cualquier caso, los expertos en la técnica podrán determinar cuáles de las tres alternativas descritas en el presente documento va a preferirse en un conjunto particular de circunstancias.

65 Naturalmente, las alternativas 100, 200 y 300 pueden comprender también etapas adicionales. Normalmente será deseable, por ejemplo, incluir recuperación y reciclado de ácido para recuperar y reciclar para reutilizar cualquiera o

tanto el/los ácido(s) orgánico(s) débil(es) como el/los ácido(s) mineral(es) fuerte(s), y los expertos en la técnica podrán seleccionar y emplear medios adecuados para llevar a cabo la separación del/de los ácido(s) de las corrientes de azúcar en el procedimiento inventivo. Cuando se usa ácido acético como ácido débil puede recuperarse mediante destilación simple, mientras que el ácido fórmico forma un azeótropo con agua y por tanto requiere métodos de destilación azeotrópica cuando se aplica ácido fórmico como en la técnica de fabricación de pasta, como una disolución líquida acuosa concentrada. Sin embargo, cuando se aplica ácido fórmico como vapor muy concentrado con pequeñas cantidades de vapor de agua, el ácido fórmico puede recuperarse, reciclarse y reutilizarse en forma concentrada sin necesidad de separar el agua incluida a través de destilación simple, empleando preferiblemente formiato de etilo como agente de separación. En la patente estadounidense n.º 5.562.777 concedida a Farone *et al.* se describen diversos métodos para recuperar y reutilizar el ácido mineral fuerte, ácido sulfúrico. Alternativamente, cualquiera o tanto el/los ácido(s) orgánico(s) débil(es) como el/los ácido(s) mineral(es) fuerte(s) pueden simplemente neutralizarse. En la aplicación de ácido(s) orgánico(s) débil(es) en una fase de vapor concentrada, en particular, la cantidad de tal ácido empleada puede ser insuficiente para justificar el gasto de la recuperación y reciclado, de modo que puede preferirse la neutralización.

Un refinado adicional para simplificar la recuperación del ácido usado en la etapa de hidrólisis con ácido débil en cada una de las alternativas 100, 200 y 300 implicaría preparar la biomasa que conduce a la etapa de hidrólisis con ácido débil como una suspensión acuosa y proporcionar el ácido débil en forma sólida que puede recuperarse mediante filtración. Una zeolita sería un ejemplo de los tipos de sólidos ácidos que podrían usarse.

Los expertos en la técnica apreciarán que aunque se han descrito realizaciones preferidas de la invención en el presente documento, pueden concebirse numerosas variaciones y alternativas de manera similar. Por ejemplo, puede emplearse una hidrólisis enzimática además de o junto con las hidrólisis ácidas a las que se ha hecho referencia para mejorar la eficacia del fraccionamiento de determinadas biomásas. Cuando se usa ensilaje para la biomasa, la fermentación anaerobia de la propia alimentación de ensilaje a lo largo de un periodo de tiempo produce ácido láctico, y este ácido láctico puede usarse como ácido orgánico débil para la hidrólisis inicial o bien solo o bien en combinación con ácidos orgánicos débiles procedentes de otras fuentes.

REIVINDICACIONES

1. Método de procesamiento de una biomasa lignocelulósica, en particular que tiene un contenido en lignina insoluble en detergente ácido del 6 por ciento en peso o mayor, en una base en peso seco, incluyendo la biomasa fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina, que comprende las etapas de:
 - 5 aplicar un ácido orgánico débil a la biomasa para despolimerizar al menos parcialmente los materiales hemicelulósicos y de lignina en la biomasa;
 - 10 secar la biomasa tratada con ácido débil para proporcionar un material con contenido en sólidos suficientemente alto como para transformarse en gránulos;
 - transformar en gránulos el material procedente de la etapa de secado; y
 - 15 enviar el material transformado en gránulos a una segunda ubicación;
 - en la segunda ubicación, recuperar un producto de sólidos celulósicos del material transformado en gránulos; y
 - 20 poner en contacto los sólidos celulósicos así aislados con un ácido mineral fuerte para hidrolizar los mismos y proporcionar un producto o corriente de hexosas.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el producto de sólidos celulósicos se recupera del material transformado en gránulos lavando con disolvente el material transformado en gránulos en una o más iteraciones con filtración, mediante lo cual las hemicelulosas y los materiales de lignina despolimerizados al menos parcialmente procedentes del material transformado en gránulos se separan juntos de los sólidos celulósicos restantes, en particular en una o más iteraciones, lavando los materiales hemicelulósicos y de lignina despolimerizados al menos parcialmente con filtración para separar los sólidos de lignina insolubles en agua de los materiales hemicelulósicos solubles en agua.
3. Método según la reivindicación 1, en el que los materiales hemicelulósicos despolimerizados al menos parcialmente se separan en primer lugar del material transformado en gránulos lavando con agua el material transformado en gránulos en una o más iteraciones con filtración, y posteriormente se separan las ligninas del producto de sólidos celulósicos mediante un lavado con disolvente separado con filtración, también en una o más iteraciones.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, que comprende una etapa de hidrólisis ácida adicional realizada en los materiales hemicelulósicos despolimerizados al menos parcialmente una vez que los mismos se han separado de las ligninas y el producto de sólidos celulósicos, comprendiendo adicionalmente de manera opcional fermentar el producto de la hidrólisis ácida adicional de los materiales hemicelulósicos para producir etanol, lisina, treonina, ácido láctico, glucónico u otros ácidos orgánicos, o hidrogenar e hidrotratar el producto de la etapa de hidrólisis ácida adicional para producir un producto aditivo de combustible para combustibles de transporte.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que las ligninas insolubles en agua se someten a ozonólisis o exposición a uno o más de otros oxidantes, o se queman como combustible, o se suministran a un procedimiento de coquización para obtener un producto de hidrocarburo líquido y coque, o se alimentan a un gasificador para producir un gas de síntesis.
6. Método según la reivindicación 1, que comprende además fermentar el producto o corriente de hexosas para producir etanol, lisina, treonina, ácido láctico, glucónico u otros ácidos orgánicos.
7. Método según la reivindicación 1-6, en el que la biomasa lignocelulósica comprende uno o más de un pasto maduro, residuo de cultivo de cereales por separado o contenido en un ensilaje de cereales, rastrojo de maíz, paja de trigo, paja de cebada, especies de *Miscanthus*, pasto varilla, hierba de Bahía, especies de sorgo, bagazo de caña de azúcar, pasto ovillo, hierba cinta y residuos algodón desmotado.
8. Método según la reivindicación 7, en el que la biomasa lignocelulósica procesada comprende rastrojo de maíz y fibra de maíz.
9. Método según la reivindicación 8, en el que la biomasa lignocelulósica procesada es maíz de planta completa ensilado, y en el que la biomasa se procesa previamente antes de aplicar el ácido orgánico débil, preferiblemente a una concentración de al menos el 50 por ciento, más preferiblemente del 70 por ciento o más, de tal ácido o ácidos en agua para aislar y eliminar al menos un componente del maíz de planta completa ensilado, en particular

en el que se recupera aceite de maíz de la biomasa de maíz de planta completa ensilado antes de que la misma esté en contacto con el ácido orgánico débil o

5 en el que la fracción de hojas de rastrojo de maíz se aísla y se elimina mecánicamente de la biomasa de maíz de planta completa ensilado antes de que la misma esté en contacto con el ácido orgánico débil o

en el que uno o más componentes que tienen un contenido en azufre, nitrógeno o ceniza superior se aíslan y se eliminan mecánicamente de la biomasa de maíz de planta completa ensilado antes de que esté en contacto con el ácido orgánico débil.

10 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que el ácido orgánico débil se aplica en la fase de vapor a una temperatura elevada de 50 grados Celsius o mayor, en particular

15 en el que el ácido orgánico débil es ácido acético o ácido fórmico, y el ácido se aplica a una temperatura de desde 50 grados Celsius hasta 160 grados Celsius, una presión de desde presión atmosférica hasta 3,5 MPa, manométricos, y durante un periodo de tiempo de 30 minutos y más.

20 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que la biomasa tratada con ácido débil se seca hasta un contenido en humedad del 10 por ciento en peso o menos, en particular en el que la biomasa seca se transforma en gránulos sin la adición de un aglutinante adicional.

25 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en el que las etapas de tratamiento con ácido débil, secado o transformación en gránulos se aplican en una pluralidad de ubicaciones para el envío del material transformado en gránulos a una segunda ubicación común.

30 13. Método según la reivindicación 1, que comprende además procesar previamente la biomasa antes de ponerse en contacto con el ácido orgánico débil para aislar y eliminar al menos un componente de la biomasa que es más rico en proteínas y adecuado para su uso en o para un pienso, o que tiene un contenido en azufre, nitrógeno o ceniza superior al deseado.

35 14. Método de procesamiento de una biomasa lignocelulósica que incluye fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina, que comprende las etapas de:

aplicar un ácido orgánico débil a la biomasa para hidrolizar materiales hemicelulósicos y de lignina en la biomasa;

40 en una o más iteraciones, lavar el material tratado con ácido débil con un disolvente o mezcla de disolventes y filtrar para separar materiales hemicelulósicos y de lignina en el filtrado y materiales celulósicos como residuo sólido;

45 secar el residuo sólido para proporcionar un material con contenido en sólidos suficientemente alto como para transformarse en gránulos;

transformar en gránulos el material procedente de la etapa de secado;

50 enviar el material transformado en gránulos a una segunda ubicación; y en la segunda ubicación, poner en contacto los materiales celulósicos así aislados con un ácido mineral fuerte para hidrolizar los mismos y proporcionar un producto o corriente de hexosas.

55 15. Método según la reivindicación 14, en el que el ácido orgánico débil se aplica en la fase de vapor a una temperatura elevada de 50 grados Celsius y mayor, en particular en el que el ácido orgánico débil es ácido acético o ácido fórmico, y el ácido se aplica a una temperatura de desde 50 grados Celsius hasta 160 grados Celsius, una presión de desde presión atmosférica hasta 3,5 MPa, manométricos, y durante un periodo de 30 minutos y más o

en el que el ácido o ácidos orgánico(s) débil(es) se aplica(n) a la biomasa lignocelulósica a una concentración de al menos el 50 por ciento, en particular del 70 por ciento o más de tal ácido o ácidos en agua.

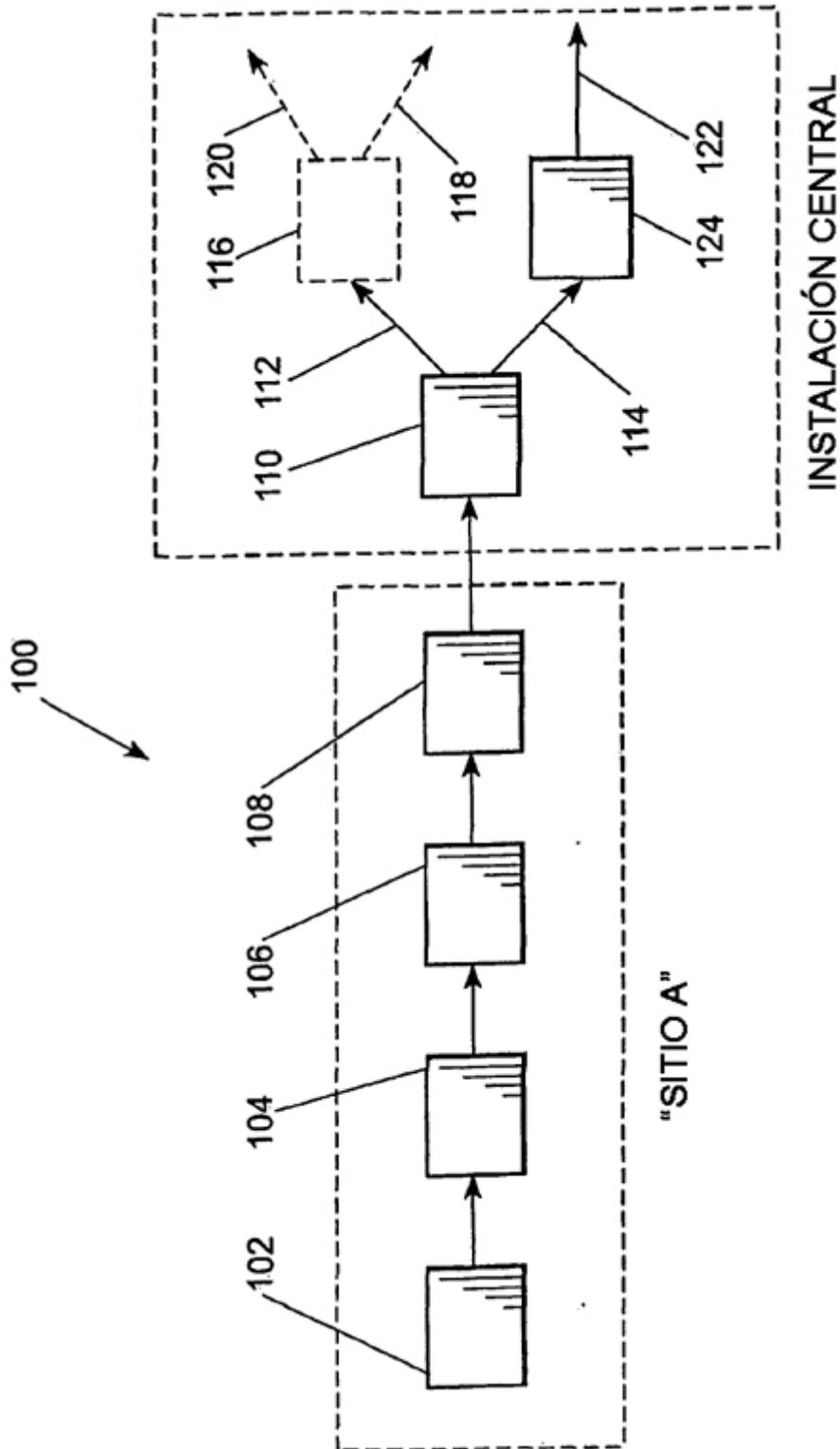


Fig. 1

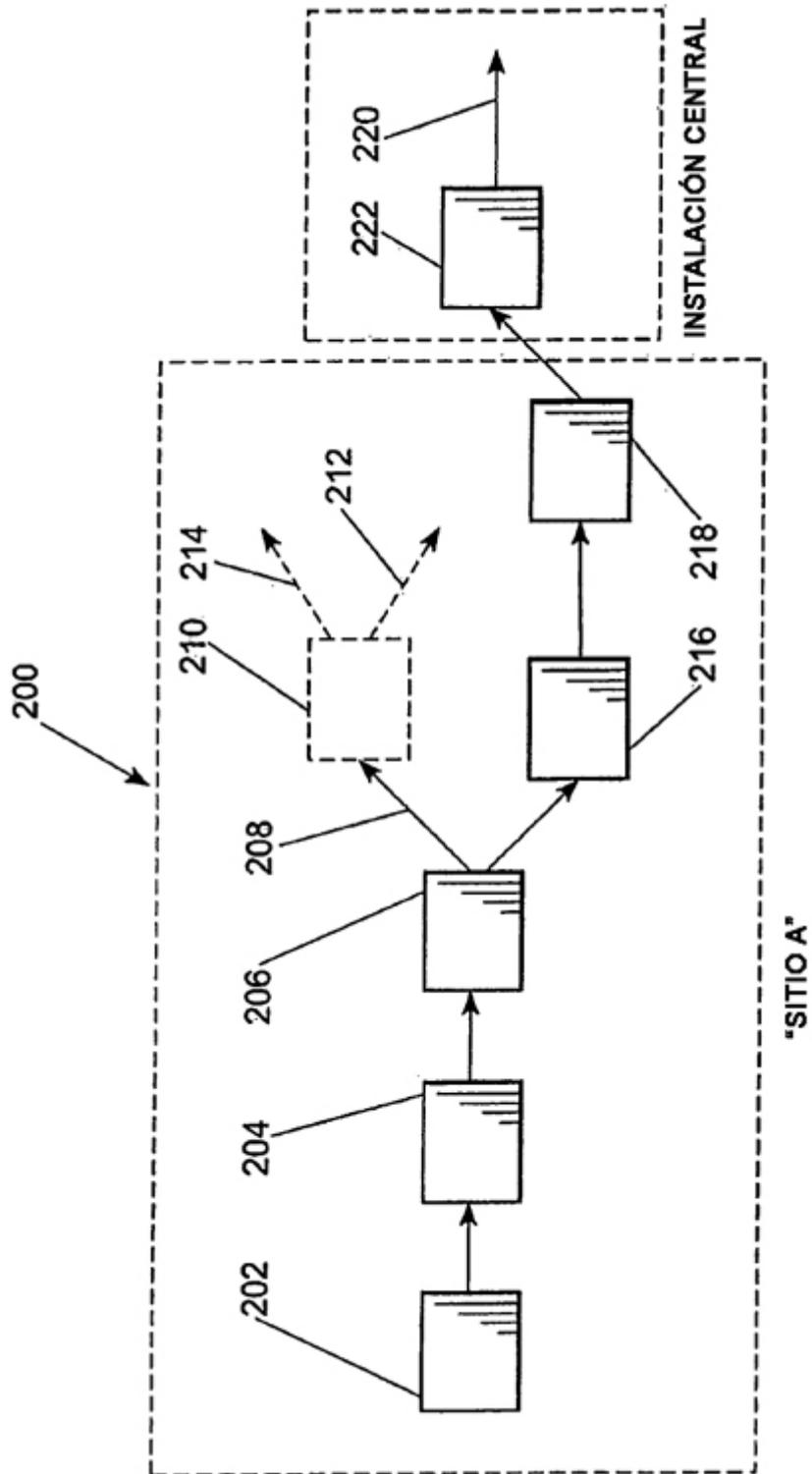


Fig. 2

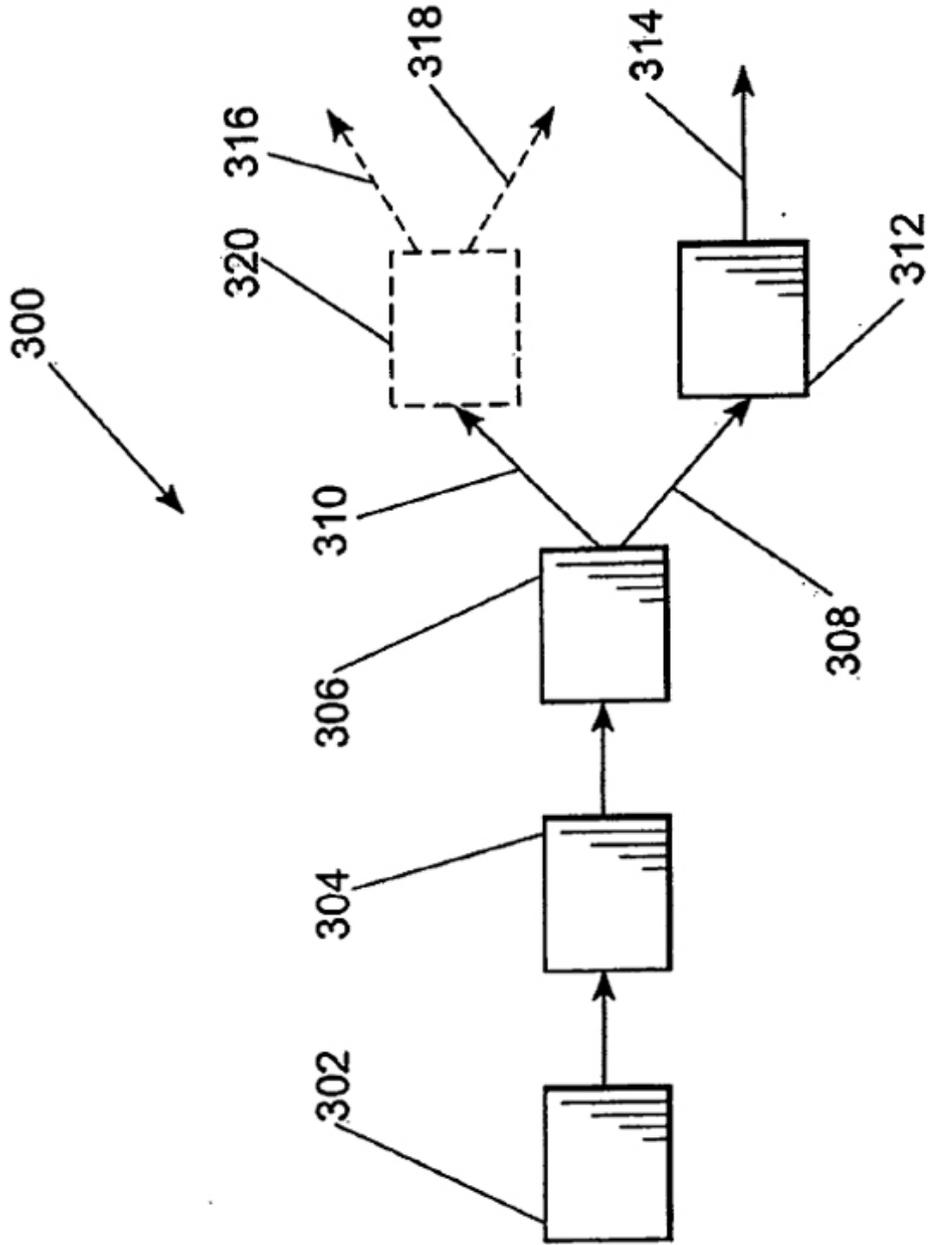


Fig. 3
"SITIO A"