

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 720**

51 Int. Cl.:

<b>C01B 25/45</b>	(2006.01)	<b>C02F 11/18</b>	(2006.01)
<b>C02F 1/52</b>	(2006.01)	<b>C12M 1/34</b>	(2006.01)
<b>C02F 1/66</b>	(2006.01)		
<b>C02F 3/28</b>	(2006.01)		
<b>C02F 11/04</b>	(2006.01)		
<b>C12M 1/107</b>	(2006.01)		
<b>C12M 1/00</b>	(2006.01)		
<b>C02F 1/58</b>	(2006.01)		
<b>C02F 11/121</b>	(2009.01)		
<b>C02F 11/14</b>	(2009.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.05.2017 PCT/EP2017/062142**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.11.2017 WO17198834**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2017 E 17723441 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3458413**

54 Título: **Método de recuperación de fosfato**

30 Prioridad:

**20.05.2016 EP 16170684**

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

**22.07.2020**

73 Titular/es:

**CAMBI TECHNOLOGY AS (100.0%)  
Postboks 78  
1371 Asker, NO**

72 Inventor/es:

**NILSEN, PAAL JAHRE y  
HOLTE, HANS RASMUS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 774 720 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método de recuperación de fosfato

## 5 Campo de la invención

La presente invención se relaciona con la recuperación de fosfato a partir del flujo de un proceso de tratamiento de material de origen principalmente orgánico (por ejemplo, en forma de desechos o biomasa). El fosfato se recupera como fosfato de magnesio y amonio (MAP), o hidratos de él, como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido.

10

Antecedentes de la invención

Con el paso de los años, los sedimentos y desperdicios municipales e industriales, además de otras fuentes de productos de desecho de origen principalmente orgánicos, como subproductos de jardinería, agricultura, actividad forestal, industria maderera, etc., han concitado cada vez mayor interés como posibles materiales iniciales para la producción de, por ejemplo, combustibles neutros de CO<sub>2</sub>, como biogás o bioetanol.

15

Muchos métodos conocidos de producción de combustibles neutros de CO<sub>2</sub> a base de dichos desechos o biomasa orgánicos incluyen un paso de tratamiento previo en que se emplea una especie de proceso de hidrólisis térmica (THP) y una digestión anaeróbica.

20

En la mayoría de los casos, cuando los desechos o biomasa orgánicos se someten a procesos de hidrólisis térmica, se libera al menos una parte de los compuestos de fósforo con enlace orgánico. De este modo, es frecuente que el material generado en dichos procesos comprenda concentraciones relativamente altas de, especialmente, ortofosfatos. Específicamente, esto se aplica a los sedimentos municipales e industriales tratados con proceso de hidrólisis térmica.

25

Así, además de los combustibles deseados con huella de carbono cero, estos procesos, luego de ocurrida la digestión anaeróbica, producen fracciones de efluente sólido, semisólido y de agua residual que contienen una cantidad considerable de fosfato que se origina de la fuente de material orgánico si no se adoptan medidas para reducir la cantidad de fosfato en el curso del proceso. A la fecha, ya se han desarrollado distintos métodos para recuperar parte del fosfato del efluente de agua residual en forma de fosfato de magnesio y amonio puro, que sirve como fertilizante en el sector de la agricultura.

30

Los procesos conocidos de recuperación y precipitación de fosfato en forma de fosfato de magnesio y amonio (MAP, NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>, estruvita) de dichos procesos incluye la adición de cloruro de magnesio a la fracción sólida o semisólida que salen del tanque de digestión donde se efectúa la digestión anaeróbica. Normalmente, estos procesos incluyen además uno o más pasos de separación en que los desperdicios sólidos o semisólidos se separan del efluente de agua residual antes de precipitarse el fosfato de magnesio y amonio de la fracción de efluente de agua residual que se acaba de formar.

35

40

Estos procesos, que son similares a métodos de extracción de fosfato aplicados además a diferentes tipos de agua residual, se han conocido durante algunos años y se aplican normalmente al producto de desecho resultante al finalizar el procedimiento pertinente (por ejemplo, al producto resultante del tratamiento de los residuos biológicos correspondientes de un tanque de digestión).

45

Uno de estos métodos comunes de recuperación del fosfato del agua residual consiste en hacer que el fosfato reaccione con el amonio presente en el agua residual y agregándose magnesio para producir el precipitado NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>.

50

En el documento EP1241140, se describe un proceso denominado "AirPrex" de formación controlada y extracción de estruvita directamente del sedimento digerido. En el proceso AirPrex, el sedimento digerido pasa por un tanque de reactor donde se alimenta aire y se agrega magnesio como cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>). El aire se alimenta con el fin de aumentar el valor del pH (mediante remoción de CO<sub>2</sub>) y de obtener una mezcla suficiente del sedimento y del cloruro de magnesio agregado. La estruvita formada se vacía en forma intermitente por el fondo del reactor (cónico). En un segundo tanque, los cristales de estruvita de menor tamaño se dejan decantar.

55

Normalmente, el pH necesario para la precipitación de estruvita (MAP), normalmente en el rango de 7,6 a 8, se logra mediante la adición de agentes alcalinos; por ejemplo, una solución de hidróxido de sodio u otras medidas similares. Además del proceso AirPrex, en el arte se conocen otros procesos alternativos de recuperación de estruvita.

60

En el documento US2012/0261334, se divulga la inhibición de la formación de incrustaciones en el sistema de tratamiento de agua residual en fases anteriores a un reactor de precipitación de estruvita mediante inyección de CO<sub>2</sub>. La inyección se puede controlar de acuerdo con una o más de las variables pH, flujo de fluido y presión de fluido. Posteriormente, el CO<sub>2</sub> inyectado se puede remover en el reactor de precipitación para mejorar la producción

65

de estruvita.

Otra alternativa conocida es la tecnología Crystalactor®, que se desarrolló originalmente con fines de ablandamiento de agua. Posteriormente, se descubrió que el reactor se podría usar para la cristalización de una variedad de carbonatos, fosfatos, haluros y sulfuros (de metales pesados) en la industria manufacturera. El fosfato se puede recuperar en forma de estruvita. En esencia, el sistema Crystalactor® consiste en un tanque cilíndrico el cual se llena parcialmente con un material seminal adecuado. Se bombea solución de alimentación, reactivos y recirculación hacia fases anteriores del proceso por el lecho particulado a una velocidad que permite mantener condiciones favorables de mezcla y sobresaturación. El efluente desborda por el ápice del reactor, mientras que el material seminal del lecho forma pellets mediante cristalización. A medida que los pellets aumentan progresivamente de peso, decantan gradualmente hacia el fondo del lecho. Periódicamente, la fracción inferior del lecho se descarga en un depósito de pellets, y se agrega material seminal fresco sin interrumpir la operación.

En el documento US8445259, se divulga un equipo y un método de tratamiento de sedimento orgánico, donde el sedimento primero se desagua; el sedimento desaguado pasa por un reactor de hidrólisis térmica para que se hidrolicen los polímeros que contiene el sedimento desaguado; el sedimento hidrolizado pasa por un digestor, en el que se digiere de forma anaeróbica el sedimento hidrolizado; el sedimento digerido se vuelve a desaguar hasta obtenerse una torta desaguada y una solución; entonces, la solución pasa por un reactor de cristalización para que el fósforo y nitrógeno de la solución se cristalicen y extraigan. Normalmente, en el paso de cristalización, se agrega magnesio y una solución alcalina.

En el documento EP 1 364 915 A1, se divulga un método de reducción de fosfato de la fase líquida del sedimento residual digerido, donde el agua residual se alimenta al tratamiento aeróbico después del tratamiento anaeróbico, y el sedimento reciclado proveniente de un tanque de decantación se somete a tratamiento anaeróbico. Luego, se alimenta una fracción de agua de un segundo paso de separación de sólido-líquido a un equipo para la extracción de fosfato (por ejemplo, un reactor MAP).

En el documento WO 2009/112208, se divulga un método de tratamiento de agua residual y una planta de tratamiento de agua residual para este fin, en el cual se alimenta sedimento hidrolizado y posteriormente sometido a tratamiento anaeróbico a una unidad de precipitación aparte con el fin de extraer fosfato. En este método, se hace precipitar fosfato de magnesio y amonio a partir de sedimento hidrolizado y sometido a tratamiento anaeróbico mediante la adición de sales de magnesio con el ajuste de un pH entre 7,5 y 7,8.

Al contrario de los métodos anteriores, en el documento WO 2013/034765, se describe un método de separación de fosfato a partir del flujo de un proceso, en el cual la separación se efectúa después de un paso de hidrólisis térmica, pero antes del paso de digestión anaeróbica en forma de extracción de estruvita (fosfato de magnesio y amonio) del flujo de proceso mediante precipitación. Se agrega un precipitante que contiene magnesio al flujo de proceso y una subcantidad del sedimento digerido de forma anaeróbica hacia fases anteriores del proceso en forma de una fase líquida separada se hace recircular por el flujo de proceso después de someterse a hidrólisis, pero antes del paso de extracción de fosfato, o durante él, a fin de obtener amonio para la obtención de fosfato de magnesio y amonio. Se describe que la extracción de fosfato en forma de cristales de fosfato de magnesio y amonio antes del paso de digestión, en comparación con después del paso de digestión, tiene la ventaja de que la proporción entre estructura cristalina y estructura de partículas de sedimento permite mejorar la extracción de cristales de fosfato de magnesio y amonio (por ejemplo, por medio de un decantador centrífugo) del flujo de proceso, lo que aumenta el rendimiento del fosfato de magnesio y amonio con una estructura cristalina relativamente fina. El proceso se describe como especialmente ventajoso cuando la hidrólisis se efectúa a una temperatura en el rango de 70° a 90 °C y permite obtener un producto hidrolizado con un pH en el rango de 10 a 12.

En el documento US 2010/021979, se describe la fabricación de biogás a partir de materia orgánica. La hidrólisis térmica de materia prima a base de desechos orgánicos se lleva a cabo a una temperatura de 100 °C a 220 °C y a una presión de 2 a 20 barías, lo que precede a la digestión aeróbica del hidrolizado. En el digestor anaeróbico, se extrae parte de la mezcla, la que se trata en una unidad extractora de nitrógeno, donde se agregan iones de magnesio (por ejemplo, en forma de hidróxido de magnesio u óxido de magnesio) para que precipite MAP. Después del tratamiento, la parte restante de la mezcla se devuelve al digestor.

En el método descrito en el documento WO 2013/133703, se hace precipitar MAP y valores de calcio a partir de un efluente de biomasa líquida obtenido mediante digestión anaeróbica durante un tratamiento a presión reducida. Al efluente se le aplica presión baja para purgar el dióxido de carbono presente a nivel de saturación. Con ello, el pH del efluente aumenta a al menos 8,0, lo que favorece la precipitación de MAP.

El fósforo se caracteriza por ser un recurso limitado de la tierra, relativamente escaso y no distribuido de manera uniforme en el planeta. Hoy en día, el fósforo utilizado en fertilización proviene de la explotación minera de roca de fosfato a medida que las reservas de guano se agotan. Algunos investigadores calculan que la reserva de roca de fosfato se agotará dentro de 50 a 100 años, y una gran parte del fósforo extraído hasta ahora ha terminado en el medio hídrico o se ha depositado con residuos, lo que impide su reutilización, lo que hace que la recuperación de fosfato sea cada vez más urgente.

Al considerarse la creciente necesidad de recuperar fosfato eficazmente de productos de biomasa en general, como por ejemplo sedimento de agua residual, y desperdicios municipales o industriales, existe una necesidad urgente, continua y creciente de desarrollar métodos eficientes y que ahorren energía para el tratamiento de biomasa y la recuperación concomitante de fosfato. Por ejemplo, existe una necesidad de reducir el consumo de agua, energía y agentes químicos costosos.

Resumen de la invención

En un primer aspecto, la presente invención se relaciona con un método de recuperación de fosfato a partir de un proceso de tratamiento de material de biomasa, que comprende los pasos de:

- i) adición de una fuente de ion magnesio a un material de biomasa;
- ii) sometimiento del material de biomasa a un tratamiento previo, que comprende al menos los pasos de:

- hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C, a una presión de saturación;

- iii) transferencia del material de biomasa sometido a tratamiento previo a un tanque de digestión y digestión anaeróbica del material de biomasa sometido a tratamiento previo a un pH en un rango de 7,5 a 8,5, con lo que se obtiene un digestato;

- iv) control del pH del tanque de digestión mediante extracción continua de biogás, incluido dióxido de carbono y gas metano, y separación parcial o total del dióxido de carbono del biogás; luego, reintroducción parcial en el tanque de digestión del biogás obtenido con menor cantidad de dióxido de carbono;

- v) opcionalmente, reducción de la concentración de fosfato de magnesio y amonio en el tanque de digestión sometiéndose una subcantidad del digestato a un tratamiento de separación del fosfato de magnesio y amonio, y reintroducción al tanque de digestión del resto de los sólidos o semisólidos;

donde los pasos i) y ii) se efectúan antes del paso iii) y donde el fosfato se recupera como fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido del tanque de digestión.

El producto de digestato sólido o semisólido de un método según la presente invención se puede usar como acondicionador y/o fertilizante de suelos.

En un segundo aspecto, la presente invención se relaciona con una planta de tratamiento de biomasa para la producción de biogás, planta de tratamiento de biomasa que incluye:

- al menos un reactor de tratamiento previo de biomasa (2), que tiene una entrada de material de biomasa para la alimentación de material de biomasa sin tratar (1) y una salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo;
- al menos un tanque de digestión (3), que tiene una entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo conectada a dicha salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo y una salida de biogás (9), y al menos una salida de producto de digestato (5) para el producto de digestato, que incluye fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral;
- un separador de dióxido de carbono (10), que tiene una entrada de biogás conectada a dicha salida de biogás (9), una salida de dióxido de carbono (13) y una salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11);
- el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) que cuentan con una entrada de vapor conectada a una fuente de vapor y el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) adaptados para efectuar hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C, a presión de saturación; y
- el o los tanques de digestión (3) adaptados para someter al material de biomasa sometido a tratamiento previo a una digestión anaeróbica a un pH en un rango de 7,5 a 8,5, lo que permite obtener un digestato; caracterizado porque:
  - se dispone una entrada de una fuente de ion magnesio para agregar una fuente de ion magnesio (4) a la biomasa antes de introducir al tanque de digestión de biomasa (3) la biomasa sometida a tratamiento previo; y
  - la salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11) del separador de dióxido de carbono (10) se conecta a una salida de biogás producido (14) de la planta de tratamiento de biomasa y se conecta a una entrada de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (12) del tanque de digestión (3) para la reintroducción parcial al tanque de digestión del biogás obtenido con menor cantidad de dióxido de carbono.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa según la invención, donde se agrega una fuente de ion magnesio antes de un paso de hidrólisis térmica, y se controla el pH durante la digestión para la extracción de biogás y la reintroducción parcial en el digestor del biogás con menor cantidad de dióxido de carbono.

La figura 2 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa según la invención, que exhibe otras características opcionales, como el enfriamiento previo del material sometido a tratamiento previo antes de la digestión y separación de fosfato de magnesio y amonio para reducir la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato.

5 La figura 3 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa según la invención, que incluye características de reducción de la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato.

10 Descripción detallada de la invención

El método de la presente invención permite recuperar fosfato en forma simultánea con biomasa en digestión a fin de obtener productos de digestión, como biogás, junto con un producto de digestato sólido o semisólido utilizable en, por ejemplo, el acondicionamiento de suelos. Principalmente, el fosfato se recupera como fosfato de magnesio y amonio como parte integral del producto de digestato sólido o semisólido, que se puede usar directamente como acondicionador y/o fertilizante de suelos para fines agrícolas. Normalmente, el fosfato se recupera como fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido.

20 Específicamente, el método de la presente invención permite recuperar fosfato en forma de fosfato de magnesio y amonio que incluye un producto de digestato sólido o semisólido reutilizable. En algunas modalidades de la invención en que se efectúa el desagüe del producto de digestato, la fracción obtenida de desechos líquidos tiene un contenido de fosfato considerablemente menor y se puede procesar adicionalmente sin necesidad de procedimientos de reducción de fosfato adicionales. Por ello, la presente invención difiere de la mayoría de los procesos conocidos de extracción, reducción o recuperación de fosfato debido a que estos procesos normalmente se basan en la precipitación de fosfato de magnesio y amonio de una fracción de efluente de agua residual (es decir, recuperación de fosfato de magnesio y amonio sustancialmente puro de una fracción líquida) después de una extracción inicial de la fracción de desechos sólidos o semisólidos. Debido a la combinación específica de pasos de método, el método de la presente invención permite obtener un producto de digestato sólido o semisólido de valor como acondicionador o fertilizante de suelos en lugar de una fracción de desechos sólidos o semisólidos que normalmente se debe desechar.

30 El material de biomasa seleccionado para el método de la presente invención puede ser cualquier material de biomasa, como por ejemplo paja, madera, fibras, cebos, pulpa de papel, lechada, desechos domésticos, sedimento industrial o municipal, subproductos de jardinería, agricultura, actividad forestal, industria maderera u otros materiales similares aplicables a la producción de biogás.

40 Según una modalidad de la invención, el material de biomasa introducido en el proceso se selecciona del grupo formado por paja, madera, fibras, cebos, pulpa de papel, lechada, desechos domésticos, subproductos de jardinería, agricultura, actividad forestal e industria maderera. La presente invención es especialmente adecuada para la recuperación de fosfato del flujo de proceso a partir de procesos de tratamiento de material de biomasa (por ejemplo, paja, madera o fibras). En una modalidad preferida de la invención, el material de biomasa se selecciona del grupo formado por paja, madera, fibras y subproductos de jardinería, agricultura, actividad forestal e industria maderera. En otra modalidad preferida, el material de biomasa se selecciona entre paja, madera y fibras. En otra modalidad de mayor preferencia, el material de biomasa corresponde a paja.

45 Con frecuencia, los métodos conocidos de producción de combustibles neutros de CO<sub>2</sub> a base de biomasa, como por ejemplo desechos orgánicos, incluyen uno o más pasos de tratamiento previo en que se emplea una especie de proceso de hidrólisis térmica (THP), donde se produce una digestión anaeróbica luego del tratamiento previo. El término "proceso de hidrólisis térmica" se refiere a una hidrólisis térmica a la que opcionalmente siguen los pasos posteriores de tratamiento previo, como oxidación y/o explosión de vapor.

50 En el método de la presente invención, el tratamiento previo se basa en un paso de hidrólisis térmica efectuada en uno o más reactores en que se utiliza una combinación de alta temperatura y alta presión con el fin de desintegrar la estructura celular del material orgánico de la biomasa y descomponer compuestos orgánicos de alto peso molecular en moléculas menores.

55 El método de la invención aprovecha las condiciones de proceso aplicadas a los pasos de tratamiento previo con el fin de lograr una cascada de ventajas en comparación con los métodos mencionados y descritos en párrafos anteriores. Una característica significativa de la presente invención es que la adición de la fuente de ion magnesio se efectúa antes de que la biomasa sometida a tratamiento previo ingrese al tanque de digestión. En una modalidad preferida del método de la invención, el paso i) de adición de la fuente de ion magnesio se efectúa antes del proceso de hidrólisis térmica del paso ii), o durante él; en una modalidad de mayor preferencia, el paso i) se efectúa antes del proceso de hidrólisis térmica del paso ii). En una modalidad alternativa, el paso i) de adición de la fuente de ion magnesio se efectúa después de la hidrólisis térmica o durante una explosión húmeda del paso ii).

65 La adición de la fuente de ion magnesio al material de biomasa sometido a tratamiento previo antes de que el

material ingrese al tanque de digestión ofrece la posibilidad de prolongar el tiempo de proceso de la reacción relacionada con la formación de, por ejemplo, estruvita, en comparación con la mayoría de los procesos del arte previo. Esto, permite obtener una mayor productividad en la formación de fosfato de magnesio y amonio.

5 Debido a la aplicación de una temperatura mayor de 140 a 200 °C durante la hidrólisis térmica o en cualquiera de los pasos opcionales posteriores de oxidación en húmedo y explosión en húmedo, la solubilidad de la fuente de ion magnesio agregada aumenta significativamente, lo que permite el uso de sales de magnesio más económicos y menos solubles, como  $Mg(OH)_2$  y  $MgO$ , al contrario del  $MgCl_2$ . En una modalidad preferida de la invención, la fuente de ion magnesio es  $MgO$  y/o  $Mg(OH)_2$ . La fuente de ion magnesio se puede agregar como  $MgO$  o  $Mg(OH)_2$ , o como  
10 una mezcla de  $MgO$  y  $Mg(OH)_2$ . De preferencia, el material de biomasa sometido a tratamiento tiene una temperatura de al menos 100 °C al agregarse la fuente de ion magnesio. Además de la temperatura, el tiempo de proceso también es un factor, ya que cuanto mayor sea el tiempo de proceso cuando hay presente una fuente de ion magnesio, mejor es la solubilidad obtenida y se logra mayor eficiencia en la formación de fosfato de magnesio y amonio en el proceso.

15 Otra ventaja de la adición de la fuente de ion de magnesio antes del paso de hidrólisis térmica (por ejemplo, en forma de  $MgO$ ) radica en una reducción de la energía necesaria para lograr la temperatura correcta para la hidrólisis térmica. Debido a la naturaleza exotérmica del proceso, se genera calor, y se reduce la necesidad de calentar mediante, por ejemplo, inyección indirecta o directa de vapor.

20 La formación de fosfato de magnesio y amonio (estruvita) se puede iniciar incluso antes de que el flujo de proceso ingrese al tanque de digestión, pero se desarrolla principalmente durante la digestión. Esto hace que el fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, forme parte integral de la fracción sólida o semisólida del producto de digestato del tanque de digestión. En el presente documento, esta fracción sólida o semisólida, que incluye el fosfato de  
25 magnesio y amonio, se manipula fácilmente y sirve como producto fertilizante en el sector de la agricultura.

El método según la invención no depende de un equipo de proceso aparte para la cristalización y/o separación de fosfato de magnesio y amonio. Sin embargo, debido a que la recuperación de fosfato según la invención es altamente eficiente, puede haber casos en los cuales el contenido de fosfato del producto de digestato sólido o  
30 semisólido es de hecho muy alto para su uso como fertilizante o acondicionador de suelos. Diferentes países o regiones geográficas tienen diferentes legislaciones referentes al contenido de fósforo permisible en fertilizantes. Asimismo, el método de la invención comprende un paso v) opcional de reducción de la concentración de fosfato en el tanque de digestión sometiéndose una subcantidad del digestato a un tratamiento de extracción de fosfato y reintroducción al tanque de digestión del resto de los semisólidos. Si se considera necesario debido a la legislación,  
35 o por ejemplo, la biomasa disponible presenta un contenido muy alto de fosfato, el contenido de fosfato se puede reducir en mayor o menor grado durante el proceso de digestión sin necesidad de someter a toda la corriente de proceso a un procedimiento lento y costoso de cristalización y/o separación de fosfato de magnesio y amonio. Además, es posible regular el contenido de fosfato, como fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, en el producto de digestato final al evitarse los casos en que se depositen grandes cantidades de producto de digestato  
40 (es decir, digestato desaguado) en lugar de reutilizarse como valioso fertilizante. En una modalidad de la invención, existe un paso v) que es obligatorio.

Además, en modalidades de la invención en que existe el paso v), el contenido de fosfato de magnesio y amonio del producto de digestato sólido o semisólido del tanque de digestión se puede controlar a través de la medición del  
45 contenido de fosfato o fósforo (por ejemplo, un análisis de ortofosfato o un análisis de fósforo total) en el tanque de digestión y la regulación del flujo al separador de fosfato de magnesio y amonio de acuerdo con el contenido de fosfato medido. De esta manera, se puede regular el grado al cual se efectúa el paso de reducción de fosfato de magnesio y amonio. Por ejemplo, incluso cuando se ha establecido que en una planta de tratamiento de biomasa se incluya un paso v) de reducción de fosfato de magnesio y amonio, diferentes tipos de material de biomasa pueden  
50 incluir varias cantidades de fósforo disponible para su recuperación como fosfato. De este modo, en una modalidad del método de la invención, el paso v) depende de una medición del contenido de fosfato o fósforo en el digestato obtenido en el paso iii). En otra modalidad específica de la invención en que existe el paso v), el grado al cual se efectúa la reducción de fosfato de magnesio y amonio realizada en el paso v) se controla a través de la medición del contenido de fosfato o fósforo en el digestato obtenido en el paso iii).

55 La formación de incrustaciones a menudo causadas por un alto contenido de fosfato en la fase líquida de productos de desecho ha causado problemas en bombas, tuberías y reactores. El proceso según la presente invención impide o minimiza los problemas de incrustaciones en diferentes equipos de proceso debido a que la formación de estruvita ocurre principalmente en el tanque de digestión, lo que hace que la estruvita forme parte integral de la fracción sólida o no líquida del producto de digestato del tanque de digestión.  
60

Durante los pasos de tratamiento previo, la biomasa se hidroliza y degrada, y normalmente la biomasa sometida a tratamiento previo resultante es ácida con un pH en un rango de aproximadamente 4 a 6. Por lo tanto, el pH ácido dificulta la formación de fosfato de magnesio y amonio en cualquier grado mayor. Sin embargo, el pH puede  
65 depender de la biomasa específica tratada, y el pH durante el tratamiento previo (paso ii) del presente documento) se puede mantener de preferencia menor que pH 7,0, de preferencia menor que 6,5 (por ejemplo, menor que 6,0)

para así evitar la formación excesiva de fosfato de magnesio y amonio antes de la entrada de la biomasa sometida a tratamiento previo al tanque de digestión.

La biomasa sometida a tratamiento previo tiene además una alta temperatura (por ejemplo, mayor que 100 °C) y se caracteriza por un contenido relativamente alto de materia seca mayor que 10 % por peso (por ejemplo, mayor que 15 %, mayor que 20 %, mayor que 25 %, mayor que 30 % o mayor que 35 %); de preferencia, el contenido de materia seca del material de biomasa sometido a tratamiento previo es mayor que 25 % por peso (por ejemplo, mayor que 30 %, mayor que 40 %, mayor que 45 % o mayor que 50 %). De preferencia, el contenido de materia seca del material de biomasa sometido a tratamiento previo antes del paso de digestión está en un rango de 25 % a 50 % por peso.

La hidrólisis térmica se puede complementar con un paso posterior de explosión húmeda efectuada en uno o más tanques descargadores de presión, donde el contenido del tanque se desintegra debido a la descarga rápida de la presión. La desintegración y división de la biomasa aumenta la efectividad del siguiente paso de digestión.

Normalmente, el material de biomasa introducido al método puede tener una concentración (sólida seca) de materia seca mayor que 50 %, de preferencia mayor que 75 % por peso y de mayor preferencia mayor que 80 % por peso. Dependiendo del material de biomasa aplicado, el método según la invención puede comprender además un paso de dilución previo a la hidrólisis térmica.

La presente invención pone énfasis en la manera de recuperar fosfato a partir de biomasa sometida a tratamiento y digestión previos (es decir, en forma de fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él) como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido. El tratamiento previo con hidrólisis térmica y, si se incluye, posterior explosión húmeda (denominada además "explosión de vapor") se pueden efectuar de diferentes maneras dependiendo del material específico tratado y/o el equipo disponible.

Por ejemplo, en el documento WO 2011/006854, se describe un método adecuado de hidrólisis térmica y explosión de vapor, que comprende un paso de precalentamiento aproximadamente continuo; calentamiento y presurización de al menos dos reactores secuenciales mediante la alimentación de vapor; y la conducción de la biomasa caliente y presurizada desde los reactores a un primer tanque descargador de presión (y luego a un segundo), donde la presión se descarga con ayuda de un inyector que disuelve la biomasa. El segundo tanque descargador de presión se encuentra en condiciones de vacío para que el vapor bulla a una temperatura menor. El vapor del primer tanque descargador de presión se usa en el calentamiento del tanque de precalentamiento, y el vapor del segundo tanque descargador de presión se usa en el calentamiento del tanque de precalentamiento y/o el reactor de hidrólisis térmica. Luego, la biomasa sometida a tratamiento se puede conducir a una instalación en fases posteriores del proceso para someterse a algún tratamiento adicional, como fermentación. El sistema descrito permite la reducción del tiempo del ciclo y la optimización del llenado del volumen del reactor.

De manera alternativa, en el documento WO 00/73227, se describe un método y una distribución adecuados para la realización de hidrólisis continua de biomasa, que comprende un precalentamiento hasta una temperatura de aproximadamente 100 °C, un tratamiento térmico en un reactor presurizado cuya temperatura puede variar entre 130 y 180 °C, y una reducción instantánea de la presión (explosión de vapor o explosión húmeda).

Además, en el documento WO 96/09882, se describe un método y equipo adecuados para la realización de hidrólisis, donde se alimenta una mezcla de material orgánico precalentado; opcionalmente, se alimenta agua a un reactor, y se calienta con vapor reciclado desde un reactor posterior que presenta una presión mayor. Luego de reducirse adicionalmente la presión en un reactor posterior, el material se transfiere por medio de la diferencia de presión y con ayuda de una bomba. Normalmente, la temperatura del primer y siguiente reactores va de 120 a 150 °C. A continuación, la masa tratada se somete a una explosión de vapor mediante su transferencia a otro reactor. De acuerdo con su descripción, el método es más sencillo debido a que el uso directo de vapor permite utilizar equipos más simples y menos problemas de mantención.

A continuación, se proporcionan además otros detalles de los pasos preferidos de tratamiento previo, así como también de la digestión:

#### *Hidrólisis térmica*

El método de la presente invención incluye un tratamiento previo, que comprende al menos un paso de hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C a una presión de saturación. El material de biomasa y/o desechos orgánicos (y, si corresponde, una fuente de ion magnesio) se introduce a un reactor, donde el material se mezcla y calienta con vapor directo o indirecto a 140 a 220 °C, de preferencia 140 a 200 °C, de mayor preferencia 150 a 190 °C, de mayor preferencia 160 a 180 °C y de mayor preferencia aun 170 °C, a presión de saturación. Al llegar a la temperatura deseada y la presión deseada, el material se puede mantener en estas condiciones durante 5 a 30 minutos, de preferencia 10 a 25 minutos, de mayor preferencia 10 a 20 minutos y de mayor preferencia 15 a 20 minutos.

Diferentes países o regiones geográficas tienen diferentes legislaciones referentes a los requisitos de esterilización o tratamiento térmico de un producto de digestato antes de su uso, por ejemplo, como fertilizante o acondicionador de suelos. Normalmente, estos requisitos dependen del material de biomasa aplicado (por ejemplo, cuando el material de biomasa incluye desechos de mataderos, sedimentos, estiércol, biosólidos, residuos biológicos o corrientes residuales). Es frecuente que exista algún requisito de esterilización que impida la contaminación de terrenos de labranza con ciertos tipos de microorganismos indeseables e, incluso, nocivos, como *E.coli*, *Enterococcaceae* y *Salmonella*. Normalmente, la exigencia legislativa de una esterilización total exige un tratamiento térmico a una temperatura mayor o igual que 133 °C durante 20 minutos, en que una temperatura mayor permite reducir el tiempo de tratamiento.

Además del objetivo principal ya descrito en párrafos anteriores de someter el material de biomasa a hidrólisis y degradación para facilitar la formación de biogás, el tratamiento previo se usa además para minimizar la presencia de microorganismos indeseables y facilitar el uso directo del producto final en forma de un producto de digestato sólido o semisólido en, por ejemplo, terrenos de labranza como fertilizante o acondicionador de suelos. De esta manera, se recupera el fosfato de magnesio y amonio que incluye el producto de digestato y se regresa a la tierra en lugar de terminar en el agua residual, dañando el medio ambiente. Dependiendo del material de biomasa aplicado, puede ser necesaria o no una esterilización, por lo que, en general, la hidrólisis térmica de la presente invención se puede efectuar a una temperatura de 140 a 220 °C durante 5 a 60 minutos, a presión de saturación. En las modalidades de la invención en que se requiere esterilización, de preferencia la hidrólisis térmica se produce a una temperatura de 140 a 180°C durante 20 a 40 minutos, y de mayor preferencia a una temperatura de 140 a 165°C durante 20 a 30 minutos, a presión de saturación. Las personas versadas en el arte saben que la esterilización se puede producir además a temperaturas mayores que 140 °C durante intervalos de tiempo menores que 20 minutos (es decir, cuanto mayor la temperatura, menor el intervalo de tiempo necesario).

Asimismo, en modalidades específicas de la invención en que se introduce el material de biomasa al proceso, estas incluyen uno o más materiales de biomasa seleccionados entre desechos industriales, como desechos de mataderos, sedimento industrial o municipal; desechos agrícolas, como estiércol; biosólidos; residuos biológicos; y corrientes residuales. Las condiciones del tratamiento previo con hidrólisis térmica se seleccionan de modo de garantizarse la esterilización del producto de digestato.

En una modalidad específica de la invención, la hidrólisis térmica se efectúa a una temperatura de 140 °C a 220 °C, y se mantiene durante 5 a 30 minutos, luego de lo cual se lleva a cabo una explosión húmeda por medio de la reducción de la presión de 5 a 35 barías hasta llegar a una presión menor o igual que la atmosférica.

El método puede incluir además un paso de enfriamiento previo posterior a la hidrólisis térmica y antes de la entrada del material sometido a tratamiento previo al tanque de digestión.

#### *Explosión húmeda*

Luego, el material térmicamente hidrolizado y opcionalmente oxidado se conduce adicionalmente a uno o más tanques de evaporación súbita, en los cuales se reduce la presión de al menos 5 barías, de preferencia entre 5 y 35 bar, de mayor preferencia entre 15 y 35 barías, a aproximadamente 1 baría o menos (es decir, presión atmosférica o menor que presión atmosférica). En algunos casos, puede haber menor presión en un primer tanque de evaporación súbita (o uno adicional) para facilitar la transferencia de biomasa al tanque, en cuyo caso la caída de presión es menor que 1 baría. Durante esta explosión húmeda opcional, se desintegra la mayoría de las estructuras celulares. Inmediatamente después de la explosión húmeda, normalmente la temperatura del material oxidado está en el rango de 95 a 120 °C, de preferencia de 95 a 110 °C, de mayor preferencia en el rango de 100 a 110 °C y de mayor preferencia en el rango de 100 a 107 °C, con la cual se esteriliza el material.

Una explosión húmeda se puede producir en un tanque descargador de presión o, en forma secuencial, en dos o más tanques descargadores de presión. En el presente documento, los términos "tanque de evaporación súbita" y "tanque descargador de presión" se usan en forma intercambiable.

Dadas las temperaturas predominantes durante el paso de explosión húmeda, la fuente de ion magnesio también se puede agregar al flujo de proceso antes de que dicho flujo ingrese a la explosión húmeda, o durante ella, lo que, en principio, produce una serie de los mismos beneficios que se describen antes para los procesos en los que se agrega la fuente de ion magnesio a la biomasa que ingresa al paso de hidrólisis térmica.

En una modalidad específica de la invención, el tratamiento previo (es decir, que incluye al menos un paso de hidrólisis térmica) comprende además una explosión húmeda, donde la presión se reduce de al menos 5 barías a 1 baría o menos, después de producida dicha hidrólisis térmica. En algunas modalidades del método de la invención, que incluye una explosión húmeda, el paso de adición de la fuente de ion de magnesio se puede efectuar después de producida la hidrólisis térmica o durante la explosión húmeda.

#### *Oxidación*

- Una vez finalizada la hidrólisis térmica, pero antes de una explosión húmeda opcional, el tratamiento previo puede comprender opcionalmente un paso adicional de oxidación húmeda. La oxidación húmeda preferida se puede efectuar mediante adición de un agente oxidante correspondiente al material. De preferencia, el agente oxidante puede ser oxígeno, peróxido de hidrógeno o aire, en una cantidad que puede depender del contenido de lignina y
- 5 que, normalmente, corresponde a de 2 a 20 % de la demanda química de oxígeno (COD) del material, de preferencia de 3 a 19 %, de mayor preferencia de 5 a 17 %, como de preferencia de 7 a 16 %, de mayor preferencia de 8 a 15 %, como de preferencia de 9 a 14 %, de mayor preferencia de 10 a 13 %, y se determina por el desarrollo de la presión en el reactor.
- 10 La presión y la temperatura se pueden aumentar en relación con la oxidación húmeda a entre 15 y 35 barías, de preferencia entre 20 y 35 barías, de mayor preferencia entre 25 y 35 barías y de mayor preferencia entre 30 y 35 barías, y de 170 a 210 °C, de preferencia de 180 a 200 °C, de mayor preferencia de 190 a 200 °C, respectivamente. En una modalidad, la oxidación se produce a una presión mayor que la presión de saturación en la hidrólisis térmica del paso anterior. Al llegar a la presión deseada y la temperatura deseada después de agregarse el agente oxidante,
- 15 estas condiciones se pueden mantener durante 1 a 30 minutos, de preferencia 5 a 25 minutos, de mayor preferencia 10 a 20 minutos y de mayor preferencia 15 a 20 minutos. Opcionalmente, una vez finalizada la reacción de oxidación húmeda, la presión del material se puede descargar parcialmente hasta entre 5 a 10 barías. En tal caso, el intervalo de presión en el cual se puede efectuar una explosión húmeda posterior opcional es de 1 a 5 barías. Si no se realiza una descarga parcial de la presión, el intervalo de presión es de 1 a 35 barías.
- 20 Si se efectúa un tratamiento previo mediante la combinación específica de una hidrólisis térmica, una oxidación húmeda y una explosión húmeda, se obtienen significativas ventajas adicionales con el método de la invención. Por ejemplo, esta combinación de pasos permite procesar material mal dividido con partículas de un tamaño hasta 50 cm. Además, el método puede funcionar con una concentración de materia seca de hasta 50 % por peso sin que se
- 25 aprecie una reducción de efectividad del tratamiento previo. En el documento WO 2006/032282, se puede encontrar mayores detalles sobre cómo efectuar un tratamiento previo mediante la combinación de hidrólisis térmica, oxidación húmeda y explosión húmeda.
- 30 En una modalidad específica de la invención, el método comprende una oxidación húmeda después del proceso de hidrólisis térmica y antes de una explosión húmeda opcional, la oxidación húmeda se efectúa a una presión de 5 a 35 barías, e incluye la adición de un agente oxidante en una cantidad de 2 a 20 % de la demanda química de oxígeno; de preferencia, la oxidación húmeda se puede efectuar a una presión de 15 a 35 barías y a una temperatura de 170 a 210 °C, manteniéndose durante 1 a 30 minutos.
- 35 *Digestión*
- En el método según la invención, el material de biomasa sometido a tratamiento previo se somete a una digestión anaeróbica en uno o más tanques de digestión para producir biogás y un producto de digestato sólido o semisólido.
- 40 Normalmente, cuando se instala un nuevo tanque de digestión, ya sea para un proceso continuo o por cargas, se puede efectuar una inoculación con material ya procesado de una planta existente a fin de iniciar la digestión anaeróbica.
- 45 El paso de digestión puede emplear todos los microorganismos capaces de degradar los componentes del material de biomasa hidrolizado en biogás. Como lo saben las personas versadas en el arte del campo, estos microorganismos pueden, por ejemplo, ser adecuados para digestión mesófila entre 20 y 45 °C, o específicamente entre 30 y 38 °C, donde los mesófilos son el principal microorganismo presente. También pueden ser adecuados, por ejemplo, para digestión termófila entre 49 y 70 °C, específicamente entre 49 y 57 °C, donde los termófilos son el principal microorganismo presente.
- 50 Se puede emplear tanques de digestión de cualquier tipo conocido y adecuado para efectuar el paso de digestión anaeróbica incluido en el método según la invención. Normalmente, se puede usar un reactor de tanque de agitación continua, o tanques de digestión similares adecuados adaptados con un sistema mezclador. Normalmente, la digestión de la presente invención se puede efectuar como un proceso continuo. Sin embargo, se puede incluir más
- 55 de un tanque de digestión en el método y la planta de tratamiento según la invención para así contar con una capacidad mayor, con dichos tanques de digestión adicionales conectados posiblemente en serie o en paralelo. En una modalidad preferida de la invención, existen dos o más tanques de digestión en funcionamiento paralelo. El tiempo normal de retención hidráulica (HRT) para procesos según la presente invención va de 10 a 20 días, de preferencia menos de 18 días y de mayor preferencia de 11 a 15 días.
- 60 La formación de fosfato de magnesio y amonio depende del pH durante el tratamiento previo y la última digestión del tanque de digestión. La formación de fosfato de magnesio y amonio aumenta con un pH creciente. Normalmente, un valor de pH mayor que 7,0 puede aumentar la formación de fosfato de magnesio y amonio; de preferencia, el valor de pH durante la formación de fosfato de magnesio y amonio puede ser de al menos 7,5 (por ejemplo, en un rango
- 65 de pH de 7,5 a 9,0 o 7,5 a 8,5) y de mayor preferencia un pH de al menos 7,9 (por ejemplo, en un rango de pH de 7,9 a 9,0 o 7,9 a 8,5). Asimismo, en el método de la presente invención, el material de biomasa sometido a

tratamiento previo se somete a una digestión en el tanque de digestión a un pH en un rango de 7,5 a 8,5; en una modalidad preferida de la invención, el pH del tanque de digestión está en un rango de 7,5 a 8,3; en una modalidad de mayor preferencia, en un rango de 7,9 a 8,3.

5 Durante el paso de digestión, se convierte el material de biomasa sometido a tratamiento previo (por ejemplo, las proteínas y otros materiales que contienen nitrógeno liberan amoníaco, lo que hace que aumente el pH del digestato). Debido al tratamiento previo de hidrólisis térmica, el material tiene una viscosidad menor, lo que permite al digestor alcanzar un índice de alimentación más alto, permitiendo además una mayor conversión orgánica en el digestor. Cuanto más alto es el índice de alimentación y mayor la conversión orgánica, mayor es la cantidad de amoníaco que se libera y mayor el pH del digestor. Debido a que el volumen del digestato en el tanque de digestión es significativamente mayor que el volumen agregado proveniente del paso de tratamiento previo, el digestato tiene cierta capacidad de buffer por lo que la acidez levemente mayor del material alimentado proveniente del tratamiento previo no influye significativamente en el pH del digestato. Sin embargo, en la presente invención es recomendable contar con un pH en el tanque de digestión mayor que el usual en tanques de digestión tradicionales. Además, el pH del material sometido a tratamiento previo puede depender de la biomasa específica usada, y cualquier efecto del pH sobre el digestato puede depender además del índice de alimentación. Por lo tanto, el pH del presente método se puede controlar con el producto de biogás, lo que se describe en mayor detalle a continuación.

20 Durante el paso de digestión, el biogás producido se puede extraer continuamente del tanque de digestión. Normalmente, el biogás obtenido directamente comprende metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno como los productos principales. En el método según la invención, normalmente la proporción entre metano y dióxido de carbono es 60:40.

25 Los presentes inventores descubrieron que el valor de pH del tanque de digestión se puede controlar de modo de favorecer la formación de fosfato de magnesio y amonio al cambiarse el equilibrio de dióxido de carbono formado durante la digestión. En métodos del arte previo, normalmente se agregan agentes alcalinos en alguna etapa del proceso para así aumentar el valor de pH y provocar la formación de fosfato de magnesio y amonio. Como se describe además en la sección de antecedentes, en un caso el dióxido de carbono se agregó para disminuir el pH y, así, dificulta la formación de incrustaciones en el equipo de proceso y su posterior extracción desde el agua residual con una columna desgasificadora a fin de aumentar el pH. En el método de la presente invención, el pH del tanque de digestión se controla mediante extracción de dióxido de carbono proveniente del biogás producido. Con el fin de extraer más dióxido de carbono del digestato líquido o semisólido, el biogás extraído se somete a una separación del dióxido de carbono. Esta separación se puede efectuar mediante cualquiera de los métodos aplicados rutinariamente de separación de dióxido de carbono en el contexto de los procesos industriales. Al reintroducirse parcialmente el biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (es decir, gas rico en metano) en el tanque de digestión, se aumenta la presión parcial del metano, y se desgasifica dióxido de carbono adicional del digestato líquido o semisólido, lo que permite su extracción. Cuanto más dióxido de carbono se extrae, mayor es el valor de pH. De esta manera, el pH se puede regular mediante el uso de los componentes inherentes del biogás producido en el tanque de digestión. No se agregan productos químicos a la corriente de proceso, y no es necesaria una columna desgasificadora externa adicional ni un sistema de depuración de gases para desgasificar el dióxido de carbono.

45 El término "reintroducir 'parcialmente' el biogás con menor cantidad de dióxido de carbono" se refiere a la reintroducción de una subcantidad del biogás con menor cantidad de dióxido de carbono, donde la cantidad puede ser mayor o menor dependiendo del valor de pH del digestato del tanque de digestión. Por ejemplo, luego de la reintroducción de cierta cantidad del biogás con menor cantidad de dióxido de carbono y, por lo tanto, la remoción desde el tanque de digestión de dióxido de carbono adicional y la obtención del valor de pH deseado, la cantidad reintroducida se puede reducir hasta casi cero hasta que vuelva a ser necesario ajustar el pH.

50 En algunas modalidades de presente invención, se reduce la concentración de fosfato de magnesio y amonio en el tanque de digestión sometiéndose una subcantidad del digestato a un tratamiento de separación del fosfato de magnesio y amonio, y reintroducción al tanque de digestión del resto de los sólidos o semisólidos. Por ejemplo, la separación de fosfato de magnesio y amonio se puede realizar mediante ciclón o centrífuga. En una modalidad específica del método de la invención, el método incluye el paso opcional de reducción de la concentración de fosfato de magnesio y amonio en el tanque de digestión. El fosfato de magnesio y amonio separado de esta manera de la subcantidad del digestato se puede, en adelante, someter a purificación adicional a fin de extraer, por ejemplo, partículas de digestato no deseadas. Asimismo, en una modalidad específica del método en que se incluye el paso de reducción de fosfato de magnesio y amonio, el método comprende además una purificación del fosfato de magnesio y amonio separado. Por ejemplo, esto puede ser recomendable si el fosfato de magnesio y amonio separado de esta manera se utiliza en un producto fertilizante comercial. Normalmente, una purificación se puede efectuar enjuagándose con agua el fosfato de magnesio y amonio separado.

#### *Desagüe*

65 El digestato del tanque de digestión se puede someter adicionalmente a separación mediante desagüe para obtener el producto de digestato sólido o semisólido. En esta etapa del proceso, un desagüe se puede efectuar mediante

cualquier método conocido (por ejemplo, con una centrífuga, un decantador centrífugo, prensa de correa, prensa de filtro, prensa de tornillo o cualquier sistema similar).

5 Normalmente, el desagüe del material de biomasa sometido a tratamiento previo y/o digerido puede requerir la adición de agentes de coagulación y/o floculación (por ejemplo, polímeros a base de poliacrilamida, como polímeros orgánicos, polímeros de polvo seco, polímeros líquidos o en emulsión) para obtener suficiente separación entre las partículas y desagüe del sedimento. Se sabe que los iones fosfato del sedimento y el agua residual estabilizan la formación de hidrogeles y, por lo tanto, aumentan la capacidad de absorción de agua de la biomasa tratada. De esta manera, el fosfato disminuye la capacidad de desagüe y puede reducir el contenido de materia seca de productos de desecho (por ejemplo, productos de digestato) y, por lo tanto, la necesidad de uso de una mayor cantidad de agentes de coagulación y/o floculación. La presente invención reduce o elimina la necesidad de uso de agentes de coagulación y/o floculación y, al mismo tiempo, aumenta la capacidad de desagüe debido a que los iones fosfato precipitan como fosfato de magnesio y amonio durante el proceso de digestión.

15 Asimismo, el contenido de materia seca que se puede obtener en el producto de digestato sólido o semisólido luego del desagüe del digestato obtenido directamente del tanque de digestión será mayor que en procesos estándar debido a la mejor separación de agua del flujo del proceso.

20 En una modalidad preferida de la invención, el contenido de materia seca del producto de digestato sólido o semisólido que incorpora el fosfato de magnesio y amonio recuperado es al menos tanto como en procesos estándar. En los casos en que el contenido de materia seca del digestato sea menor que en procesos estándar, es de especial preferencia someter al digestato a un paso de desagüe a fin de obtener el producto de digestato sólido o semisólido, que incluye el fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral.

25 *Fertilizante y acondicionador de suelos*

El producto de digestato sólido o semisólido de un método según la presente invención se puede usar como acondicionador y/o fertilizante de suelos. En todo el presente documento, se describe el método de la presente invención que proporciona los medios para reducir el contenido de fosfato de magnesio y amonio del producto de digestato sólido o semisólido para que cumpla los requisitos legislativos de un contenido máximo permisible de fosfato. De preferencia, el producto de digestato sólido o semisólido se usa como fertilizante.

35 En un aspecto alternativo, se relaciona con el uso del producto de digestato sólido o semisólido obtenido mediante el método según la presente invención de producción de un acondicionador y/o fertilizante de suelos, de preferencia como fertilizante. Por ejemplo, dependiendo de algún fin agrícola específico, puede ser recomendable agregar otros nutrientes y/o minerales específicos antes de aplicarse el producto como acondicionador y/o fertilizante de suelos.

*Planta de tratamiento de biomasa*

40 La invención se relaciona además con un equipo (una planta de tratamiento de biomasa) que ofrece las mismas ventajas descritas para el método según la invención.

45 El segundo aspecto de la invención se relaciona con una planta de tratamiento de biomasa para la producción de biogás y, al mismo tiempo, la recuperación de fosfato como fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, proveniente del material de biomasa tratado como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido.

Asimismo, la presente invención se relaciona con una planta de tratamiento de biomasa para la producción de biogás, planta de tratamiento de biomasa que incluye:

- 50 - al menos un reactor de tratamiento previo de biomasa (2), que tiene una entrada de material de biomasa para la alimentación de material de biomasa sin tratar (1) y una salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo;
- 55 - al menos un tanque de digestión (3), que tiene una entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo conectada a dicha salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo y una salida de biogás (9), y al menos una salida de producto de digestato (5) para el producto de digestato, que incluye fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral;
- 60 - un separador de dióxido de carbono (10), que tiene una entrada de biogás conectada a dicha salida de biogás (9), una salida de dióxido de carbono (13) y una salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11);
- 60 - el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) que cuentan con una entrada de vapor conectada a una fuente de vapor y el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) adaptados para efectuar hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C, a presión de saturación; y
- 65 - el o los tanques de digestión (3) adaptados para someter al material de biomasa sometido a tratamiento previo a una digestión anaeróbica a un pH en un rango de 7,5 a 8,5, lo que permite obtener un digestato; caracterizado porque:
- 65 - se dispone una entrada de una fuente de ion magnesio para agregar una fuente de ion magnesio (4) a la biomasa antes de introducir al tanque de digestión de biomasa (3) la biomasa sometida a tratamiento previo; y

- la salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11) del separador de dióxido de carbono (10) se conecta a una salida de biogás producido (14) de la planta de tratamiento de biomasa y se conecta a una entrada de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (12) del tanque de digestión (3) para la reintroducción parcial al tanque de digestión del biogás obtenido con menor cantidad de dióxido de carbono.

5 La planta de tratamiento de biomasa puede tener una o más salidas de descarga directas desde el tanque de digestión (es decir, salida de producto de digestato (5)) o puede tener salidas de descarga a través de un separador (6) (por ejemplo, un equipo de desagüe) o a través de un separador y directas desde el tanque de digestión. En una  
10 modalidad, se conecta un separador (6) para la separación de sólidos a la salida de descarga (5) de un tanque de digestión; el separador (6) con una salida con mayor contenido de materia seca (8) (es decir, una salida de torta de digestato desaguada) y una salida con menor contenido de materia seca (7) (es decir, una salida de descarga de fase líquida), la salida con mayor contenido de materia seca es la salida de descarga del proceso que incorpora fosfato de magnesio y amonio como parte integral del producto de digestato sólido o semisólido. De preferencia, el  
15 separador (de preferencia, un equipo de desagüe) se puede seleccionar entre una centrífuga, un decantador centrífugo, prensa de correa, prensa de filtro, prensa de tornillo o cualquier sistema similar.

En una modalidad específica de la invención, la planta de biomasa comprende un equipo de desagüe, donde la salida de producto de digestato (5) del tanque de digestión (3) se conecta con el equipo de desagüe (6) con una  
20 salida de descarga de fase líquida (7) y una salida de producto de digestato desaguado (8) para el producto de digestato sólido o semisólido que incorpora fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral.

Opcionalmente, la planta de biomasa según la invención puede comprender una etapa de separación de fosfato de magnesio y amonio adaptada para reducir la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato en el  
25 tanque de digestión. Asimismo, algunas modalidades preferidas de la invención comprenden además un separador de fosfato de magnesio y amonio (17) con una entrada de digestato conectada a través de una bomba de circulación (16) a una salida de digestato (15) instalada en el fondo de dicho tanque de digestión (3), separador de fosfato de magnesio y amonio que tiene una salida de material rico en fosfato de magnesio y amonio y una salida de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio (18) conectada a la entrada de digestato con menor cantidad  
30 de fosfato de magnesio y amonio del tanque de digestión (3), donde la salida de digestato rico en fosfato de magnesio y amonio corresponde a una salida de descarga de fosfato de magnesio y amonio. La salida de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio (18) puede estar conectada además a la entrada de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio del tanque de digestión a través de un termostato (19). Además, dicha salida de material rico en fosfato de magnesio y amonio del separador de fosfato de magnesio y amonio (17) puede estar conectada además a la unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20), unidad  
35 purificadora de fosfato de magnesio y amonio que tiene una salida de descarga de fosfato de magnesio y amonio purificado (22) y una salida de exceso de agua (21) conectada a una segunda entrada de tanque de digestión o, alternativamente, a los desechos. La unidad purificadora (20) puede incluir además una entrada de agua. Al incluirse la unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20), es posible controlar la calidad del fosfato de magnesio y amonio separado, y al incluirse la entrada de agua, es posible la adición de agua de limpieza y, así, una mayor  
40 purificación.

En una modalidad específica de la invención, la planta de biomasa comprende una unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20) conectada a la salida de material rico en fosfato de magnesio y amonio de dicho separador  
45 de fosfato de magnesio y amonio (17), unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20) que tiene una salida de descarga de fosfato de magnesio y amonio purificado (22) y una salida de exceso de agua (21) conectada a una segunda entrada de tanque de digestión o a los desechos.

En modalidades de la invención en que la planta de biomasa o el método de la invención incluye una etapa de separación de fosfato de magnesio y amonio descrita antes en el presente documento, la torta de digestato  
50 desaguada (5) u (8) descargada del proceso incluye una cantidad relativamente menor de fosfato de magnesio y amonio, al contrario de plantas que no incluyen dicha etapa de separación de fosfato de magnesio y amonio. Cuando el proceso no incluye una etapa de separación de fosfato de magnesio y amonio, el tanque de digestión (3) puede incluir de preferencia un sistema mezclador. El sistema mezclador se puede incorporar al tanque de digestión (3) en forma de reactores de tanque de agitación continua (CSTR); también, el sistema mezclador se puede  
55 seleccionar entre cualquier sistema conocido. Cuando el proceso incluye una etapa de separación de fosfato de magnesio y amonio, puede ser preferible instalar un sistema mezclador del tanque de digestión a fin de permitir la extracción de digestato, incluido fosfato de magnesio y amonio sedimentado de una salida de digestato en el fondo del tanque de digestión.

Según la descripción del presente documento con respecto al método de la invención, una reducción del fosfato de magnesio y amonio del digestato puede depender del contenido de fosfato de material de biomasa disponible o cualquier legislación local sobre fertilizantes. En una modalidad preferida de la invención, el contenido de materia  
60 seca del producto de digestato sólido o semisólido del tanque de digestión se controla a través de la medición del contenido de fosfato en el tanque de digestión y la regulación del flujo al separador de fosfato de magnesio y amonio de acuerdo con el contenido de fosfato medido. Asimismo, en una modalidad de la planta de tratamiento de biomasa que tenga un separador de fosfato de magnesio y amonio, la entrada de digestato del separador de fosfato de  
65

magnesio y amonio (17) está conectada a la salida de digestato (15) del tanque de digestión (3) a través de una válvula de control de fosfato; donde el tanque de digestión (3), la entrada de material de biomasa (1) o la salida de producto de digestato (5) incluye un sensor de fosfato o sistema de muestreo, y donde se adapta un control para la válvula de control de fosfato de acuerdo con los valores de fosfato medidos por el sensor de fosfato. De preferencia, el tanque de digestión (3), o la salida de producto de digestato (5), puede incluir el sensor de fosfato o sistema de muestreo; de mayor preferencia, el tanque de digestión (3).

En una modalidad específica de la planta de tratamiento de biomasa, la salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11) del separador de dióxido de carbono (10) se conecta a la entrada de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono del tanque de digestión (3) a través de una válvula de control; donde el tanque de digestión (3) incluye un sensor de pH, y donde se adapta un control para la válvula de control de acuerdo con los valores de pH medidos por el sensor de pH.

La entrada de fuente de ion magnesio puede permitir agregar una fuente de ion magnesio (4) a la biomasa o al material de biomasa sometido a tratamiento previo antes de introducir al tanque de digestión de biomasa (3) la biomasa sometida a tratamiento previo. Por consiguiente, la entrada de fuente de ion magnesio (4) puede permitir agregar la fuente de ion magnesio en fases posteriores del proceso de el o los reactores de tratamiento previo de biomasa, a través de una entrada a el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) o en fases anteriores del proceso de el o los reactores de tratamiento previo de biomasa, pero antes de su ingreso a la biomasa sometida a tratamiento previo a el o los tanques de digestión. De preferencia, la entrada de fuente de ion magnesio (4) puede permitir agregar la fuente de ion magnesio en fases posteriores del proceso de el o los reactores de tratamiento previo de biomasa o a través de una entrada a el o los reactores de tratamiento previo de biomasa.

En algunas modalidades de la planta de tratamiento de biomasa que incluye al menos un reactor de oxidación y/o al menos un reactor descargador de presión, la entrada de fuente de ion magnesio puede permitir además agregar la fuente de ion magnesio en fases posteriores del proceso de estos reactores a través de una entrada a cualquiera de estos reactores, o en fases anteriores del proceso de estos reactores, pero antes de su ingreso a la biomasa sometida a tratamiento previo a el o los tanques de digestión.

El "reactor de tratamiento previo" mencionado en el presente documento se denomina además "reactor de hidrólisis térmica". La salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo del reactor de tratamiento previo (2) puede estar conectada además a un equipo de enfriamiento previo (23) adaptado para controlar la temperatura del material de biomasa sometido a tratamiento previo antes de su ingreso al tanque de digestión (3). La planta de tratamiento de biomasa puede comprender además al menos un reactor descargador de presión con una entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo conectada a la salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo del reactor de tratamiento previo de biomasa y una segunda salida del reactor de tratamiento previo de biomasa conectada a la entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo del tanque de digestión. Si se incluye, el o los reactores descargadores de presión se pueden adaptar para someter el material de biomasa sometido a tratamiento previo de al menos hidrólisis térmica a una explosión húmeda donde la presión se reduce de al menos 5 barías (por ejemplo, desde 5 a 35 barías hasta 1 baria o menos).

La planta de tratamiento de biomasa puede comprender además al menos un reactor de oxidación con una entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo conectada a la salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo del reactor de tratamiento previo de biomasa y una tercera salida del reactor de tratamiento previo de biomasa conectada a la entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo del reactor descargador de presión, si se incluye, o a la entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo del tanque de digestión. Si se incluye, el o los reactores de oxidación se puede adaptar para someter el material de biomasa sometido a tratamiento previo de al menos hidrólisis térmica a una explosión húmeda a una presión de 15 a 35 barías y una temperatura de 170 a 210 °C.

Para equipos a gran escala, es recomendable incluir más de un reactor de tratamiento previo de biomasa (por ejemplo, dos, tres o cuatro reactores de tratamiento previo de biomasa) para el tratamiento previo de hidrólisis térmica. De esta manera, es posible procesar varias cargas con ciclos demorados donde ambas salidas a el o los tanques de digestión se distribuyen con el tiempo, así como también la entrada de vapor necesaria para calentar los reactores de tratamiento previo de biomasa se distribuye con mayor uniformidad. Esto último es favorable para el dimensionado de las plantas de producción de vapor y la demanda de energía que conllevan. De esta manera, se puede obtener un flujo semicontinuo al tanque de digestión. Además, otra ventaja de incluir más de un reactor para el tratamiento previo de hidrólisis térmica es la ventaja en fases anteriores del proceso de un aumento en la continuidad de la alimentación de los reactores de tratamiento previo de biomasa con biomasa.

Cambiando lo que se deba cambiar, las características y modalidades descritas en el presente documento con respecto al método de la invención se aplican a la planta de tratamiento de biomasa según la invención y viceversa.

Descripción detallada de las figuras

La figura 1 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa para la recuperación

de fosfato como fosfato de magnesio y amonio como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido de un tanque de digestión. El material de biomasa (1) se alimenta a uno o más reactores de tratamiento previo de biomasa (2) para hidrólisis térmica adaptados para efectuar hidrólisis térmica a alta temperatura y presión (normalmente, de 140 a 220 °C), a presión de saturación. Se agrega una entrada de fuente de ion magnesio (4) a la biomasa antes de su ingreso a el o los reactores de tratamiento previo de biomasa o, de manera alternativa, a la biomasa en el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (no aparece en la figura). Luego, se puede agregar vapor a alta presión en el o los reactores hasta alcanzar una temperatura y presión suficientemente alta (no aparece en la figura). Una vez transcurrido el tiempo de retención adecuado, la biomasa ya tratada se alimenta a un tanque de digestión anaeróbica (3) para su digestión a pH elevado (normalmente, en un rango de 7,5 a 8,5). Normalmente, el tanque de digestión anaeróbica (3) puede ser un tanque de digestión con un sistema mezclador incorporado, como un reactor de tanque de agitación continua. El pH durante la digestión se puede controlar mediante extracción continua de biogás (9) del tanque de digestión (3), el biogás se dirige a un separador de dióxido de carbono (10) para separar el biogás en una fracción de dióxido de carbono (13) y una fracción de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11), respectivamente. La parte del biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (12) se devuelve al tanque de digestión (3), y el resto del biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (15) se extrae como producto. El digestato (5) del tanque de digestión (3) se puede desaguar (6), lo que permite obtener un producto de digestato sólido o semisólido como una torta de digestato desaguada (8), que incluye el fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral, y una descarga de fase líquida o rica en agua (7).

La figura 2 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa para la recuperación de fosfato como fosfato de magnesio y amonio como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido de un tanque de digestión, que incluye la operación opcional de reducir la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato y someter la biomasa sometida a tratamiento previo a un enfriamiento previo (23). La descripción de la figura 2 coincide con la de la figura 1, pero incluye una serie de características opcionales adicionales, una o varias de las cuales, o todas ellas, se pueden incluir en un método y/o una planta de tratamiento según la presente invención. De este modo, la figura 2 muestra además que se dirige una subcantidad del digestato del tanque de digestión (3) a través de una salida de digestato (15) en el fondo del tanque de digestión (3) a un separador de fosfato de magnesio y amonio (17) a través de una bomba de circulación (16), el separador de fosfato de magnesio y amonio (17) produce una fracción de material rico en fosfato de magnesio y amonio y una fracción de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio (18). El digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio (18) se reintroduce al tanque de digestión (3), opcionalmente a través de un termostato (19). La fracción de material rico en fosfato de magnesio y amonio del separador de fosfato de magnesio y amonio (17) se puede descargar directamente del proceso como producto de fosfato de magnesio y amonio (no aparece en la figura) o se puede purificar adicionalmente en una unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20), lo que permite obtener un producto de fosfato de magnesio y amonio purificado (22) y una descarga de exceso de agua (21). La descarga de exceso de agua se puede realizar directamente del proceso (no aparece en la figura) o se puede reintroducir en el tanque de digestión (3) a través de una segunda entrada del tanque de digestión (21). Si está vigente o no la operación opcional de reducir la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato, y hasta qué punto lo está, se puede controlar a través de la medición del contenido de fosfato en el tanque de digestión (3) o en la salida de producto de digestato (5) con un sensor de fosfato o sistema de muestreo (no aparece en la figura) y la regulación del flujo al separador de fosfato de magnesio y amonio (17) de acuerdo a la información que aportan.

La figura 3 es un diagrama esquemático de un método y una planta de tratamiento de biomasa para la recuperación de fosfato como fosfato de magnesio y amonio como parte integral de un producto de digestato sólido o semisólido de un tanque de digestión. La descripción de los detalles de la figura 3 coincide con la de la figura 2, pero el método y la planta incluyen la operación de reducir la concentración de fosfato de magnesio y amonio del digestato a través del separador de fosfato de magnesio y amonio (17) y las operaciones que se relacionan con ello. El flujo al separador de fosfato de magnesio y amonio (17) desde la salida de digestato del tanque de digestión (15) se puede regular a través de un control de fosfato, donde se adapta un control para la válvula de control de fosfato (no aparece en la figura) de acuerdo, por ejemplo, con los valores de fosfato de un sensor de fosfato o un sistema de muestreo de fosfato.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de recuperación de fosfato a partir de un proceso de tratamiento de material de biomasa, que comprende los pasos de:

- i) adición de una fuente de ion magnesio a un material de biomasa;
- ii) sometimiento del material de biomasa a un tratamiento previo, que comprende al menos los pasos de:

- hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C, a una presión de saturación;

- iii) transferencia del material de biomasa sometido a tratamiento previo a un tanque de digestión y digestión anaeróbica del material de biomasa sometido a tratamiento previo a un pH en un rango de 7,5 a 8,5, con lo que se obtiene un digestato;

- iv) control del pH del tanque de digestión mediante extracción continua de biogás, incluido dióxido de carbono y gas metano, y separación parcial o total del dióxido de carbono del biogás; luego, reintroducción parcial en el tanque de digestión del biogás obtenido con menor cantidad de dióxido de carbono;

- v) opcionalmente, reducción de la concentración de fosfato de magnesio y amonio en el tanque de digestión sometiéndose una subcantidad del digestato a un tratamiento de separación del fosfato de magnesio y amonio, y reintroducción al tanque de digestión del resto de los sólidos o semisólidos;

donde los pasos i) y ii) se efectúan antes del paso iii) y donde el fosfato se recupera como fosfato de magnesio y amonio, o hidratos de él, como una parte integral del producto de digestato sólido o semisólido del tanque de digestión.

2. El método según la reivindicación 1, donde el tratamiento previo del paso ii) comprende además una explosión húmeda, donde la presión se reduce de al menos 5 barías a 1 baria o menos, después de producida dicha hidrólisis térmica.

3. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde el paso i) de adición de la fuente de ion magnesio se efectúa antes del proceso de hidrólisis térmica del paso ii), o durante él.

4. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el paso i) de adición de la fuente de ion magnesio se efectúa después de producida la hidrólisis térmica o durante la explosión húmeda del paso ii).

5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la fuente de ion magnesio es MgO y/o Mg(OH)<sub>2</sub>.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde existe el paso v).

7. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el pH del tanque de digestión está en un rango de 7,5 a 8,3, de mayor preferencia en un rango de 7,9 a 8,3.

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el paso v) comprende además una purificación del fosfato de magnesio y amonio separado.

9. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el pH durante el tratamiento previo del paso ii) se mantiene menor que 7,0.

10. El método según la reivindicación 6, donde el grado al cual se efectúa la reducción de fosfato de magnesio y amonio realizada en el paso v) se controla a través de la medición del contenido de fosfato o fósforo en el digestato obtenido en el paso iii).

11. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el digestato del paso iii) se somete a un desagüe a fin de obtener el producto de digestato sólido o semisólido.

12. Una planta de tratamiento de biomasa para la producción de biogás, planta de tratamiento de biomasa que incluye:

- al menos un reactor de tratamiento previo de biomasa (2), que tiene una entrada de material de biomasa para la alimentación de material de biomasa sin tratar (1) y una salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo;

- al menos un tanque de digestión (3), que tiene una entrada de material de biomasa sometido a tratamiento previo conectada a dicha salida de material de biomasa sometido a tratamiento previo y una salida de biogás (9), y al menos una salida de producto de digestato (5) para el producto de digestato, que incluye fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral;

- un separador de dióxido de carbono (10), que tiene una entrada de biogás conectada a dicha salida de biogás

- (9), una salida de dióxido de carbono (13) y una salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11);  
- el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) que cuentan con una entrada de vapor conectada a una fuente de vapor y el o los reactores de tratamiento previo de biomasa (2) adaptados para efectuar hidrólisis térmica a una temperatura de 140 a 220 °C, a presión de saturación; y
- 5 - el o los tanques de digestión (3) adaptados para someter al material de biomasa sometido a tratamiento previo a una digestión anaeróbica a un pH en un rango de 7,5 a 8,5, lo que permite obtener un digestato; caracterizado porque:  
- se dispone una entrada de una fuente de ion magnesio para agregar una fuente de ion magnesio (4) a la biomasa antes de introducir al tanque de digestión de biomasa (3) la biomasa sometida a tratamiento previo; y
- 10 - la salida de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (11) del separador de dióxido de carbono (10) se conecta a una salida de biogás producido (14) de la planta de tratamiento de biomasa y se conecta a una entrada de biogás con menor cantidad de dióxido de carbono (12) del tanque de digestión (3) para la reintroducción parcial al tanque de digestión del biogás obtenido con menor cantidad de dióxido de carbono.
- 15 13. La planta de tratamiento de biomasa según la reivindicación 12, donde la salida de producto de digestato (5) del tanque de digestión (3) se conecta con el equipo de desagüe (6) con una salida de descarga de fase líquida (7) y una salida de producto de digestato desaguado (8) para el producto de digestato sólido o semisólido que incorpora fosfato de magnesio y amonio recuperado como parte integral.
- 20 14. La planta de tratamiento de biomasa según cualquiera de las reivindicaciones de 12 a 13, que comprende además un separador de fosfato de magnesio y amonio (17) con una entrada de digestato conectada a través de una bomba de circulación (16) a una salida de digestato (15) instalada en el fondo de dicho tanque de digestión (3), separador de fosfato de magnesio y amonio que tiene una salida de material rico en fosfato de magnesio y amonio y una salida de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio (18) conectada a la salida de digestato con menor cantidad de fosfato de magnesio y amonio del tanque de digestión (3), donde la salida de digestato rico en fosfato de magnesio y amonio corresponde a una salida de descarga de fosfato de magnesio y amonio.
- 25
- 30 15. La planta de tratamiento de biomasa según la reivindicación 14, que comprende además una unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20) conectada a la salida de material rico en fosfato de magnesio y amonio de dicho separador de fosfato de magnesio y amonio (17), unidad purificadora de fosfato de magnesio y amonio (20) que tiene una salida de descarga de fosfato de magnesio y amonio purificado (22) y una salida de exceso de agua (21) conectada a una segunda entrada de tanque de digestión o a los desechos.

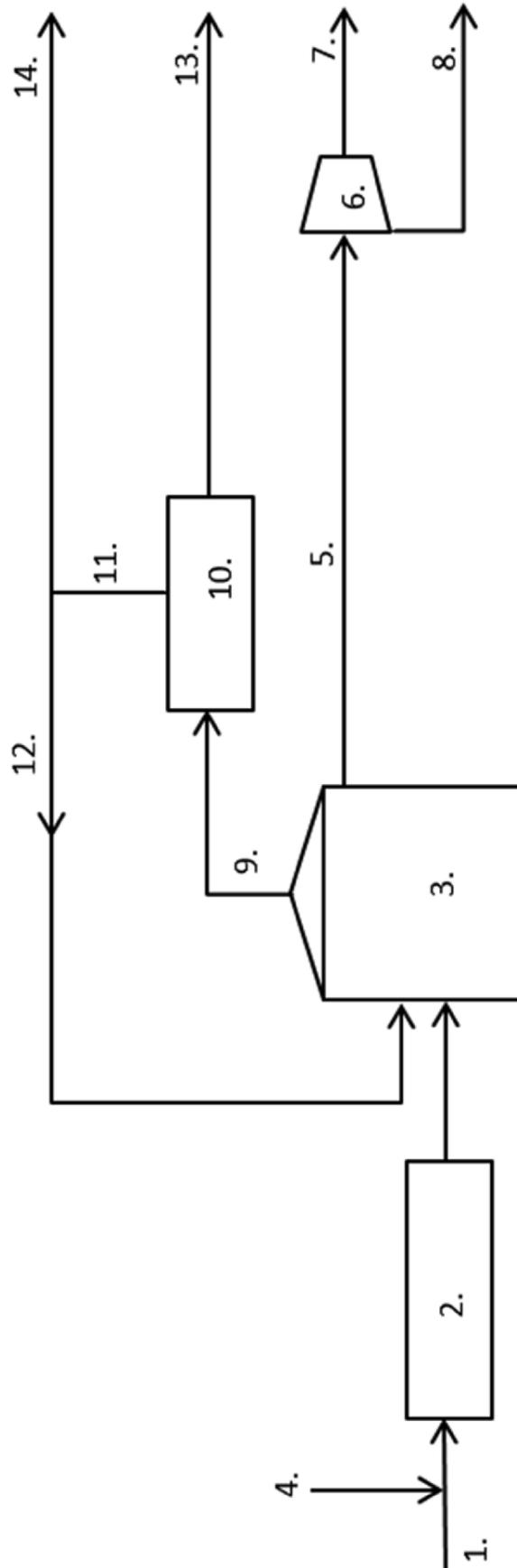


Figura 1

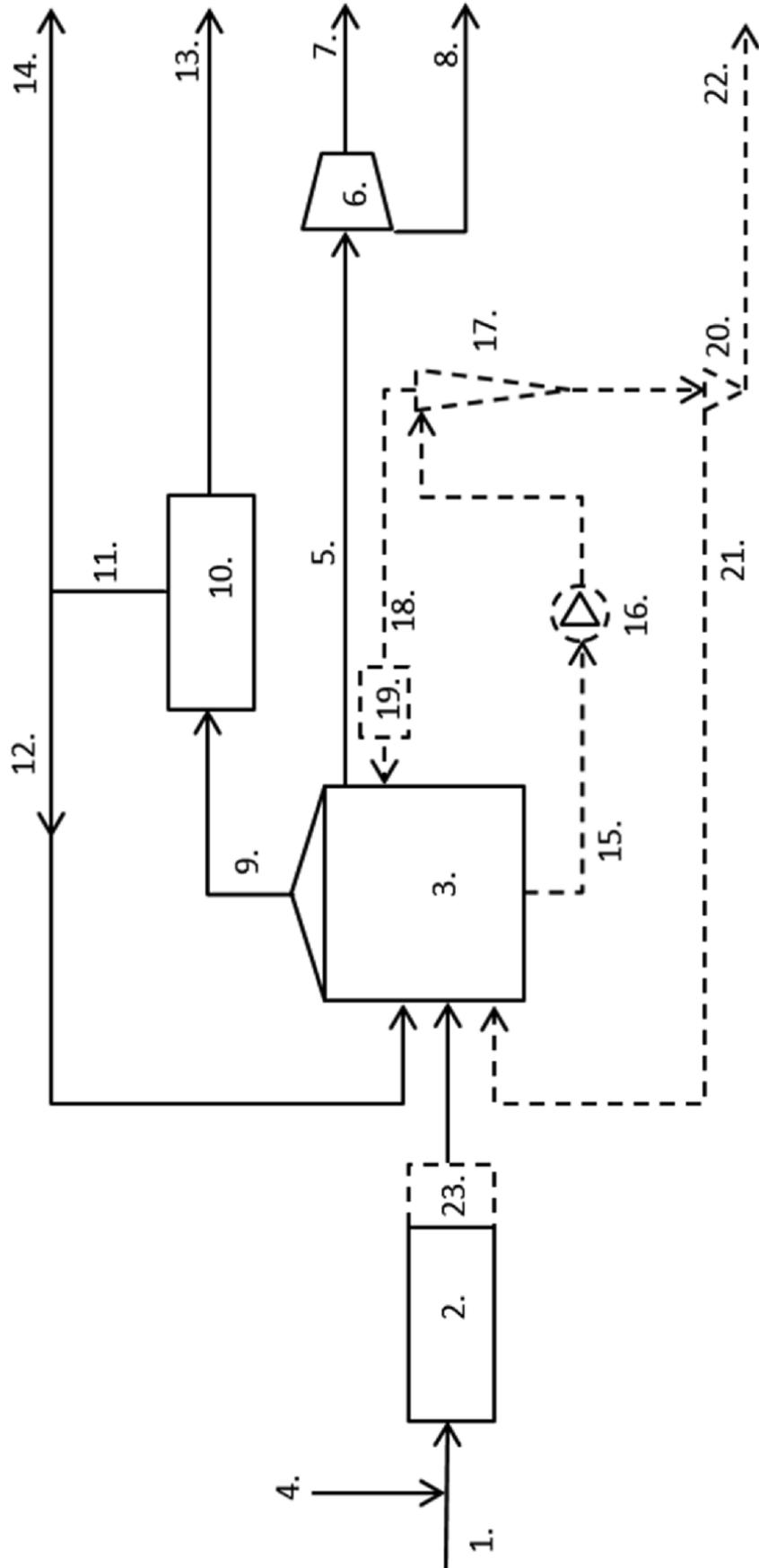


Figura 2

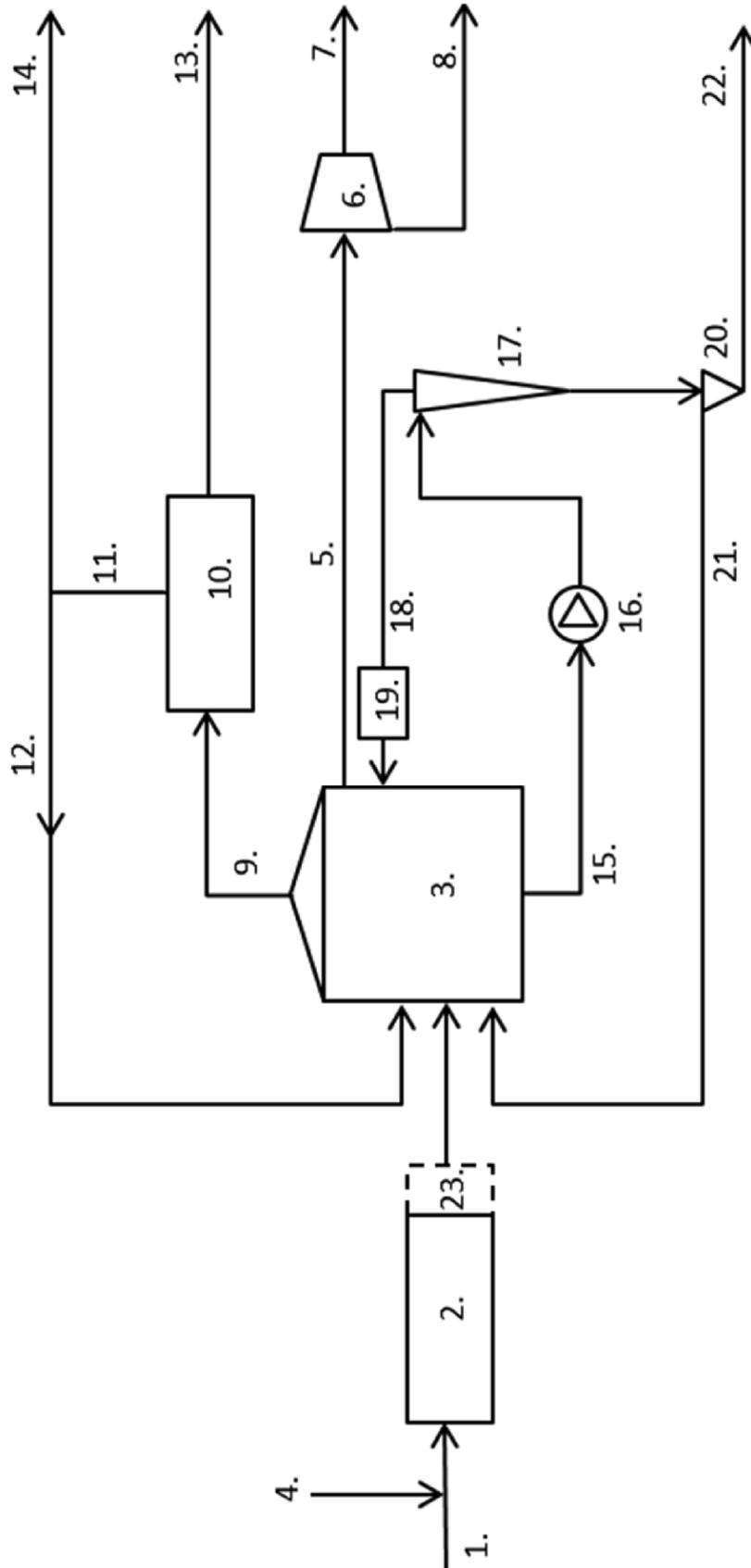


Figura 3