

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 611**

51 Int. Cl.:

**C13K 13/00** (2006.01)

**C10L 1/182** (2006.01)

**C13K 1/02** (2006.01)

**D21C 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2012 PCT/CA2012/050481**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.01.2013 WO13010271**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2012 E 12814550 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 2732055**

54 Título: **Acondicionamiento de biomasa para la liberación mejorada de azúcares C5/C6 antes de la fermentación**

30 Prioridad:  
**15.07.2011 US 201161508407 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.03.2017**

73 Titular/es:  
**GREENFIELD SPECIALTY ALCOHOLS INC.  
(100.0%)  
20 Toronto Street, Suite 1400  
Toronto, ON M5C 2B8, CA**

72 Inventor/es:  
**DOTTORI, FRANK, A.;  
BENSON, ROBERT, ASHLEY, COOPER y  
BENECH, RÉGIS-OLIVIER**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 606 611 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

Acondicionamiento de biomasa para la liberación mejorada de azúcares C5/C6 antes de la fermentación

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al acondicionamiento de biomasa lignocelulósica como parte de un proceso de producción bioquímica de etanol, en particular al acondicionamiento antes del pretratamiento para la degradación y eliminación de hemicelulosa.

10

**Antecedentes y descripción del estado de la técnica**

Hay una demanda creciente para combustibles de transporte hechos de materias primas renovables. Estos combustibles renovables desplazan a los combustibles fósiles produciendo una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, junto con otros beneficios (1-3). Los biocombustibles incluyen etanol combustible. El etanol combustible se produce a partir de biomasa convirtiendo el almidón o celulosa a azúcares, fermentando los azúcares a etanol, y después destilando y deshidratando el etanol para crear un combustible de alto octanaje que puede sustituir en todo o en parte a la gasolina.

15

20

En América de Norte, la materia prima para la producción de etanol combustible es principalmente maíz, mientras que en Brasil se usa caña de azúcar. Hay desventajas para usar potenciales plantas alimenticias o de pienso para producir combustible. Además, la disponibilidad de tales materias primas está limitada por el área disponible global de tierra agrícola adecuada. Por tanto, se están haciendo esfuerzos para generar etanol de fuentes no alimenticias, tal como celulosa, y de cultivos que no requieren tierra agrícola fundamental, por ejemplo, miscanthus. La celulosa es uno de los materiales orgánicos más abundantes en la tierra. Está presente en muchas formas de biomasa, incluyendo residuos agrícolas como rastrojos de maíz y mazorcas de maíz, residuos de madera y otros materiales vegetales. La celulosa es un polímero de glucosa, como es al almidón. Sin embargo, el aislamiento de celulosa reactiva de biomasa lignocelulósica y la hidrólisis a monómeros de azúcares C6 tiene sus retos. Una fuente no alimenticia de azúcares C6 es la biomasa lignocelulósica.

25

30

La biomasa lignocelulósica se puede clasificar en cuatro categorías principales: (1) residuos de madera (serrín, corteza u otros), (2) residuos de papel municipales, (3) residuos agrícolas (incluyendo rastrojos de maíz, mazorcas de maíz y bagazo de caña de azúcar), y (4) cultivos dedicados a la energía (que están compuestos principalmente de hierbas leñosas altas que crecen rápido tal como pasto varilla y miscanthus).

35

La biomasa lignocelulósica está compuesta de tres polímeros principales que hacen las paredes de la célula vegetal: celulosa, hemicelulosa y lignina. Las fibras de celulosa, que contienen solo glucosa anhidra (azúcar C6), están encerradas en una estructura rígida de hemicelulosa y lignina. La lignina y las hemicelulosas forman complejos químicamente unidos que se unen a hemicelulosas solubles en agua en un haz tridimensional, cementadas juntas por lignina. La lignina cubre las microfibrillas de celulosa y las protege de degradación enzimática y química. Estos polímeros proporcionan paredes de células vegetales con fuerza y resistencia a la degradación, lo que hace la biomasa lignocelulósica un reto para uso como sustrato para la producción de biocombustibles.

40

45

Las hemicelulosas son polisacáridos e incluyen xilano, glucuronoxilano, arabinoxilano, glucomanano y xiloglucano, que contienen todos muchos monómeros de azúcares C5 o C6 diferentes. Por ejemplo, además de glucosa, los monómeros de azúcar en la hemicelulosa pueden incluir xilosa, manosa, galactosa, ramnosa, y arabinosa. Las hemicelulosas contienen la mayoría de azúcares D-pentosa y ocasionalmente pequeñas cantidades de L-azúcares también. La xilosa es siempre el monómero de azúcar presente en la mayor cantidad, que es por lo que el contenido de hemicelulosa con frecuencia se expresa en términos de contenido equivalente de xilosa, como se discutirá posteriormente. La xilosa es un monosacárido de tipo aldopentosa, que significa que contiene cinco átomos de carbono (azúcar C5) e incluye un grupo funcional aldehído. La celulosa es cristalina, fuerte y resistente a hidrólisis, mientras que la hemicelulosa tiene una estructura amorfa, aleatoria con poca fuerza y se hidroliza fácilmente por ácido o base diluidos, o por enzimas hemicelulasas.

50

55

Hay dos enfoques principales a la producción de etanol combustible a partir de biomasa: termoquímico y bioquímico. Los procesos termoquímicos convierten la biomasa a un gas reactivo llamado sintegas. El sintegas se convierte a alta temperatura y presión a etanol mediante una serie de procesos catalizados. Los procesos bioquímicos usan biocatalizadores llamados enzimas para convertir el contenido de celulosa a azúcares (C5 y C6), que después se fermentan a etanol y otros combustibles tal como butanol. Los procesos bioquímicos generalmente explotan la diferente susceptibilidad a hidrólisis de hemicelulosa y celulosa, hidrolizando la hemicelulosa y celulosa en diferentes pasos.

60

65

La conversión bioquímica de biomasa lignocelulósica a etanol en general implica cinco pasos básicos (1) preparación – la biomasa diana se limpia y ajusta por tamaño y contenido en humedad; (2) pretratamiento – exposición de la biomasa cruda a presión y temperatura elevadas durante una duración especificada; con o sin aditivos catalizadores para hidrolizar la hemicelulosa por separado de la celulosa; (3) hidrólisis de celulosa –

conversión de la celulosa en la biomasa pretratada a azúcares C6 simples usando preparaciones de enzimas especiales para hidrolizar los polisacáridos de la pared celular vegetal pretratados; (4) fermentación, mediada por bacterias o levaduras, para convertir estos azúcares a combustible tal como etanol; y (5) destilación y deshidratación del etanol/combustible.

5 Ciertos métodos de pretratamiento emplean aditivos, tal como ácidos, para catalizar la hidrólisis de hemicelulosa y/o álcalis para eliminar la lignina. Estos aditivos, así como muchos de los productos de degradación que generan durante el proceso de pretratamiento, tal como lignina y algunos derivados solubles de lignina, son tóxicos para levaduras, o inhiben la hidrólisis o ambos. Además, todas las formas de biomasa lignocelulósica tienen algún nivel  
10 de esteroides, ácidos grasos, éteres y otros extractores que también pueden ser inhibidores.

15 Un enfoque para abordar el efecto inhibitorio de estas sustancias es el uso de condiciones de pretratamiento más rigurosas, que se pueden, por ejemplo, adaptar para hidrolizar y degradar eficazmente la hemicelulosa a tal nivel que permanecen muy poca xilosa y xilooligosacáridos para interferir con las enzimas de celulosa. Sin embargo, este enfoque crea otra desventaja significativa en que produce degradación significativa de celulosa, que después reduce el rendimiento de glucosa y finalmente el rendimiento de etanol, con frecuencia creando una reducción comercialmente significativa de la eficacia global del proceso de etanol, incluso en ausencia virtual de compuestos  
20 inhibidores.

25 En otro enfoque se usan xilanasas para hidrolizar por completo los oligómeros de xilano a xilosa y reducir el efecto inhibitorio de estos oligómeros. Sin embargo, aunque este enfoque es de alguna manera eficaz, produce altos niveles de xilosa que es ella misma un inhibidor. Además, los otros compuestos inhibidores generados en el paso de pretratamiento a partir de la descomposición de la hemicelulosa están todavía presentes. Por tanto, aunque el rendimiento global es mejor, al final este enfoque no es comercialmente viable debido al coste añadido de las xilanasas y el coste de niveles de celulosa elevados aún requeridos debido a las otras sustancias inhibitorias.

30 Todos los procesos de pretratamiento, generalmente producen degradación significativa de la biomasa, en particular el componente de hemicelulosa, lo que produce la generación de varios azúcares C5 y otros productos de degradación de hemicelulosa. Los productos de descomposición de hemicelulosa tal como ácido fórmico, furfural e hidroximetilfurfural, etc., se producen durante el pretratamiento que se lleva a cabo e inhiben los procesos de hidrólisis y fermentación. Por tanto, estos productos de descomposición de hemicelulosa reducen la eficacia de las enzimas que hidrolizan celulosa, requiriendo de esta manera el uso de niveles aumentados de enzima añadida, cuyo coste es un factor importante en proporcionar un proceso comercial rentable.

35 Los productos de degradación inhibitorios para los procesos posteriores de fermentación de celulosa y/o azúcar habitualmente se separan de la biomasa antes de la hidrólisis de la celulosa, para minimizar cualquier potencial efecto inhibitorio sobre el rendimiento de etanol. Sin embargo, aunque el rendimiento global de etanol se podría mejorar significativamente si los azúcares C5 que se originan de la hemicelulosa también se pudieran usar en el paso de fermentación de azúcar, separar los azúcares C5 de la corriente de productos de degradación de  
40 hidrocélulosa inhibitorios eliminados es de coste elevado y antieconómico. Por tanto, se desea un proceso eficaz y económico que aumente el rendimiento de azúcares C5 y C6 en un proceso de producción de biocombustible lignocelulósico convencional.

45 El documento US2010/269990 A1 divulga un proceso para separar los componentes de biomasa lignocelulósica para el fin de producir celulosa reactiva pura.

### Compendio de la invención

50 Ahora es un objeto proporcionar un proceso de producción de biocombustible mejorado usando biomasa lignocelulósica.

55 En particular, la invención proporciona una mejora en un proceso para la recuperación de azúcares C5/C6 a partir de biomasa lignocelulósica para la fermentación a etanol, que incluye los pasos de pretratamiento de la biomasa con vapor a temperatura y presión elevadas, recogida de azúcares C5 de la degradación de hemicelulosa, hidrólisis de celulosa y recogida de azúcares C6 de la degradación de celulosa. La mejora reside en el paso adicional de acondicionamiento de la biomasa antes del paso de pretratamiento calentando la biomasa con vapor durante un periodo de tiempo de entre 5 minutos hasta 60 minutos para alcanzar una biomasa tratada con vapor que tiene una temperatura de aproximadamente 80 a 100°C; eliminar una corriente líquida que contiene resinas, aceites, ácidos grasos u otros inhibidores de hidrólisis o fermentación posteriores estrujando la biomasa calentada con vapor a una  
60 relación de compresión de 2-1 a 6-1; y después del paso de estrujar la biomasa calentada con vapor y eliminación de la corriente líquida, ajustar un contenido en humedad de la biomasa calentada con vapor y estrujada a aproximadamente el 60% al 80% añadiendo agua, o agua y un catalizador seleccionado por el usuario deseado para el proceso de pretratamiento, en donde el catalizador es ácido y varía en concentración desde entre el 0 y 5% en volumen. El pretratamiento incluye los pasos de calentar la biomasa con vapor durante un periodo de tiempo de entre 5 minutos a 60 minutos, preferiblemente de 10 a 60 minutos, más preferiblemente de 10 a 30 minutos, incluso  
65 más preferiblemente de 15 a 30 minutos, lo más preferiblemente aproximadamente 20 minutos, para lograr una

biomasa tratada con vapor que tiene una temperatura de entre 80°C a 100°C; y ajustar el contenido en humedad de la biomasa tratada con vapor a entre el 45% al 80%, preferiblemente del 55% al 80%, más preferiblemente del 65% al 80%, incluso más preferiblemente del 70% al 75%.

5 En una forma de realización, la invención proporciona un proceso, en donde el calentamiento con vapor se realiza durante 27-55 minutos para lograr una temperatura de biomasa de 90°C, preferiblemente 20-40 minutos para lograr una temperatura de biomasa de 95°C, más preferiblemente 15-30 minutos para lograr una temperatura de biomasa de 99°C, incluso más preferiblemente 14-28 minutos para lograr una temperatura de biomasa de 100°C.

10 En otra forma de realización, la biomasa preacondicionada contiene el 68-72% de contenido en humedad y del 0,7% al 0,09% de contenido en ácido sulfúrico en peso antes del proceso de pretratamiento, preferiblemente el 68-72% de contenido en humedad y del 0,7% al 0,09% de contenido en ácido sulfúrico.

15 Los inventores descubrieron sorprendentemente que los resultados de pretratamiento convencional tal como rendimiento, recuperación, reactividad y tiempo de proceso para la conversión de celulosa y hemicelulosa a etanol y/u otras sustancias químicas valiosas se puede mejorar añadiendo el paso de acondicionamiento. Se encontró que el acondicionamiento de la biomasa antes del pretratamiento mejora la reactividad de la celulosa (lo que reduce el tiempo de hidrólisis de celulosa); minimiza el uso de enzimas para convertir celulosa a glucosa; maximiza la eliminación de impurezas y compuestos tóxicos; aumenta la recuperación de la fracción de hemicelulosa; optimiza el proceso de fermentación; reduce el tiempo de fermentación; y aumenta el rendimiento global.

20 Los inventores han descubierto que uno o más de estos resultados anteriores se puede mejorar por el proceso de acondicionamiento que controla la humedad de la biomasa antes del pretratamiento; y/o la temperatura y tiempo de retención del paso de calentamiento con vapor. Además, los inventores han descubierto también que se puede lograr una mejora adicional sometiendo la biomasa, como parte del paso de acondicionamiento, a un paso de estrujamiento o compresión para extraer las impurezas tóxicas y mejorar la impregnación de catalizador y agua después del paso de calentamiento con vapor.

25 Este proceso de acondicionamiento mejora los resultados de los procesos de pretratamiento. El acondicionamiento también lleva la biomasa a un conjunto estándar de condiciones antes del pretratamiento que es importante para resultados de pretratamiento consistentemente óptimos. Tal acondicionamiento también puede ablandar las fibras y proporcionar distribución homogénea de humedad y catalizador químico. Sin estar unido a esta teoría, los inventores teorizan que el acondicionamiento permite una eliminación selectiva de los componentes inhibidores solubles en la biomasa lignocelulósica, sin la eliminación de cantidades significativas de los componentes de monómeros de azúcar C5 de la hemicelulosa, produciendo así un contenido disminuido de compuestos inhibidores y un nivel aumentado de azúcares C5 en la biomasa antes del pretratamiento lo que permite la recuperación de un corriente de degradación de hemicelulosa después del pretratamiento que incluye cantidades menores o más bajas de compuestos inhibidores además de azúcares C5.

#### 40 **Breve descripción de la figura**

La figura 1 muestra un proceso de producción de biocombustible que incluye un proceso de acondicionamiento según esta solicitud.

#### 45 **Descripción detallada de formas de realización preferidas**

Antes de explicar la presente invención en detalle, se debe entender que la invención no está limitada a las formas de realización preferidas contenidas en el presente documento.

50 La invención es capaz de otras formas de realización y de ser practicada o llevada a cabo en una variedad de maneras. Se debe entender que la fraseología y terminología empleada en el presente documento son para el fin de descripción y no de limitación.

55 Como se muestra en la figura 1, la biomasa de tamaño 10 se transporta a un bote o recipiente 30 de exposición a vapor. La biomasa típicamente se recibe para procesar en un estado semiseco con un contenido en humedad de menos del 50%, y tan bajo como el 10%. Por ejemplo, las mazorcas de maíz habitualmente se obtienen después de que el maíz se haya secado en el campo hasta un contenido en humedad del 15-35%. Tras la llegada a la planta de procesamiento, la biomasa, tal como mazorcas de maíz, se corta a un tamaño conveniente. La biomasa típicamente se corta a una longitud de aproximadamente 1 pulgada. Se puede añadir agua a la biomasa de tamaño para aumentar el contenido en humedad antes del paso de calentamiento con vapor en el proceso de acondicionamiento de la invención.

60 Se inyecta vapor 20 próximo a la parte inferior del recipiente en uno o más puntos para calentar la biomasa de tamaño 10. Aire, vapor, y gases no condensables se descargan desde un orificio 35 próximo a la parte superior del recipiente 30. Según el vapor 20 dirige calor hacia arriba del recipiente 30, la biomasa de tamaño 10 absorbe humedad y se carga uniformemente con humedad. Durante la exposición al vapor, la temperatura sube y los gases

no condensables se expulsan. En una forma de realización, la biomasa de tamaño 10 se calienta de 80 a 100 grados Celsius con vapor a presión atmosférica durante un periodo de 10 a 60 minutos.

5 La biomasa calentada con vapor 15 se extrae del fondo del recipiente 30 y se alimenta en cualquier tipo de proceso de pretratamiento de biomasa lignocelulósica. En una forma de realización, la biomasa calentada con vapor se alimenta primero a un dispositivo de compresión o estrujamiento 40 tal como una prensa de husillo, dispositivo de husillo modular (MSD), etc. Se contempla que cualquier dispositivo que estruje o comprima la biomasa se pueda usar para comprimir la biomasa y drenar los fluidos extraídos. En una forma de realización, el dispositivo de estrujamiento 40 estruja la biomasa calentada con vapor 15 con una relación de compresión de 2-1 a 6-1, preferiblemente una relación de compresión de 3-1 a 4-1, lo más preferiblemente a una relación de 4-1. El dispositivo de estrujamiento 40 tiene un orificio 50 para descargar los gases si es necesario, y un sumidero 55 para drenar los fluidos extraídos que incluyen extractos inhibidores estrujados de la biomasa calentada con vapor 15. Durante el proceso de estrujamiento, una parte del líquido se elimina de la biomasa calentada con vapor 15 junto con compuestos que afectan adversamente los pasos de procesamiento posteriores en la fabricación de etanol tal como resinas, aceites de bogol (tall oil) y ácidos grasos.

20 La biomasa estrujada 45 se alimenta después a un dispositivo de mezclado 70. El dispositivo de mezclado 70 mezcla la biomasa estrujada 45 con la proporción opcional de agua a través de una entrada de agua 66 y/o cantidad opcional de catalizador a través de una entrada de catalizador 65. En una forma de realización, el catalizador es ácido y puede variar en concentración desde entre el 0 al 5% en volumen y el contenido en agua de la biomasa varía desde el 60% al 80%. En una forma de realización, este paso de mezclado se puede incorporar justo en la descarga del dispositivo de estrujamiento 40. Un dispositivo de mezclado adecuado 70 en un caso podría ser tan sencillo como uno o más puntos de inyección o adición a lo largo de la salida del dispositivo de estrujamiento 40. Esto es operable porque la biomasa estrujada 45 es similar a una esponja estrujada y puede absorber fácil y activamente el agua y las sustancias químicas.

30 En una forma de realización preferida del paso de mezclado, el agua y/o agua y catalizador tal como ácido sulfúrico se añaden para llevar el contenido en humedad a más del 65%. Los inventores han encontrado que la combinación particular de pasos en el acondicionamiento de la biomasa antes del pretratamiento tiene un efecto significativo comercialmente positivo al reducir el tiempo de digestión de las mazorcas de maíz en hasta más del 60% y al aumentar la recuperación de hemicelulosa en una forma soluble en más del 40%, como se ilustra en el ejemplo 1 posteriormente.

35 En los ejemplos, las mazorcas de maíz preacondicionadas se pretratan con vapor a un valor de índice de severidad de 4,0 (205°C durante 8 minutos), como se describe en la solicitud de patente en EE UU pendiente con número de serie 12/560.843, cuyo contenido se incorpora al presente documento mediante referencia, seguido por hidrólisis enzimática al 15 al 20% de consistencia.

40 Si la biomasa particular contiene resinas, aceites, ácidos grasos, aceites de bogol, etc., significativos como los contenidos en astillas de madera, la eliminación o al menos eliminación parcial de estas resinas, aceites, ácidos grasos, aceites de bogol, etc., durante el paso de estrujamiento del proceso de acondicionamiento mejora el rendimiento de la hidrólisis enzimática y fermentación posteriores.

45 Además, se encontró que para biomasa que requería la adición de catalizador químico, el paso de estrujamiento antes de la adición del catalizador ayudaba en la absorción del catalizador de forma más uniforme a lo largo de toda la biomasa mejorando la recuperación y solubilización de la hemicelulosa.

El dispositivo de mezclado 70 descarga en un sistema de pretratamiento.

50 **Ejemplo 1 – Ajustar el contenido en humedad mejora la digestibilidad de celulosa y la recuperación de hemicelulosa**

Tabla 1. Efecto del contenido en humedad en mazorcas de maíz entrantes sobre la recuperación de hemicelulosa.

55 Tabla 1. Efecto del contenido en humedad en mazorcas de maíz entrantes sobre la recuperación de hemicelulosa.

Mazorcas entrantes Humedad (%)	69	66	54	46	35	29	11
Recuperación de hemicelulosa (% del entrante)	72	71	62	59	50	45	27
Azúcares de hemicelulosa solubles (kg/mtdm de mazorcas de maíz entrantes)	253	249	218	207	176	158	95
Monómeros de azúcar de hemicelulosa (kg/mtdm de mazorcas de maíz entrantes)	211	208	182	173	147	132	79

La tabla 1 ilustra que la recuperación de azúcares de hemicelulosa aumentó en más del 40% según aumentaba el contenido en humedad desde el 35% al 66%. Para aumentar más la proporción de monómeros de azúcar sobre

oligómeros, los azúcares de hemicelulosa solubles recuperados se pueden hidrolizar tras la recuperación ya sea con enzimas hemicelulasas o catalizador ácido.

Tabla 2. Efecto del contenido en humedad en mazorcas de maíz entrantes sobre la digestibilidad de celulosa

5  
Tabla 2. Efecto del contenido en humedad en mazorcas de maíz entrantes sobre la digestibilidad de celulosa y producción resultante de monómeros de glucosa.

Mazorcas entrantes Humedad (%)	69	66	54	46	35	29	11
Monómeros de glucosa (kg/mtdm de mazorcas de maíz entrantes)	342	343	339	341	322	307	280

10  
Condiciones de hidrólisis: 110 horas, 17% de consistencia hidrólisis por lote alimentado con enzima al 0,215% (p/p DM) en mazorcas.

15  
La digestibilidad se expresa como t90%, que significa que el 90% de la celulosa disponible se convierte en el tiempo mostrado. La digestibilidad de la celulosa de prehidrolizados producidos de mazorcas con contenidos variables en humedad mejoró en aproximadamente el 70% según aumentaba la humedad desde el 35% al 66%. La tabla 2 ilustra que cuando se va de humedad entrante del 11% al 66% el tiempo de digestión disminuye en más del 60%.

**Ejemplo 2 – El precalentamiento con vapor mejora la digestibilidad de celulosa**

20  
Mazorcas de maíz al 50% de humedad se precalentaron con vapor a presión atmosférica con vapor a baja presión (5 psig) durante 10 minutos antes del pretratamiento como se describe en la solicitud de patente en EE UU pendiente con número de serie 12/560.843. Los resultados de la digestibilidad de celulosa se compararon (Tabla 1) con un control usando 1 minuto de preexposición al vapor a 300 psig usando vapor supercalentado.

Tabla 3. Efecto de la exposición al vapor en la digestibilidad de celulosa

25  
Tabla 3. Efecto de la exposición al vapor en la digestibilidad de celulosa y producción resultante de monómeros de glucosa

Monómeros de glucosa (kg/mtdm de mazorcas de maíz entrantes)	Calentamiento con vapor antes del pretratamiento (1) & condiciones de pretratamiento (2)		
	(1) 1 min, 300 psig	10 min, presión atmosférica	
	(2) 235 psig, 8 min		
Carga de enzima	0,225	360	
(% p/p, DM en mazorcas)	0,295	375	

30  
Tabla 3. Efecto de la exposición al vapor en la digestibilidad de celulosa

El tiempo de calentamiento con vapor más largo redujo el tiempo de hidrólisis en el 18% al 24% dependiendo de la dosis de enzima. La recuperación de azúcar de hemicelulosa no estaba afectada por el calentamiento con vapor adicional.

35  
El efecto combinado de controlar la humedad y los tiempos de calentamiento con vapor durante el acondicionamiento de mazorcas de maíz como se ha visto en las tablas 2 y 3, respectivamente, tiene un efecto acumulado significativo en el tiempo de hidrólisis enzimática y recuperación de azúcares (C5 y C6). Controlar el calentamiento con vapor y la humedad y combinar esos pasos con un paso de estrujamiento como se ha esbozado anteriormente, proporciona máxima flexibilidad en las opciones de tratamiento, que permitirá que los expertos en la materia optimicen los procesos de pretratamiento.

**Referencias**

45  
(1) Shapouri H et al. (1995) USDA Report 721. Estimating the net energy balance of corn ethanol.  
(2) Shapouri H et al. (2002) USDA Report 813. The Energy Balance of corn ethanol: an update.  
(3) Chow J et al.(2003) Science, 302, 1528-1531 Energy resources and global development.  
50  
(4) Wald ML, Barrionuevo A (2007) New York Times, 7 de Abril, The Energy challeng: A Renewed push for ethanol, without the corn.  
(5) Greeg D (2008) Biocycle, 49, 11-47. Commercializing cellulosic ethanol.

- (6) Hill J et al. (2006) Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 103, 11206-11210. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels.
- 5 (7) Farrell AE et al. (2006) Science, 311, 506-508. Ethanol can contribute to energy and environmental goals.
- (8) Somerville C (2007) Current biology, 17, 115-119. Biofuels.
- (9) Schuetzle D et al. (2007) Western Governors' Association. Alcohol fuels from biomass-Assessment of production technologies.
- 10 (10) Chum L, Overend R (2002) Fuel Processing technology, 71, 187-195. Biomass and renewable fuels.
- (11) Wyman CE (1996) Taylor & Francis: Washington DC, USA, Handbook on bioethanol: production and utilization.
- 15 (12) McMillan JD (1994) Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production; Himmel, M.E., Baker, J.O., Overend, R.P., Eds.; ACS: Washington DC, USA, 1994; pp. 292-324. Pretreatment of lignocellulosic biomass.
- (13) Fan L et al (1982) Adv. Biochem. Eng. Biotechnol., 23, 158-183. The nature of lignocellulosics and their pretreatments for enzymatic hydrolysis.
- 20 (14) Yang B, Wyman CE (2007) Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2, 26-40. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol.

**REIVINDICACIONES**

1. En un proceso para la recuperación de azúcares C5 y C6 de biomasa lignocelulósica para fermentación a etanol, que incluye los pasos de pretratamiento de la masa con vapor a temperatura y presión elevadas, recogida de azúcares C5 de la degradación de hemicelulosa, hidrólisis de celulosa y recogida de azúcares C6 de la degradación de celulosa, la mejora comprende  
 5 el acondicionamiento de la biomasa antes del paso de pretratamiento por:  
 10 calentamiento de la biomasa con vapor durante un periodo de tiempo de entre 5 minutos hasta 60 minutos para lograr una biomasa tratada con vapor que tiene una temperatura de aproximadamente 80 a 100°C;  
 15 eliminar una corriente líquida que contiene resinas, aceites, ácidos grasos u otros inhibidores de la hidrólisis o fermentación posteriores, estrujando la biomasa calentada con vapor a una relación de compresión de 2-1 a 6-1; y  
 20 después del paso de estrujar la biomasa calentada por vapor y eliminación de la corriente líquida, ajustar un contenido en humedad de la biomasa tratada con vapor y estrujada a aproximadamente del 60% al 80% añadiendo agua, o agua y un catalizador seleccionado por el usuario deseado para el proceso de pretratamiento, en donde el catalizador es ácido y varía en concentración desde entre el 0 y el 5% en volumen.
2. El proceso de la reivindicación 1, en donde la biomasa calentada con vapor se estruja a una relación de compresión de 3-1 a 4-1, preferiblemente a una relación de compresión de 4-1.
- 25 3. El proceso de la reivindicación 1 o 2, en donde el contenido en humedad se ajusta hasta aproximadamente del 65% al 80%, preferiblemente aproximadamente del 70% al 75%.
- 30 4. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el paso de calentamiento se lleva a cabo a presión atmosférica.
5. El proceso de la reivindicación 4, en donde el periodo de tiempo es aproximadamente de 10 a 60 minutos, preferiblemente aproximadamente de 10 a 30 minutos, más preferiblemente aproximadamente de 15 a 30 minutos, lo más preferiblemente aproximadamente 20 minutos.
- 35 6. El proceso de la reivindicación 4, en donde la temperatura de la biomasa calentada por vapor está entre 95°C y 99°C.
- 40 7. El proceso de la reivindicación 1, en donde el agua y el catalizador químico se añaden para alcanzar un contenido en catalizador y un contenido en humedad del 65% al 75% de la biomasa tratada con vapor.
8. El proceso de la reivindicación 7, en donde el catalizador químico es ácido sulfúrico en una concentración de ácido sulfúrico desde el 0,2% al 2% de la biomasa en peso.
- 45 9. El proceso de la reivindicación 8, en donde la concentración de ácido sulfúrico es desde el 0,5% al 2% de la biomasa en peso.
10. El proceso de la reivindicación 9, en donde la concentración de ácido sulfúrico es desde el 0,8% al 1,0% de la biomasa en peso.
- 50 11. El proceso de la reivindicación 1, en donde la biomasa tiene un contenido en humedad del 30-55% antes del paso de calentamiento con vapor del acondicionamiento.
12. El proceso de la reivindicación 1, en donde el calentamiento con vapor se realiza durante 55 a 60 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de aproximadamente 80°C; durante 40 a 60 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de aproximadamente 85°C; o durante 27 a 55 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de 90°C.
- 55 13. El proceso de la reivindicación 1, en donde el calentamiento con vapor se realiza durante 20 a 40 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de aproximadamente 95°C; durante 15 a 30 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de aproximadamente 99°C; o durante 14 a 28 minutos para alcanzar una temperatura de biomasa de 100°C.
- 60 14. El proceso de la reivindicación 1, en donde la biomasa acondicionada contiene una humedad del 68-72% en peso antes del proceso de pretratamiento.
- 65



## ES 2 606 611 T3

15. El proceso de la reivindicación 3, en donde la biomasa acondicionada contiene un contenido en humedad del 68-72% y un contenido en ácido sulfúrico del 0,7% al 0,09% en peso antes del proceso de pretratamiento.
- 5 16. El proceso de la reivindicación 1, en donde la biomasa acondicionada es mazorcas de maíz y contiene un contenido en humedad del 68-72% y un contenido en ácido sulfúrico del 0,7% al 0,09% en peso antes del proceso de pretratamiento.
17. El proceso de la reivindicación 1, en donde los gases volátiles se liberan durante el proceso de acondicionamiento.

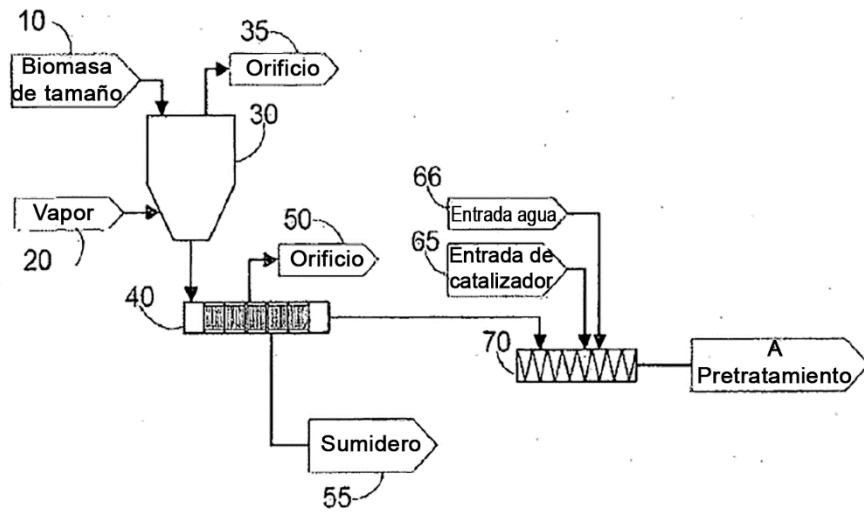


Figura 1