

**PROCESO PARA EL PRETRATAMIENTO CONTINUO DE BIOMASA EN
REACTORES FUNCIONALES**

CAMPO DE LA INVENCION

5

La presente invención se relaciona el proceso para el pretratamiento de biomasa lignocelulósica y la modificación de fibras mediante tratamiento térmico, refinado mecánico y explosión de vapor.

10 RESUMEN

La presente invención hace referencia a proceso de pretratamiento de biomasa lignocelulósica que comprende un Subproceso de preparación de biomasa y alimentación, un subproceso de pretratamiento termoquímico, un subproceso de pretratamiento mecánico y un subproceso de despresurización en donde la biomasa pretratada termoquímica y mecánicamente se despresuriza continuamente.

Esta invención se encuentra relacionada con la solicitud de patente de invención radicada ante la Oficina Colombiana de Patentes bajo el número de solicitud No. 20 NC2017/0007031 dirigida al "Reactor multifuncional para el pretratamiento continuo de Biomasa". Por tanto, la presente invención describe un proceso de pretratamiento continuo de biomasa.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TECNICA

25

Desde hace varios años se ha estudiado la posibilidad de reemplazar los combustibles fósiles por combustibles alternos como lo son el etanol, el biodiesel, gas natural, hidrógeno y propano permitiendo la reducción de óxidos de azufre (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx) que generan los combustibles fósiles.

30

La biomasa es una fuente de combustible que reemplaza combustibles fósiles, como el carbón y los hidrocarburos refinados en procesos industriales. Sin embargo, en el proceso de conversión biológica y química a combustibles y productos químicos, la biomasa lignocelulósica debe ser pretratada, pues es necesario modificarla química y físicamente para que en la etapa siguiente las enzimas

35

5
5

5 puedan convertir en menor tiempo y con la menor carga enzimática, la mayor cantidad de azúcares, así mismo es necesario que en el pretratamiento no haya pérdidas de azúcares, las cuales se dan cuando los procesos de pretratamientos son muy severos. La etapa de pretratamiento es clave ya que de esta etapa depende la topología del proceso y los costos asociados al mismo.

10 En la actualidad los países como Brasil y Estados Unidos son líderes en la investigación de la conversión biológica y química a combustibles y productos químicos a partir de biomasa lignocelulósica, buscando aprovechar de manera sostenible gran parte de los residuos orgánicos reciclables (v.g. madera, sustancias orgánicas, desechos alimenticios que contengan celulosa).

15 En los pretratamientos de biomasa lignocelulósica, se hidroliza la mayor cantidad de hemicelulosa, resultando principalmente azúcares C5 en la fase líquida, útiles para fermentación y producción de etanol, así como es necesario disminuir la recalcitrancia de la celulosa, modificando la pared celular, así como aumentando el área superficial de la biomasa, para que sea más accesible a una posterior hidrólisis enzimática que convierta la celulosa (con menor cristalinidad) en glucosa, lo cual pueda disminuir la carga enzimática, los tiempos de hidrólisis o el incremento en el porcentaje de sólidos, lo cual, impactaría de manera positiva en la tasa interna de retorno del proceso.

La etapa de pretratamiento presenta las siguientes barreras tecnológicas:

- 25 • Baja carga de sólidos en reactores discontinuos, alrededor del 10% al 20% p/p, lo cual, aumenta el tamaño de los reactores debido a la cantidad de agua requerida en el proceso y como consecuencia: aumento de costo de reactores, gran cantidad de agua utilizada que implica también aumento del consumo de energía para llevarla a la temperatura deseada.
- 30 • Necesidad de reducción del tamaño de partícula antes de la etapa de pretratamiento, lo cual incrementa la energía requerida y los costos asociados al incluir una etapa más al proceso.
- 35 • Utilización de ácido sulfúrico como catalizador del pretratamiento: aunque presenta altas velocidades de reacción y remueve y recupera la hemicelulosa, presenta problemas con la corrosión de los equipos y la necesidad de una etapa adicional de neutralización.

- Los pretratamientos en discontinuo, como lo son explosión a vapor, agua líquida caliente, ácido sulfúrico diluido y otros, hacen el rendimiento inherentemente inferior que los procesos continuos debido al tiempo requerido para la carga, calentamiento, reacción, enfriamiento y descarga del reactor.
- Aunque los pretratamientos en discontinuo pueden alcanzar altas presiones de vapor rápidamente, el bajo rendimiento y tiempo de operación incrementa el número de reactores de pretratamiento requeridos, lo cual es costoso y hace el sistema difícil de operar.
- Maximizar el aprovechamiento de los polisacáridos, especialmente los C5 hidrolizados en esta etapa, sin llevarlos hasta furfurales, ya que el rendimiento de etanol producido es clave para hacer el proceso viable, y más aún cuando se hayan superado las barreras tecnológicas en la fermentación de pentosas.

En el estado de la técnica existen diferentes tipos de reactores relacionados con el pretratamiento de biomasa, como los divulgados en los documentos US2011/0081689A1 y US8057639B2.

- El documento **US2011/0081689A1** divulga un mecanismo para el pretratamiento térmico de biomasa que comprende un primer transportador de tornillo que lleva la biomasa a una tolva, posteriormente la biomasa que ingresa en la tolva es transportada por un segundo transportador de tornillo hacia un reactor térmico de alta presión. El segundo transportador de tornillo es cónico (plug feeder, en inglés).
- En el reactor térmico de alta presión se le inyecta a la biomasa vapor sobrecalentado para recuperar el calor perdido por el ambiente. Luego de pasar por el reactor, la biomasa entra en un separador flash donde se separan las fases sólidas y líquidas de los gases, el sólido/líquido que se separa pasa un tercer transportador de tornillo doble, donde se lleva a cabo el proceso de refinación mecánica.

- Sin embargo, el documento se limita a hacer la despresurización de la biomasa antes del proceso de molienda, lo cual implica que las fibras de la biomasa se expandan en el proceso de despresurización pero vuelvan a ser compactadas en el proceso de molienda, lo que conlleva a una oclusión de los poros de la biomasa, que posiblemente requiere un proceso adicional antes de la hidrólisis enzimática,

7
7

además, en el flash, la biomasa se enfría, energía que puede ser útil en el proceso de molienda.

Por otra parte, el documento **US8057639B2** divulga un sistema para el pretratamiento de materias primas de biomasa celulósica que comprende un dispositivo de almacenamiento conectado a la entrada de un primer reactor cuya función es realizar la extracción de la hemicelulosa de la biomasa, que será extraída mediante inyección de agua de lavado. El primer reactor (transportador de tornillo) va conectado a un segundo transportador de tornillo que es cónico (plug feeder, en inglés), que funciona como elemento de sello y de extracción del licor con la hemicelulosa hidrolizada. La biomasa pasa a través del tornillo cónico e ingresa a un segundo reactor, en el cual, la temperatura y presión son mayores de manera que se den las condiciones para la explosión de vapor. Después del segundo reactor, la biomasa se transporta al proceso de molienda por medio de molino de discos y seguidamente a un separador flash.

Sin embargo, el documento menciona dos reactores diferentes de tratamiento termoquímico, lo cual implica mayor gasto energético y también mayor gasto de vapor lo que incrementaría el costo económico cuando se haga la puesta en marcha de una fábrica con estas configuraciones, además, se requieren condiciones extremas de presión y temperatura, sin aprovechar la energía que consume la biomasa en una molienda por medio de molino de discos; así mismo, la molienda se realiza, solo para contribuir a una disminución de tamaño de partícula parcial.

De otra parte, el documento **WO2016094594** reporta métodos, sistemas y composiciones para el pretratamiento de biomasa de una manera rápida, por ejemplo, en segundos en donde se favorece la baja formación de inhibidores. El proceso de pretratamiento se usa para convertir la biomasa en un combustible u otros químicos útiles al someter la materia prima a un tiempo de retención rápido bajo presión y temperatura y/o reactivo químico. El sistema incluye un aparato de descarga de válvula de funcionamiento continuo para descargar la materia prima pre-tratada mientras se mantiene una presión uniforme sobre el sistema de pretratamiento.

En este documento, en los métodos para pretratar al menos una tonelada seca de biomasa por día, se involucran las etapas de (a) alimentar la biomasa

8

continuamente por día en un sistema de extrusión que comprende un cañón que define una cámara interna que comprende una zona de alimentación y una zona de reacción; y (b) tratar la biomasa a una temperatura y presión elevadas dentro de la zona de reacción durante menos de 20 segundos para producir una composición de biomasa pre-tratada que comprende una fracción líquida que comprende monosacáridos y partículas sólidas de celulosa. El sistema de extrusión comprende además uno o más tornillos giratorios configurados para mover la biomasa a través del sistema de extrusión desde la zona de alimentación y a través de la zona de reacción. En algunas realizaciones, el uno o más tornillos giratorios comprenden una o más secciones que están configuradas para formar uno o más tapones de la biomasa para separar la cámara interna en dos o más zonas, que incluyen la zona de alimentación y la zona de reacción.

La invención **WO2015/17869** proporciona un proceso para producir azúcares fermentables a partir de biomasa, que comprende las etapas de una preparación de una mezcla de biomasa y enzima de (i) biomasa lignocelulósica pretratada que contiene celulosa y/o hemicelulosa y (ii) una composición enzimática que comprende enzimas celulasa y/o hemicelulasa; una primera sacarificación de la mezcla de biomasa y enzima durante un tiempo suficiente para lograr la hidrólisis de al menos aproximadamente 10% de la celulosa y/o hemicelulosa y producir biomasa parcialmente hidrolizada e hidrolizado de licor; luego, comprende la etapa de tratamiento mecánico de la biomasa parcialmente hidrolizada para producir biomasa parcialmente hidrolizada y alterada mecánicamente; y una segunda sacarificación de la biomasa parcialmente hidrolizada interrumpida mecánicamente durante un tiempo suficiente para lograr la hidrólisis de 60% a 100% de la celulosa y/o hemicelulosa presente en la biomasa lignocelulósica pre-tratada hacia azúcares fermentables.

El tratamiento mecánico se selecciona del grupo que consiste en refinado, molienda, trituración, trituración, trituración, extrusión, batido o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, el tratamiento mecánico puede ser refinado conducido para proporcionar una energía de refinación de 50 a 500 kWh por tonelada seca de biomasa. El documento enseña que se lleva a cabo una etapa de separación de líquidos sólidos después del primer paso de sacarificación y antes del paso de tratamiento mecánico. En otras realizaciones, la biomasa parcialmente hidrolizada tratada mecánicamente se recombina con el licor hidrolizado recogido de la separación sólido-líquido antes de la segunda sacarificación.

9
9

El documento **US2012329116** proporciona un proceso de pretratamiento de biomasa lignocelulósica el cual incluye las etapas de pretratar la biomasa hasta hidrolizarla y solubilizar la hemicelulosa, luego descomponer de manera explosiva la biomasa en fibras, y extraer de la fracción de sólidos resultantes una porción líquida de la biomasa lignocelulósica antes o después de la descomposición explosiva. Con esto se remueve los compuestos que son inhibidores para la hidrólisis enzimática de celulosa y la fermentación de azúcar a etanol.

Esta invención, enseña que la conversión bioquímica de biomasa lignocelulósica hasta etanol, en general, implica cinco pasos básicos (1) Preparación: la biomasa objetivo se limpia y se ajusta según el tamaño y el contenido de humedad; (2) exposición previa al tratamiento de la biomasa bruta a presión y temperatura elevadas durante un tiempo especificado; con o sin aditivos catalizadores para hidrolizar la hemicelulosa; (3) hidrólisis de celulosa - conversión de la celulosa en la biomasa pre-tratada a azúcares simples usando preparaciones enzimáticas especiales para hidrolizar los polisacáridos de la pared celular vegetal pre-tratados hasta una mezcla de azúcares simples; (4) Fermentación, mediada por bacterias o levaduras, para convertir estos azúcares en combustibles tales como etanol; y (5) destilación y deshidratación del etanol/combustible.

Sin embargo, estos tres documentos mencionan sistemas diferentes de tratamiento termoquímico, en donde no hay alistamiento de la biomasa, lo cual implica mayor gasto energético y se requieren condiciones extremas de presión y temperatura.

Por otra parte la patente **US2009221814**, reporta un sistema para pretratar material de alimentación de biomasa celulósica que incluye: un primer reactor presurizado que recibe el material de alimentación, en el que el material de alimentación se hidroliza; un dispositivo de sellado que tiene un primer acoplamiento presurizado a un orificio de descarga de materia prima del primer reactor presurizado, y un segundo acoplamiento presurizado a un segundo reactor presurizado; un drenaje para un líquido que incluye material hemicelulósico disuelto y extraído del material de alimentación en al menos uno del primer reactor presurizado y el dispositivo de sellado y extracción; el segundo conjunto de reactor presurizado que recibe el material de alimentación presurizado del dispositivo de sellado a una presión sustancialmente mayor que la presión en el primer reactor presurizado y un

dispositivo de expansión corriente abajo en el que el dispositivo de expansión libera rápidamente la presión del material de alimentación descargado desde el segundo reactor presurizado de manera que el material de alimentación experimenta una reacción de explosión de vapor.

5

Aunque existen similitudes, como en el pretratamiento que se realiza un alistamiento de la biomasa con ácido, entre otras sustancias, adicionalmente la temperatura del reactor presurizado está entre 110 y 160 °C. Sin embargo, las principales diferencias esta que esta patente no reporta que el alistamiento de la biomasa sea
10 tipo impregnación con temperatura; además, no reporta condiciones similares para pretratamientos combinados: termoquímico; prensado y mecánico.

Adicionalmente, cabe mencionar que la actual producción de etanol celulósico en Estados Unidos (país líder en el desarrollo de estas tecnologías) proviene de las
15 empresas POET y DUPONT generalmente, operando sólo cerca de un 10 % de su capacidad, debido a que las tecnologías son complejas, presentando demoras en la puesta en marcha y hasta el momento no han alcanzado la capacidad proyectada.

POET utiliza un pretratamiento combinado patentado por Andritz (US 8597431 B2),
20 el cual utiliza un pretratamiento inicial denominado prehidrólisis (Temperatura 130°C-170°C, 30-60 min) donde solubilizan gran parte de la hemicelulosa, una separación líquido/sólido y un segundo pretratamiento de explosión a vapor (Temperatura 180°C-225°C, 1-3 min) a los sólidos obtenidos en la etapa de separación. Las etapas de pretratamiento involucradas en el proceso son dos, una
25 etapa de separación solido/líquido, una etapa intermedia de impregnación de biomasa, tres sistemas de alimentación a lo largo del proceso, además de un sistema de desagüe de la solución restante utilizada para la impregnación.

DUPONT adoptó la tecnología desarrollada por NREL (US 7932063 B2), la cual
30 utiliza un pretratamiento con amonio (que es utilizado como fuente de nitrógeno, nutriente para la etapa de fermentación); las condiciones operacionales varían en un rango de 4°C a 200°C y tiempos de operación oscilan entre 25 horas y 5 minutos (la temperatura es inversamente proporcional al tiempo). El gas de amonio residual del proceso, debe ser evacuado y reciclado.

35

Por lo tanto, el estado de la técnica no divulga un proceso en donde se evite el uso dos o más reactores para el pretratamiento de la misma.

Contrario a las tecnologías mencionadas anteriormente, el proceso propuesto,
5 integra los pretratamientos: químico, térmico y mecánico en una sola etapa logrando así una sinergia entre ellos que permite:

- La suficiente reducción del tamaño de partícula, proceso que incrementa el área superficial de las fibras de biomasa.
- 10 - La mínima producción de compuestos inhibidores que interfieren en la etapa de fermentación posterior ;
- Una mayor producción de azúcares reductores con una menor concentración de enzima.
- Reducción del tiempo de contacto de la enzima con la biomasa pretratada
15 en la siguiente etapa, el cual representa el mayor tiempo de residencia de toda la cadena de proceso.
- Disminuye los requerimientos de energía térmica y de tiempo comparado con el caso de pretratamiento con ácido diluido.
- El pretratamiento mecánico, a pesar de aumentar los consumos de energía eléctrica, disminuye los tiempos de reacción del ácido con la fibra y aumenta
20 el área de exposición de las fibras de la biomasa ante la acción enzimática.
- La eliminación de los costos relacionado con etapas intermedias.

25 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención corresponde a un un proceso para el pretratamiento en continuo de biomasa en un reactor multifusional.

30 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La FIG. 1 corresponde a un diagrama del proceso de pretratamiento continuo de biomasa.

35 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Se entenderá en la presente invención que biomasa es cualquier material que contenga lignina, celulosa y hemicelulosa. Por ejemplo, bambú, materiales orgánicos, cáscaras de cítricos, salvado de arroz, bagazo de caña, reciclado de papel, fibra de maíz, material vegetal, cereales, hidratos de carbono, almidón, trigo, 5 paja de trigo, henequén, sisal, algodón, residuos de industria agrícola y maderera en general, maderas duras, tales como álamo y abedul, maderas blandas tales como madera de pino, pasto varilla, paja de cereal y/o vainas, tales como paja de arroz, trigo, centeno de cebada etc., residuos sólidos urbanos (RSU), residuos orgánicos industriales, astillas de madera, bagazo, papel o residuos de tratamiento 10 de pulpa o mezclas derivadas y otros.

En una modalidad de la invención, se suministra biomasa impregnada con una solución que puede ser agua, una solución ácida o básica. La solución sirve para realizar un proceso de hidrólisis, el cual busca transformar las cadenas de 15 polisacáridos que forma la biomasa en monómeros, para posteriormente convertir dichos monómeros en biocombustible, por ejemplo, gas de síntesis, etanol, bioaceite y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, la solución es agua. 20

En una modalidad de la invención, la solución es básica. La solución básica contiene una base fuerte, por ejemplo, hidróxido de sodio, hidróxido de amonio, hidróxido de potasio, hidróxido de bario, hidróxido de litio, hidróxido de berilio, hidróxido de magnesio, hidróxido de calcio, o combinaciones de los mismos. 25

En una modalidad de la invención, la solución es una solución básica concentrada.

En otra modalidad de la invención, la solución es una solución básica diluida.

30 En una modalidad de la invención, la solución es ácida, y es una solución ácida diluida, donde el ácido se selecciona entre ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido fórmico.

En una modalidad de la invención, la solución es ácida, y es una solución ácida 35 concentrada, donde el ácido, se selecciona entre ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido fórmico.

En una modalidad de la invención, el proceso funciona de manera continua y con una capacidad de procesamiento que puede ser: 2kg/h, 4kg/h, 6kg/h, 8kg/h, 10kg/h, 15kg/h, 20kg/h, 25kg/h, 30kg/h, 35kg/h, 40kg/h, 45kg/h, o 50kg/h.

5

La invención hace referencia al proceso para la producción de azúcares el cual incluye un pretratamiento en donde dicho pretratamiento permite obtener una fibra pre-tratada con una superficie amorfa altamente reactiva para una posterior hidrólisis enzimática con condiciones de operación menos severa por etapa y

10

reducir los costos asociados con la etapa de pretratamiento.

El proceso de la presente invención que involucra el pretratamiento, incluye las etapas de:

1. Subproceso de preparación de biomasa y alimentación:

15

-La biomasa es impregnada con ácido sulfúrico diluido antes de ingresar al proceso de pretratamiento con temperaturas de operación en un rango de 50-80°C por un tiempo de 1 a 3 horas, con la finalidad de facilitar la difusión y mezclado uniforme del catalizador ácido en la biomasa lignocelulósica, con un porcentaje (%) de sólidos de 10% y concentraciones de ácido entre 0.5-

20

3% p/p con respecto a la biomasa seca.

- Por medio del prensado se aumenta el % de sólidos del 10% hasta un 25 % aproximadamente.

- La biomasa impregnada con ácido sulfúrico diluido es alimentada al sistema, donde aumenta el % de sólido de 10% de sólidos hasta un rango de 40% -70% de sólidos, mediante la extracción de la solución residual por medio de la compresión de la biomasa, la cual tiene como función adicional asegurar el sello para no permitir la salida de vapor del sistema.

25

- La solución acida extraída del sistema puede ser adecuada y utilizada nuevamente.

30

- En este subproceso se asegura la alimentación continua de la biomasa impregnada al proceso de pretratamiento combinado de biomasa lignocelulósica, factor clave para mantener las condiciones estables en el proceso.

2. Subproceso de pretratamiento termoquímico:

- La biomasa prensada impregnada ingresa a la zona de pretratamiento termoquímico donde es mezclada con vapor saturado en un rango de temperatura de 120°C a 160°C, en un rango de tiempo de 1-10 min. El % de sólidos en esta zona disminuye a un rango de 30-20%.
- En este subproceso, se lleva a cabo el cambio en la composición de la biomasa, solubilizando parte de la hemicelulosa, lo cual debilita la estructura lignocelulósica mejorando la accesibilidad enzimática.
- La severidad requerida del subproceso de pretratamiento es menor, ya que utilizan temperaturas y tiempos de operación más bajos que los métodos convencionalmente utilizados, lo cual, disminuye la formación de compuestos inhibidores.

3. Subproceso de pretratamiento mecánico:

- La biomasa pretratada termoquímicamente ingresa a la zona adyacente de pretratamiento mecánico, donde las fibras y microfibrillas de la biomasa se someten a un proceso de compresión y de molienda, cortándolas transversal y longitudinalmente (fibrilación externa) y por compresión (fibrilación interna), disminuyendo el tamaño de partícula y contribuyendo al incremento del área superficial accesible para las enzimas. El contenido de sólidos disminuye a un rango de 30-20%.
- Debido a que la biomasa ha sido suavizada en el subproceso termoquímico, los requerimientos energéticos son menores y el efecto de incremento de la accesibilidad enzimática es mayor.

4. Subproceso de despresurización:

- La biomasa pretratada termoquímica y mecánicamente se despresuriza continuamente, permitiendo su salida junto con una fracción de vapor, manteniendo la presión constante en la zona de tratamiento termoquímico y mecánico.
- En este subproceso parte del vapor se condensa dentro los poros de la biomasa incrementando el tamaño del poro de la misma lo que genera un efecto positivo para la digestibilidad enzimática.

- Como parte de la despresurización se genera una corriente en fase de vapor que se conduce a una etapa de enfriamiento después de la cual, los condensados son recolectados

5 Este proceso de producción de azúcares que incluye el pretratamiento de la biomasa, combina tres tipos de pretratamiento en un solo paso, logrando menor severidad en condiciones de temperatura, tiempos de residencia y tamaño de los reactores en las etapas posteriores de hidrólisis enzimática gracias al menor consumo de enzima como se muestra en la figura 1.

10

Por lo tanto, la presente invención cubre un proceso de pretratamiento de biomasa lignocelulósica que comprende.

1. Subproceso de preparación de biomasa y alimentación, en donde la biomasa es impregnada con ácido sulfúrico diluido antes de ingresar al proceso de pretratamiento con temperaturas de operación en un rango de 50-80°C por un tiempo de 1 a 3 horas con un porcentaje (%) de sólidos de 10% y concentraciones de ácido entre 0.5-3% p/p con respecto a la biomasa seca, en donde la biomasa impregnada aumenta el porcentaje de sólidos de 10% de sólidos hasta un rango de 40% -70% de sólidos, mediante la extracción de la solución residual por medio de la compresión de la biomasa;

2. Subproceso de pretratamiento termoquímico en donde la biomasa prensada impregnada ingresa a la zona de pretratamiento termoquímico donde es mezclada con vapor saturado en un rango de temperatura de 120°C a 160°C, en un rango de tiempo de 1-10 min y en donde el porcentaje de sólidos en esta zona disminuye a un rango de 30-20%.

3. Subproceso de pretratamiento mecánico en donde la biomasa pretratada termoquímicamente ingresa a la zona adyacente de pretratamiento mecánico, donde las fibras y microfibrillas de la biomasa se someten a un proceso de compresión y de molienda, cortándolas transversal y longitudinalmente (fibrilación externa) y por compresión (fibrilación interna), disminuyendo el tamaño de partícula y contribuyendo al incremento del área superficial accesible para las enzimas y en donde el contenido de sólidos disminuye a un rango de 30-20%.

4. Subproceso de despresurización en donde la biomasa pretratada termoquímica y mecánicamente se despresuriza continuamente, permitiendo su

salida junto con una fracción de vapor, manteniendo la presión constante en la zona de tratamiento termoquímico y mecánico.

Además el proceso planteado en la presente solicitud resuelve los siguientes problemas técnicos:

5 1. El proceso se lleva a cabo en una sola etapa, lo cual reduce tiempos de operación y simplifica el proceso ya que no requiere etapas intermedias (ej. descarga y alimentación a la etapa intermedia)

10 2. El proceso permite lograr menor temperatura de operación 120°C-160°C (los pretratamientos utilizados en la actualidad operan en su mayoría con temperaturas en un rango de 150°C-220°C) en la zona termoquímica, lo que reduce la severidad del pretratamiento, produciendo menos inhibidores (furfural y fragmentos fenólicos de la lignina) los cuales disminuyen el rendimiento en la fermentación y por ende causa menor producción de etanol.

15 3. El proceso opera de manera continua, lo cual implica mayor productividad volumétrica y equipos de menor tamaño, las condiciones del proceso son más estables en el tiempo comparado con un proceso discontinuo y hay una mayor homogeneidad en la calidad de la biomasa pretratada.

20 4. El proceso de molienda desarrollado mezcla los siguientes efectos sobre las fibras tratadas:

25 i. Fibrilación interna: las altas fuerzas de compresión dentro del proceso de molienda generan la ruptura de los enlaces internos que están entre las fibrillas celulósicas, entre las fibrillas y la hemicelulosa, entre la celulosa y la lignina y entre la hemicelulosa y la lignina, proceso que causa que la estructura del poro dentro de la pared celular se expanda e hinche.

30 ii. Fibrilación externa: Incrementa el área superficial de las fibrillas mediante la remoción de las microfibrillas de capas externas de la superficie de las

fibras efecto producido por las múltiples zonas de cortes a través de las cuales debe pasar la biomasa.

iii. Formación de finos y reducción de longitud de las fibras: Resultado de la fibrilación externa y cortes de las fibras, se favorece la separación de las fibras
5 que influye ampliamente en el área superficial de la biomasa.

iv. Cristalinidad de la celulosa: La cristalinidad decrece por el alto grado de desfibrilación de la biomasa, por ende facilita el ataque enzimático.

v. Redistribución de la composición química de la superficie de las fibras: La composición química de la superficie de las fibras cambia durante la
10 molienda y permite alta exposición de los polímeros de carbohidratos a las enzimas en la etapa posterior. vi. Destrucción parcial de la pared celular:

5. La despresurización se encuentra al final del pretratamiento combinado mediante una salida lenta y suave de la biomasa a presión atmosférica, según
15 estudios de Brownell, 1986, las fibras tratadas con vapor con una descompresión lenta son más fácilmente hidrolizadas que las fibras tratadas con explosión a vapor.

6. La combinación de los dos procesos de pretratamiento termoquímico y mecánico en el proceso permiten obtener una sinergia positiva que mejora
20 notablemente la calidad de la biomasa pretratada, sumando los efectos resultantes de los dos tipos de pretratamientos a menores condiciones de severidad y gasto energético:

i. Pretratamiento termoquímico: hidroliza parte de la hemicelulosa y libera azúcares simples (monómeros) y oligómeros de la matriz de la pared celular
25 en el hidrolizado, esta remoción de hemicelulosa incrementa la porosidad, mejorando la digestibilidad enzimática y debilita la estructura lignocelulósica, haciendo la biomasa más blanda para el posterior proceso de pretratamiento mecánico, favoreciendo la eficiencia energética del proceso.

ii. La fracción de hemicelulosa solubilizada contiene alta fracción de
30 azúcares tipo pentosa, que pueden ser convertidos a etanol mediante la selección de una cepa apropiada.

18
18

iii. Pretratamiento mecánico (molienda y despresurización): incrementa el área superficial y la porosidad de la biomasa, ya que en el segundo proceso de pretratamiento se realiza una molienda y despresurización lenta que agregan efectos de desfibrilación interna y externa de las fibrillas de celulosa, logrando disminuir la severidad del primer proceso pretratamiento, debido a que requiere temperaturas bajas y tiempos bajos de operación, integrando el efecto sinérgico del proceso, que aumenta notablemente la accesibilidad enzimática reduciendo los costos relacionados con el consumo energético de la etapa de molienda.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por el capítulo reivindicatorio.

EJEMPLO.

Proceso que se lleva a cabo con una materia prima de bagazo de caña, en una concentración de ácido de 1% H2SO4 y una impregnación de tiempo de 2 horas y una temperatura de 80°C, en el que se presenta el porcentaje de conversión glucano y que evidencia que la mejor alternativa es el proceso que combina el tratamiento ácido, término y mecánico.

