

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 485 820**

51 Int. Cl.:

C10G 1/00 (2006.01)

C10G 1/04 (2006.01)

C02F 3/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2010 E 10765837 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2475744**

54 Título: **Procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos**

30 Prioridad:

09.09.2009 IT MI20091550

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

14.08.2014

73 Titular/es:

**ENI S.P.A. (100.0%)
Piazzale E. Mattei 1
00144 Rome, IT**

72 Inventor/es:

**BOSETTI, ALDO;
BIANCHI, DANIELE;
FRANZOSI, GIULIANA y
RICCI, MARCO**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 485 820 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

Procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos.

5 La presente invención se refiere a procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos (RSU).

10 Más específicamente, la presente invención se refiere a un procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos (RSU), que comprende someter dichos residuos sólidos urbanos a licuefacción, someter la fase acuosa obtenida de dicha licuefacción a fermentación, y alimentar con la biomasa fermentada obtenida de dicha fermentación dicha licuefacción.

15 El bio-oil (o bio-crudo) obtenido de este modo se pueden utilizar convenientemente en la producción de biocombustibles que pueden utilizarse como tales, o mezclados con otros combustibles, para los vehículos a motor. Alternativamente, dicho bio-oil puede utilizarse como tal (biocombustible) o mezclado con combustibles fósiles (aceite combustible, carbón, etc.) para la generación de energía eléctrica.

20 El empleo de biomasa, en particulares biomasa de origen vegetal, con fines energéticos, por ejemplo, como materia prima para la producción de biocombustibles, o componentes que pueden añadirse a combustibles, es conocido en la técnica. La biomasa puede, por lo tanto, representar una fuente de energía renovable como alternativa a las materias primas tradicionales de origen fósil utilizado normalmente en la producción de combustibles.

25 El empleo de dichas biomasa, sin embargo, pueden eliminar recursos alimenticios preciosos para uso animal y/o humano.

Se han hecho esfuerzos en la técnica con el fin de utilizar desechos y/o residuos urbanos, industriales y/o agrícolas con fines energéticos.

30 La patente US nº 4.618.736, por ejemplo, describe un proceso para la producción de hidrocarburos a partir de un material celulósico que comprende las etapas siguientes: formar una suspensión de material celulósico en un compuesto donante de hidrógeno policíclico líquido, conteniendo dicha suspensión una cantidad de agua igual o menor del 5% en peso, pero no más de aproximadamente 10% en peso, con respecto al peso del material celulósico; sometiendo la suspensión a una temperatura superior a 200°C y a una presión creciente hasta por lo menos 68,9 bar (1000 psi), en presencia de hidrógeno, con el fin de obtener la hidrogenación del material celulósico y para producir una mezcla de hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos con un contenido de oxígeno inferior al 10% en peso y un poder calorífico superior a 34,9 MJ/kg (15.000 Btu/lb); separando la mezcla de hidrocarburos en tres fases: gaseosa, líquida y sólida; y recuperando dicho compuesto donante de hidrógeno policíclico líquido de la fase líquida y reciclándolo al tratamiento del material celulósico. Dicho material celulósico puede proceder de la basura doméstica o urbana o de vegetales. Dicho compuesto donante de hidrógeno policíclico líquido es preferentemente tetralina.

45 La patente US nº 4.670.613 describe un procedimiento para la producción de líquidos que contienen hidrocarburos que consiste esencialmente en introducir una biomasa en un área de reacción, en presencia de agua, a una presión superior a la presión parcial de vapor del agua y a una temperatura de por lo menos 300°C y dejando dicha biomasa en la zona de reacción durante más de 30 segundos; separar los sólidos del fluido que sale de la zona de reacción y mantener el fluido restante en esta zona en una sola fase; y, posteriormente, separar los líquidos del fluido restante. Dicha biomasa se puede seleccionar de una amplia gama de biomasa de diferentes orígenes, tales como, por ejemplo, biomasa de origen vegetal, biomasa procedentes de residuos agrícolas o residuos urbanos.

50 Goudriaan *et al.* en "*Chemical Engineering Science*" (1990), vol. 45, nº 8, páginas 2729-2734 describen el proceso conocido como HTU o "Conversión hidrotérmica". Dicho proceso permite convertir la biomasa procedente de cultivos energéticos en combustible líquido (p. ej., bio-oil), que comprende tratar la biomasa en presencia de agua, a una temperatura superior a 300°C, durante un tiempo comprendido entre 5 minutos y 15 minutos, a una presión de 180 bar.

60 La patente US nº 7.262.331 describe un procedimiento para la producción continua de hidrocarburos con una densidad de energía mejorada a partir de biomasa, que comprende: una primera etapa, en el que una alimentación acuosa que contiene biomasa, no precalentada o precalentada a una temperatura comprendida entre 50°C y 95°C, se somete a un tratamiento que comprende llevar dicha alimentación, en una sola etapa, desde una presión de 5 bar o menos, a una presión comprendida entre 100 bar y 250 bar; una segunda etapa después de la primera etapa en la que la temperatura de la alimentación a presión se aumenta de 95°C o menos a 180°C o más, y la alimentación presurizada se mantiene a una temperatura no superior a 280°C durante un período de hasta 60 minutos, formando de esta manera una mezcla de reacción; una etapa de reacción en la que la mezcla de reacción se calienta durante un período de hasta 60 minutos a una temperatura superior a 280°C. Dicha biomasa se puede seleccionar a partir de mezclas de biomasa/ agua procedentes de la fermentación aeróbica o anaeróbica de residuos industriales o

urbanos con una proporción agua/biomasa que oscila entre 4 y 5. La biomasa que procede de residuos agrícolas, o domésticos y residuos biológicos urbanos que tiene una proporción agua/biomasa que oscila entre 1 y 4, también se puede utilizar.

5 Los procedimientos anteriores, sin embargo pueden adolecer de varios inconvenientes.

Las altas temperaturas y altas presiones, por ejemplo, normalmente requeridos para la obtención de rendimientos adecuados en el proceso conocido como HTU o "Conversión hidrotérmica" requieren el empleo de equipo específico, normalmente de aleaciones metálicas especiales capaces de funcionar a estas altas temperaturas y, en particular, a estas altas presiones, y un alto consumo de energía, con un aumento consiguiente en los costes de producción.

Además, al operar según los procedimientos descritos anteriormente, una parte de material orgánico incluido en la biomasa permanece disuelto en la fase acuosa procedente del tratamiento térmico de dicha biomasa con el consiguiente menor rendimiento de hidrocarburos.

El solicitante se ha enfrentado al problema de encontrar un procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos lo que permite mejorar el rendimiento de bio-oil. En particular, el solicitante se ha enfrentado al problema de encontrar un procedimiento capaz de utilizar material orgánico que, tal como se indicó anteriormente, permanece disuelto en la fase acuosa que procede del tratamiento térmico de dicha biomasa.

La patente US nº 3.864.096 describe un procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos que comprende someter el residuo a licuefacción obteniendo una mezcla y separando la mezcla en una fase oleosa, una fase sólida y una fase acuosa.

El solicitante ha constatado ahora que la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos (es decir, la conversión de biomasa en productos líquidos utilizables, por ejemplo, como biocombustibles y/o biofueles), en particular a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, puede llevarse a cabo convenientemente mediante un procedimiento que comprende someter dicho residuo sólido urbano a licuefacción, someter la fase acuosa obtenida en dicha licuefacción a fermentación, y alimentar con la biomasa fermentada obtenida en dicha fermentación dicha licuefacción.

En particular, el solicitante ha encontrado que la posibilidad de utilizar la fase acuosa que contiene una parte del material orgánico procedente de residuos sólidos urbanos sometidos a licuefacción, permite un aumento en el rendimiento de bio-oil.

Además, el solicitante ha encontrado que dicho procedimiento permite obtener un buen rendimiento de bio-oil incluso cuando se opera en condiciones de temperatura y presión muy suaves con respecto a las adoptadas en los procedimientos descritos en la técnica conocida (p. ej., a una temperatura de 250°C y a una presión de 40 bar), con una disminución consiguiente de los costes de producción.

El bio-oil obtenido de este modo se puede utilizar convenientemente en la producción de biocombustibles que se pueden utilizar como tales o mezclados con otros combustibles, para los vehículos a motor. O dicho bio-oil puede utilizarse como tal (biocombustible) o mezclado con combustibles fósiles (aceite combustible, carbón, etc.) para generar energía eléctrica o calor.

Un objetivo de la presente invención es por tanto proporcionar un procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos que comprende los siguientes etapas:

- 50 a) someter dichos residuos sólidos urbanos a licuefacción obteniendo una mezcla que comprende una fase oleosa que consiste en bio-oil, una fase sólida y una fase acuosa;
- b) someter a la mezcla obtenida en la etapa a) a separación para obtener una fase oleosa, consistente en bio-oil, una fase sólida y una fase acuosa;
- 55 c) someter la fase acuosa obtenida en la etapa de licuefacción b) a fermentación, obteniendo una biomasa fermentada; -
- d) alimentar con la biomasa fermentada obtenida en la etapa de fermentación c) la etapa de licuefacción a).
- 60

Cabe señalar que a partir de la licuefacción de dicha biomasa fermentada, se obtiene una nueva fase oleosa que consiste en bio-oil, y, por lo tanto, un aumento en el rendimiento de bio-oil.

Cabe señalar además que, incluso cuando se opere en condiciones de operación de temperatura y presión muy suaves con respecto a las adoptadas en los procedimientos descritos en la técnica conocida (p. ej., a una temperatura de 250°C y a una presión de 40 bar), la fase oleosa adicional que consiste en bio-oil obtenido de la

licuefacción de dicha biomasa fermentada, en cualquier caso permite obtener buenos rendimientos de bio-oil.

A los efectos de la presente descripción y de las reivindicaciones que siguen, las definiciones de los intervalos numéricos incluyen siempre los extremos, a menos que se especifique lo contrario.

5 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicho residuo sólido urbano puede seleccionarse, por ejemplo, de entre material orgánico procedente de la recogida diferenciada de residuos, el material orgánico seleccionado de entre residuos sólidos urbanos no diferenciados, o mezclas de los mismos; o mezclas de dicho material orgánico con residuos de la poda y desechos de segadora y/o residuos agrícolas.

10 Según una forma de realización preferida adicional de la presente invención, dichos residuos sólidos urbanos se pueden mezclar y utilizar con otros materiales, tales como, por ejemplo:

- 15 - lodos primarios y biológicos producidos en plantas depuradoras de aguas residuales;
- residuos y/o desechos procedentes de las actividades agrícolas y/o zootécnicas;
- residuos y/o desechos procedentes de la industria agrícola y alimentaria;
- residuos y/o desechos procedentes de procesado agrícola, forestación y/o silvicultura;

20 o mezclas de los mismos.

Según una forma de realización preferida de la presente invención, dichos residuos sólidos urbanos, como tales o mezclados con otros materiales, pueden tratarse sometiéndoles a un proceso preliminar de molienda o clasificación por tamaños antes de someterles a licuefacción.

25 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicho residuo sólido urbano está húmedo. Preferentemente dicho residuo sólido urbano puede tener un contenido de agua superior o igual al 50% en peso, preferentemente oscilando entre el 55% en peso y el 80% en peso, con respecto al peso total de dicho residuo sólido urbano.

30 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de licuefacción (a) puede llevarse a cabo a una temperatura comprendida entre 150°C y 350°C, preferentemente entre 200°C y 320°C.

Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de licuefacción (a) puede llevarse a cabo a una presión comprendida entre 5 bar y 170 bar, preferentemente comprendida entre 15 bar y 115 bar.

35 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de licuefacción (a) puede llevarse a cabo durante un tiempo comprendido entre 5 minutos y 240 minutos, preferentemente en el intervalo de 15 minutos a 90 minutos.

40 Dicha etapa de licuefacción (a) puede llevarse a cabo en reactores conocidos en la técnica, por ejemplo, autoclaves.

Dicha etapa de licuefacción (a) puede llevarse a cabo operando en diferentes modos, tales como, por ejemplo, "discontinuo", o en continuo.

45 Teniendo en cuenta que la energía térmica necesaria en dicha etapa de licuefacción (a) puede obtenerse parcial o totalmente a partir de la recuperación de calor o de la combustión de vectores de energía tradicionales, por ejemplo, gas metano, GLP, aceite mineral, carbón, etc., no se excluye que la energía térmica puede provenir de otras fuentes renovables como, por ejemplo, solar o biomasa.

50 La fase oleosa, la fase sólida y la fase acuosa incluidas en la mezcla obtenida en dicha etapa (a), se pueden separar por técnicas conocidas en la técnica tales como, por ejemplo, la separación por gravedad (p. ej., sedimentación, decantación), filtración o centrifugación. Dichas fases se separan preferentemente mediante separación por gravedad.

55 Durante dicha etapa de licuefacción (a) se forma también una fase gaseosa, igual a aproximadamente 10% en peso 25% en peso con respecto al peso (peso en seco) de dicho residuo sólido urbano. Dicha fase gaseosa se compone principalmente de dióxido de carbono (80% - 95% en moles) y una mezcla de hidrocarburos que tienen de 1 a 4 átomos de carbono o de otros gases (10% a 20% en moles). Dicha fase gaseosa, después de la separación, separación que puede llevarse a cabo por ejemplo despresurizando el recipiente presurizado en el que dicha etapa de licuefacción (a) se lleva a cabo, antes de enviar la mezcla obtenida (fase sólida + fase oleosa + fase acuosa) desde dicha etapa de licuefacción (a) a la separación, se envía generalmente para el tratamiento adicional con el fin de recuperar su componente orgánico combustible.

60 La fase sólida obtenida después de la separación comprende en general cenizas y productos inertes. Dicha fase sólida se puede utilizar, por ejemplo, como materia prima inorgánica en la industria de la construcción o en la industria cerámica.

5 La fase acuosa obtenida después de la separación comprende parte del material orgánico incluido en dichos residuos sólidos urbanos. Dicha fase acuosa generalmente puede tener un contenido de materia orgánica mayor o igual al 25% en peso, oscilando preferentemente entre el 30% en peso y el 50% en peso, con respecto al peso total de la fracción seca de dichos residuos sólidos urbanos.

Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de fermentación (c) puede llevarse a cabo en presencia de al menos una levadura oleaginosas.

10 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha levadura oleaginosas puede seleccionarse de entre: *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula gracilis*, *Rhodotorula graminis*, *Lypomices starkeyi*, *Lypomices lipofer*, *Trigonopsis variabilis*, *Candida kefyi*, *Candida curvata*, *Candida lipolytica*, *Torulopsis sp.*, *Pichia stipitis*, *Criptomococcus albidus*, *Criptomococcus sp.* o mezclas de las mismas.

15 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de fermentación (c) se puede llevar a cabo en presencia de al menos un consorcio microbiano aislado de la fase acuosa obtenida en dicha etapa de licuefacción (a). Para este fin, la fase acuosa procedente de dicha etapa de licuefacción (a) se mantiene en agitación, en aire, durante 10 días, a temperatura ambiente (25°C).

20 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de fermentación (c) se puede llevar a cabo a una temperatura comprendida entre 20°C y 40°C, preferentemente desde 25°C a 35°C.

25 Según, una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de fermentación (c) puede llevarse a cabo durante un tiempo comprendido entre 10 horas y 120 horas, preferentemente comprendido entre 24 horas y 100 horas.

30 Según una forma de realización preferida de la presente invención, dicha etapa de fermentación (c) puede llevarse a cabo a un pH comprendido entre 4,5 y 7,5, preferentemente comprendido entre 5 y 7. Con el fin de mantener el pH dentro de los márgenes deseados, una solución acuosa solución de por lo menos una base inorgánica tal como, por ejemplo, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de calcio, hidróxido de magnesio, o mezclas de los mismos, se puede añadir al medio de cultivo utilizado para la fermentación, en una cantidad tal como para obtener el pH deseado.

35 Dicha etapa de fermentación (c) puede llevarse a cabo a operar en diferentes modos, tales como, por ejemplo, de forma discontinua (fermentación de alimentación discontinua) o en continuo. Antes de utilizarse en dicha etapa de fermentación (c), dicha levadura oleaginosas puede cultivarse preferentemente en un medio de cultivo conocido en la técnica, tal como, por ejemplo, YEPG o caldo nutritivo.

40 Dicha etapa de fermentación (c) puede llevarse a cabo convenientemente en fermentadores conocidos en la técnica.

Con el fin de concentrar las células de levadura en la biomasa fermentada obtenida en dicha etapa de fermentación (c), antes de alimentar con dicha biomasa fermentada la etapa de licuefacción (a), puede someterse a un tratamiento de espesamiento.

45 Según una forma de realización preferida de la presente invención, al final de dicha etapa de fermentación (c), antes de alimentar con dicha biomasa fermentada dicha etapa de licuefacción (a), puede someterse a un tratamiento de espesamiento. En esta fase, la concentración de las células de levadura se lleva a valores comprendidos entre el 5% en peso y el 50% en peso, preferentemente entre el 15% en peso y el 30% en peso, con respecto al peso total (peso en seco) de la biomasa fermentada. Dicho espesamiento puede llevarse a cabo por medio de técnicas conocidas en la técnica tales como, por ejemplo, sedimentación, decantación, floculación, filtración y similares.

50 Después de espesamiento, la biomasa fermentada se alimenta a la etapa de licuefacción (a) anterior.

55 Un agua residual se obtiene también a partir de dicho espesamiento, que puede enfriarse opcionalmente a una temperatura comprendida entre la temperatura ambiente (25°C) y 50°C, y enviarse a un tratamiento posterior tal como, por ejemplo, el tratamiento biológico aeróbico o anaeróbico.

60 Como ya se ha mencionado anteriormente, una fase oleosa adicional se obtiene a partir de la licuefacción de dicha biomasa fermentada, que consiste en bio-oil que se añadirá a la fase oleosa consistente en el bio-oil obtenido de la licuefacción de dichos residuos sólidos urbanos.

Una fase sólida adicional, una fase acuosa y una fase gaseosa adicional también se obtienen a partir de la licuefacción de dicha biomasa fermentada, que se añadirá a la fase sólida, a la fase acuosa y a la fase gaseosa, respectivamente, obtenida por licuefacción de dichos residuos sólidos urbanos.

65 El procedimiento, objeto de la presente invención permite producir bio-oil con un rendimiento global que oscila entre

el 15% y el 50%, calculándose dicho rendimiento con respecto al peso de la fracción seca del residuo sólido urbano (RSU) inicial.

5 Cabe señalar que el procedimiento objeto de la presente invención, gracias a la utilización de la fase acuosa procedente de la etapa de licuefacción (a), permite un aumento en el rendimiento del bio-oil obtenido, con respecto a la etapa de licuefacción (a) solo, que oscila entre el 5% y el 30%, calculándose dicho aumento en el rendimiento con respecto al peso de la fracción seca del residuo sólido urbano (RSU) inicial.

10 El bio-oil obtenido por medio de dicho procedimiento puede enviarse a las fases de tratamiento posteriores con el fin de transformarle, por ejemplo, en biocombustible por medio de tratamientos conocidos en la técnica, tales como, por ejemplo, hidrogenación o cracking.

15 La presente invención se ilustrará a continuación mediante una forma de realización ilustrativa con referencia a la figura 1 proporcionada a continuación.

20 Según una forma de realización típica del procedimiento objeto de la presente invención, el residuo sólido urbano (RSU) (corriente 1) se somete a licuefacción obteniendo una mezcla (no representada en la figura 1) que comprende tres fases: una fase oleosa que consiste en bio-oil, una fase sólida (es decir, residuo) y una fase acuosa. Dicha mezcla se envía a una sección de separación de fases (no representada en la figura 1) con el fin de separar las tres fases anteriores obteniendo: una fase oleosa que consiste en bio-oil (corriente 6), una fase sólida (es decir, residuo) (corriente 7) que comprende cenizas, productos inertes y una fase acuosa (corriente 2).

25 Dicha fase acuosa (corriente 2) se somete a fermentación en presencia de una levadura oleaginoso (p. ej., *Rhodotorula graminis* DBVPG 4620), o de un consorcio microbiano aislado de una fase acuosa procedente de la etapa de licuefacción (a) como se describió anteriormente.

30 Al final de la fermentación, se obtiene una biomasa fermentada, que se somete a un tratamiento de espesamiento (no representado en la figura 1) con el fin de concentrar las células de dicha levadura oleaginoso en dicha biomasa fermentada con el fin de obtener valores de concentración que oscilan preferentemente entre el 5% en peso y el 30% en peso con respecto al peso total (peso en seco) de dicha biomasa fermentada. Un agua residual (corriente 3) se obtiene también a partir de dicho tratamiento de espesamiento que puede enviarse a un tratamiento posterior tal como, por ejemplo, el tratamiento biológico aeróbico o anaeróbico (no representado en la figura 1).

35 Al final del tratamiento de espesamiento, la biomasa fermentada (corriente 4) se alimenta a la licuefacción junto con los residuos sólidos urbanos. La fase oleosa adicional consistente en bio-oil obtenido de la licuefacción de dicha biomasa, fermentada se recuperará (corriente 6).

40 Una fase sólida, una fase acuosa y una fase gaseosa adicionales se obtienen también a partir de la licuefacción de dicha biomasa fermentada, que se recuperará (corriente 7), (corriente 2) y (corriente 5), respectivamente.

45 Durante la licuefacción, también se produce una corriente gaseosa (corriente 5), que comprende CO₂, hidrocarburos gaseosos que tienen de 1 a 4 átomos de carbono, u otros gases, que se pueden separar, por ejemplo, por despresurización del recipiente presurizado en el que dicha licuefacción se lleva a cabo, antes de enviar la mezcla (fase oleosa + fase sólida + fase acuosa) obtenida después de la licuefacción a la sección de separación de fases. La fase gaseosa obtenida de este modo (corriente 7) puede enviarse para su tratamiento posterior para recuperar su componente orgánico combustible.

50 El bio-oil obtenido de este modo se puede enviar a fases de tratamiento posteriores para ser transformado, por ejemplo, en biocombustible mediante tratamientos de hidrogenación o cracking, por ejemplo (no representados en la figura 1)

A continuación se proporcionan algunos ejemplos ilustrativos y no restrictivos para una mejor comprensión de la presente invención y para su forma de realización.

55 **Ejemplo 1 (comparativo)**

Se alimentan 500 g de una fracción orgánica húmeda de residuos sólidos urbanos (RSU), con un sistema de dosificación adecuado, en un autoclave agitado de 1 litro. El peso en seco de esta fracción se demuestra que es igual al 25% en peso (125 g).

60 Después de crear una atmósfera inerte dentro del autoclave por lavados con nitrógeno, el autoclave se calienta rápidamente con el fin de alcanzar la temperatura interna de 310°C. Se mantiene en agitación, en estas condiciones, durante 1 hora, observando que la presión dentro del autoclave alcanza la presión máxima de 110 bar.

65 El autoclave se enfría entonces rápidamente hasta 80°C y la fase gaseosa se separa. Dicha fase gaseosa se analiza por separado mediante técnicas de cromatografía de gases, y se demuestra que es igual a 22,5 g (18% en peso de

la fracción seca del RSU inicial). El análisis demostró que el 90% de la fase gaseosa consiste en dióxido de carbono.

La mezcla de reacción obtenida de este modo se separa, bajo calentamiento, en un separador por gravedad obteniéndose tres fases:

- 5 - Una fase oleosa que consiste en bio-oil que, una vez anhídra, se demuestra que es igual a 43,7 g (35% en peso de la fracción seca del RSU inicial);
- 10 - una fase sólida que consiste en un residuo sólido igual a 18,8 g (15% en peso de la fracción seca de la RSU inicial);
- una fase acuosa igual a 415 g con un contenido de RSU igual a 40,0 g (32% en peso de la fracción seca de la RSU inicial).

15 **Ejemplo 2**

El mismo procedimiento se adopta como en el ejemplo 1, pero la fase acuosa igual a 415 g se utiliza totalmente y sin ninguna dilución, como medio de crecimiento en la etapa de fermentación posterior: extracto de levadura sólo se añade a una concentración de 1 g/l como fuente de vitaminas y el pH se ajusta a un valor de 6,5 por la adición de una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) 0,1 M. La fase acuosa se alimenta posteriormente a un fermentador que tiene un volumen de operación de 1 litro y se inocula con una cepa de *Rhodotorula graminis* DBVPG 4620 cultivada previamente en un medio de levadura YEPG (inóculo igual a 2,5 g/l - peso en seco).

20 La fermentación se lleva a cabo a una temperatura de 30°C y con una agitación igual a 170 rpm. Después de 48 horas de fermentación, la biomasa fermentada se recupera por centrifugación (5.000 rpm, durante 30 minutos) la obtención de 45 g de biomasa fermentada húmeda que contiene 20% en peso de células (peso en seco igual a 9,0 g).

30 La biomasa fermentada obtenida de este modo se alimenta al mismo autoclave agitado de 1 litro del ejemplo 1, junto con 500 g de una fracción orgánica de residuo sólido urbano (RSU): la licuefacción se lleva a cabo en las mismas condiciones de operación del ejemplo 1. Después del tratamiento análogo de separación, se obtienen de este modo 3,1 g más de bio-oil, que en total conducen a la formación de 46,8 g de bio-oil con un aumento en el rendimiento de bio-oil igual a 7,1%.

35 **Ejemplo 3**

Se alimentan 500 g de una fracción orgánica húmeda de residuos sólidos urbanos (RSU), con un sistema de dosificación adecuado, en un autoclave de 1 litro agitado. El peso en seco de esta fracción se demuestra que es igual al 25% en peso (125 g).

40 Después de crear una atmósfera inerte dentro del autoclave por lavados con nitrógeno, el autoclave se calienta rápidamente con el fin de alcanzar la temperatura interna de 310°C. Se mantiene en agitación, en estas condiciones, durante 1 hora, observando que la presión dentro del autoclave alcance la presión máxima de 110 bar.

45 El autoclave entonces se enfría rápidamente hasta 80°C y la fase gaseosa se separa. Dicha fase gaseosa se analiza por separado por técnicas de cromatografía de gases, y demuestra que es igual a 22,5 g (18% en peso de la fracción seca del RSU inicial). El análisis demostró que el 90% de la fase gaseosa consiste en dióxido de carbono.

50 La mezcla de reacción obtenida de este modo se separa, por calentamiento, en un separador por gravedad obteniéndose tres fases:

- una fase oleosa que consiste en bio-oil que, una vez anhídra, se demuestra que es igual a 42,0 g (33,6% en peso de la fracción seca del RSU inicial);
- 55 - una fase sólida que consiste en un residuo sólido igual a 18,7 g (15% en peso de la fracción seca de la RSU inicial);
- una fase acuosa igual a 417 g con un contenido de RSU igual a 41,7 g (32% en peso de la fracción seca de la RSU inicial).

60 La fase acuosa anterior se utiliza totalmente, y sin ninguna dilución, como medio de cultivo en la etapa de fermentación posterior: se añade extracto de levadura sólo a una concentración de 1 g/l como fuente de vitaminas y el pH se ajusta a un valor de 6,5 mediante la adición de una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) 0,1 M. La fase acuosa se alimenta posteriormente a un fermentador que tiene un volumen de operación de 1 litro y se inocula con un consorcio microbiano aislado de una fase acuosa procedente del tratamiento de licuefacción de RSU descrito anteriormente, se mantiene en agitación, en el aire, a temperatura ambiente (25°C), durante 10 días. Antes

de utilizarse como inóculo, el consorcio microbiano aislado se transfirió a un medio agarizado para bacterias, del tipo Nutrient Agar y se utiliza como inóculo después del cultivo en un medio del tipo Nutrient Broth (inóculo igual a 2,5 g/l - peso en seco).

5 La fermentación se lleva a cabo a una temperatura de 30°C y con una agitación igual a 170 rpm. Después de 70 horas de fermentación, la biomasa se recupera por centrifugación (5000 rpm durante 30 minutos) para obtener 59,5 g de biomasa húmeda que contiene 20% en peso de células (peso en seco igual a 11,9 g).

10 La biomasa fermentada obtenida de este modo se alimenta al autoclave anterior agitado de 1 litro, junto con 500 g de una fracción orgánica de residuo sólido urbano (RSU): la licuefacción se lleva a cabo en las mismas condiciones de funcionamiento descritas anteriormente. Después de tratamiento de separación análogo, se obtienen de este modo 4,2 g más de bio-oil, que en total conducen a la formación de 46,2 g de bio-oil con un aumento en el rendimiento de bio-oil igual a 10%.

15 **Ejemplo 4**

Se alimentan 500 g de una fracción orgánica húmeda de residuos sólidos urbanos (RSU), con un sistema de dosificación adecuado, en un autoclave de 1 litro agitado. El peso en seco de esta fracción se demuestra que es igual al 25% en peso (125 g).

20 Después de crear una atmósfera inerte dentro del autoclave por lavados con nitrógeno, el autoclave se calienta rápidamente con el fin de alcanzar la temperatura interna de 250°C. Se mantiene en agitación, en estas condiciones, durante 4 horas, observando que la presión dentro del autoclave alcance la presión máxima de 42 bar.

25 El autoclave se enfría entonces rápidamente hasta 80°C y la fase gaseosa se separa. Dicha fase gaseosa se analiza por separado por técnicas de cromatografía de gases, y se demuestra que es igual a aproximadamente 20,0 g (16% en peso de la fracción seca del RSU inicial). El análisis demostró que el 91% de la fase gaseosa consiste en dióxido de carbono.

30 La mezcla de reacción obtenida de este modo se separa, por calentamiento, en un separador por gravedad obteniéndose tres fases:

- 35 - una fase oleosa que consiste en bio-oil que, una vez anhídra, se demuestra que es igual a 40,0 g (32% en peso de la fracción seca de la RSU inicial);
- una fase sólida que consiste en un residuo sólido igual a 18,7 g (15% en peso de la fracción seca de la RSU inicial);
- 40 - una fase acuosa igual a 421 g con un contenido de RSU igual a 46,3 g (37% en peso de la fracción seca de la RSU inicial).

45 La fase acuosa anterior se utiliza totalmente y sin ninguna dilución, como medio de crecimiento en la etapa de fermentación posterior: se añade extracto de levadura solamente a una concentración de 1 g/l como fuente de vitaminas y el pH se ajusta a un valor de 6,5 mediante la adición de una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) 0,1 M. La fase acuosa se alimenta posteriormente a un fermentador que tiene un volumen de operación de 1 litro y se inocula con un consorcio microbiano aislado de una fase acuosa procedente del tratamiento de licuefacción de RSU descrito anteriormente, se mantiene en agitación, en el aire, a temperatura ambiente (25°C), durante 10 días. Antes de utilizarse como inóculo, el consorcio microbiano aislado se transfirió a un medio agarizado para bacterias, del tipo Nutrient Agar y se utiliza como inóculo después del cultivo en un medio del tipo Nutrient Broth (inóculo igual a 2,5 g/l - peso en seco).

50 La fermentación se lleva a cabo a una temperatura de 30°C y con una agitación igual a 170 rpm. Después de 70 horas de fermentación, se recupera la biomasa por centrifugación (5.000 rpm durante 30 minutos) obteniéndose 81,1 g de biomasa húmeda que contiene 20% en peso de células (peso en seco igual a 16,2 g).

55 La biomasa fermentada obtenida de este modo se alimenta al autoclave anterior de 1 litro agitado, junto con 500 g de una fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (RSU): la licuefacción se lleva a cabo en las mismas condiciones de operación descritas anteriormente. Después de tratamiento de separación análogo, se obtienen de este modo 5,4 g más de bio-oil, que en total conducen a la formación de 45,4 g de bio-oil con un aumento en el rendimiento de bio-oil del 13,5%.

60

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de bio-oil a partir de residuos sólidos urbanos, que comprende:
 - 5 a) someter dicho residuo sólido urbano a licuefacción, obteniendo una mezcla que incluye una fase oleosa que consiste en bio-oil, una fase sólida y una fase acuosa;
 - b) someter la mezcla obtenida en la etapa a) a separación para obtener una fase oleosa, que consiste en bio-oil, una fase sólida y una fase acuosa;
 - 10 c) someter la fase acuosa obtenida en la etapa b) a fermentación, obteniendo una biomasa fermentada;
 - d) alimentar con la biomasa fermentada obtenida en la etapa de fermentación c) la etapa de licuefacción a).
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho residuo sólido urbano se selecciona de entre material orgánico derivado de la recogida diferenciada de residuos, material orgánico seleccionado de entre residuos sólidos urbanos no diferenciados, o mezclas de los mismos; o mezclas de dicho material orgánico con residuos de la poda y desechos de siega y/o residuos agrícolas.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que dicho residuo sólido urbano se utiliza en una mezcla con otros materiales, tales como:
 - lodos primarios y biológicos producidos en plantas depuradoras de aguas residuales;
 - residuos y/o residuos derivados de las actividades agrícolas y/o zootécnicas;
 - 25 - residuos y/o residuos derivados de la industria agrícola y alimentaria;
 - residuos y/o desechos derivados de procesado agrícola, de forestación y/o de silvicultura;

o mezclas de los mismos.
- 30 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho residuo sólido urbano, solo o mezclado con otros materiales, se trata sometiéndolo a un proceso preliminar de molienda o clasificación por tamaños antes de someterse a licuefacción.
- 35 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho residuo sólido urbano tiene un contenido de agua superior o igual a 50% en peso con respecto al peso total de dicho residuo sólido urbano.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que dicho residuo sólido urbano tiene un contenido de agua comprendido entre 55% en peso y 80% en peso con respecto al peso total de dicho residuo sólido urbano.
- 40 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 150°C y 350°C.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 200°C y 320°C.
- 45 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo a una presión comprendida entre 5 bar y 170 bar.
- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo a una presión comprendida entre 15 bar y 115 bar.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo durante un tiempo comprendido entre 5 minutos y 240 minutos.
- 55 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que dicha etapa de licuefacción a) se lleva a cabo durante un tiempo comprendido entre 15 minutos y 90 minutos.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de separación b) se lleva a cabo por separación por gravedad, filtración, centrifugación.
- 60 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo en presencia de por lo menos una levadura oleaginosa.
- 65 15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que dicha levadura oleaginosa se selecciona de entre: *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula gracilis*, *Rhodotorula graminis*, *Lypomices starkeyi*, *Lypomices lipofer*, *Trigonopsis variabilis*, *Candida kefyi*, *Candida curvata*, *Candida lipolytica*, *Torulopsis sp.*, *Pichia stipitis*, *Cryptococcus albidus*,

Cryptococcus sp. o mezclas de las mismas.

- 5 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 14, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo en presencia de por lo menos un consorcio microbiano aislado de la fase acuosa obtenida en dicha etapa de licuefacción a).
17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 20°C y 40°C.
- 10 18. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 25°C y 35°C.
- 15 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo durante un tiempo comprendido entre 10 y 120 horas.
- 20 20. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo durante un tiempo comprendido entre 24 horas y 100 horas.
21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo a un pH comprendido entre 4,5 y 7,5.
- 25 22. Procedimiento según la reivindicación 21, en el que dicha etapa de fermentación c) se lleva a cabo a un pH comprendido entre 5 y 7.
23. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, al final de dicha etapa de fermentación c), antes de ser alimentada a dicha etapa de licuefacción a), dicha biomasa fermentada se somete a un tratamiento de espesamiento.

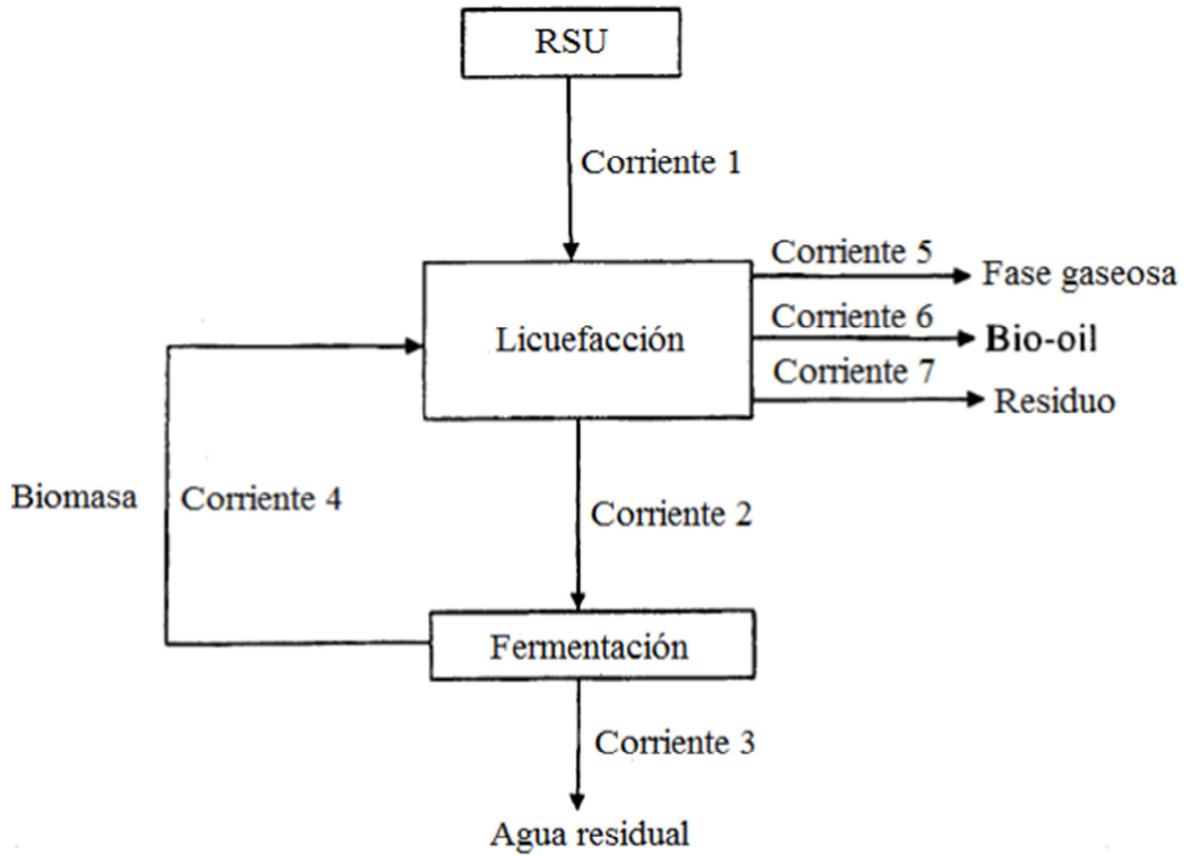


Fig. 1