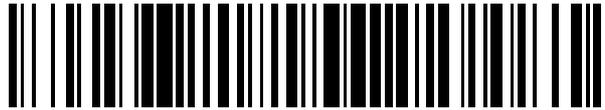


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 814 825**

51 Int. Cl.:

**C12P 7/40** (2006.01)

**C12P 3/00** (2006.01)

**C12M 1/107** (2006.01)

**C12M 1/00** (2006.01)

**C12P 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2009 PCT/US2009/005769**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.04.2010 WO10047815**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2009 E 09822331 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2020 EP 2361229**

54 Título: **Sistemas y métodos para la digestión anaeróbica y la recogida de productos**

30 Prioridad:

**21.10.2008 US 107279 P**

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

**29.03.2021**

73 Titular/es:

**SOCATI TECHNOLOGIES-OREGON, LLC (100.0%)  
612 Brazos Street  
Austin, Texas 78701, US**

72 Inventor/es:

**STEPHENS, JAMES**

74 Agente/Representante:

**FLORES DREOSTI, Lucas**

ES 2 814 825 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

Sistemas y métodos para la digestión anaeróbica y la recogida de productos

## ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

5 [0001] La digestión anaeróbica se ha utilizado en las comunidades locales para generar gas natural y otras corrientes bioquímicas valiosas. La digestión anaeróbica es una serie de procesos en los que los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Se ha utilizado ampliamente para tratar los lodos de aguas residuales y los residuos orgánicos, como los lodos de depuración y el estiércol. La digestión anaeróbica proporciona una fuente de energía renovable porque el proceso produce un biogás rico en metano y dióxido de carbono adecuado para la producción de energía.

10 [0002] Los sistemas locales de digestión anaeróbica han ofrecido energía barata y económica para cocinar realizando las tareas diarias y han sido reconocidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo como una fuente de energía descentralizada. La presión ejercida por la legislación relacionada con el medio ambiente sobre los métodos de eliminación de desechos sólidos en países desarrollados, como los Estados Unidos de América, ha aumentado la aplicación de la digestión anaeróbica como un proceso para reducir los volúmenes de desechos y generar subproductos útiles. La digestión anaeróbica se ha utilizado normalmente para procesar fracciones separadas de desechos municipales.

15 [0003] Están surgiendo nuevas tecnologías para convertir la biomasa que contiene celulosa en productos útiles, como la electricidad, la energía y el combustible. Muchas investigaciones se han centrado en la utilización de las algas debido a su capacidad de crecer rápidamente y en muchas condiciones diferentes. Además, las algas pueden contener grandes cantidades de lípidos e hidrocarburos en comparación con otra biomasa. Existe la necesidad en el técnica de convertir la biomasa, incluida la biomasa acuática, en productos útiles sin que ello requiera altos costes o demandas de energía. H. BOUALLAGUI *ET AL.* "Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes", PROCESS BIOCHEMISTRY, vol. 40, 2005, páginas 989-995, da a conocer biorreactores anaeróbicos de dos etapas para separar la acidogénesis mucho más rápida y de pH creciente que produce ácidos grasos volátiles intermedios (AGV) de la segunda etapa acetogénica y metanogénica, lo que permite la amortiguación de la carga orgánica y la alimentación constante de dicha segunda etapa.

## SUMARIO DE LA INVENCIÓN

[0004] El objeto de la invención es un biorreactor según se reivindica en la reivindicación 1. Los modos de realización de la invención se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

30 [0005] En la presente memoria se da a conocer un sistema de biorreactor que comprende: un primer módulo que comprende una primera pluralidad de bacterias anaeróbicas; y un segundo módulo que comprende una segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas; donde una salida del primer módulo está en comunicación con una entrada del segundo módulo, y donde la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende una mezcla de bacterias anaeróbicas diferente a la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas, y donde el biorreactor comprende un primer separador en comunicación con una de las salidas del primer módulo para eliminar los ácidos orgánicos volátiles del primer módulo, y comprende un segundo separador en comunicación fluida con una de las salidas del segundo módulo para eliminar el amoniaco del segundo módulo con el fin de mantener el pH del biorreactor entre 5,9 y 8,5, y donde el primer separador y el segundo separador se seleccionan cada uno de forma independiente de entre un vaporizador, una unidad de destilación y una combinación de estos. En algunos casos, una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acidogénicas, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acetogénicas. En algunos casos, una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acidogénicas, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias metanogénicas. En algunos casos, sin la eliminación de los ácidos grasos volátiles, el pH del sistema no se mantiene entre 5,9 y 8,5. En algunos casos, la primera y la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas comprenden cada una bacterias anaeróbicas acuáticas y bacterias anaeróbicas de rumiante.

45 [0006] En algunos casos, una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias anaeróbicas de rumiante, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias anaeróbicas acuáticas. En algunos casos, la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende las bacterias anaeróbicas de rumiante en una relación volumen:volumen de aproximadamente 100:1 a 1 500:1 de las bacterias anaeróbicas acuáticas, y donde la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende las bacterias anaeróbicas acuáticas en una relación volumen:volumen de aproximadamente 100:1 a 1 500:1 de las bacterias anaeróbicas de rumiante. En algunos casos, las bacterias anaeróbicas de rumiante se seleccionan de entre el grupo consistente en las siguientes: *Fibrobacter succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium locheadii*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminobacter amylophilus*, *Selenomonas ruminantium*, *Succinomonas amylolytica*, *Streptococcus bovis*, *Selenomonas lactilytica*, *Megasphaera elsdenii*, *Schwartzia sunniovorans*, *Lachnospira multiparus*, *Neocalimastix*, y una combinación de estas. En algunos casos, las bacterias anaeróbicas acuáticas se seleccionan de entre el grupo consistente en las siguientes: *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanomicrobium mobile*, *Syntrophomonas wolfei*, y una combinación de estas.

5 **[0007]** En algunos casos, el sistema es un sistema discontinuo. En algunos casos, el sistema es un sistema continuo. En algunos casos, el primer módulo comprende una entrada configurada para recibir una materia prima, donde la materia prima comprende biomasa celulósica sólida. En algunos casos, el primer módulo comprende una salida configurada para recoger ácidos grasos volátiles del sistema de biorreactor. En algunos casos, el segundo módulo comprende una salida configurada para recoger amoníaco del sistema de biorreactor. En algunos casos, el segundo módulo comprende una salida configurada para recoger metano del sistema de biorreactor.

10 **[0008]** En la presente memoria también se describe un sistema de biorreactor para convertir materia prima que contiene celulosa en productos, donde el sistema comprende: un primer módulo que comprende una entrada, más de una salida, una primera pluralidad de microbios anaeróbicos y la materia prima que contiene celulosa, donde la primera pluralidad de microbios anaeróbicos digiere la materia prima que contiene celulosa para generar un producto de ácido orgánico y una materia prima parcialmente digerida; un primer separador en comunicación con una de las salidas del primer recipiente, donde el primer separador obtiene el producto de ácido orgánico; un segundo módulo que comprende una entrada, más de una salida y una segunda pluralidad de microbios anaeróbicos, donde la entrada recibe la materia prima parcialmente digerida, y donde la segunda pluralidad de microbios anaeróbicos digiere la materia prima parcialmente digerida para generar un producto de metano y un producto de amoníaco; y un segundo separador en comunicación fluida con una de las salidas del segundo módulo, donde el segundo separador obtiene el producto de amoníaco. En algunos casos, la primera pluralidad de microbios anaeróbicos comprende bacterias anaeróbicas de rumiante. En algunos casos, la segunda pluralidad de microbios anaeróbicos comprende bacterias anaeróbicas acuáticas. En algunos casos, la primera pluralidad de microbios anaeróbicos comprende las bacterias anaeróbicas de rumiante en una relación volumen:volumen de aproximadamente 100:1 a 1 500:1 de las bacterias anaeróbicas acuáticas, y donde la segunda pluralidad de microbios anaeróbicos comprende las bacterias anaeróbicas acuáticas en una relación volumen:volumen de aproximadamente 100:1 a 1 500:1 de las bacterias anaeróbicas de rumiante.

25 **[0009]** En la presente memoria se describe además un biorreactor que comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas acuáticas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas de rumiante. En algunos casos, el biorreactor comprende al menos dos módulos. En algunos casos, el biorreactor es un sistema continuo.

30 **[0010]** En algunos casos, la primera pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:1 con respecto a la segunda pluralidad de bacterias. En algunos casos, la primera pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:100 a 1:1 500 con respecto a la segunda pluralidad de bacterias en un primer módulo de los dos módulos y la segunda pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:100 a 1:1 500 con respecto a la primera pluralidad de bacterias en un segundo módulo de los dos módulos.

35 **[0011]** En algunos casos, el biorreactor comprende una entrada para materia prima que contiene celulosa y al menos una salida, donde la salida del biorreactor consta de al menos uno de los siguientes: amoníaco, ácidos grasos volátiles y metano. En algunos casos, la salida del biorreactor proporciona el metano a una turbina configurada para suministrar electricidad.

40 **[0012]** En la presente memoria se describe también un método para recoger productos de materia prima que contiene celulosa que comprende: entregar la materia prima que contiene celulosa a un biorreactor, donde el biorreactor comprende una pluralidad de bacterias anaeróbicas; convertir la materia prima que contiene celulosa en productos utilizables dentro del biorreactor, donde los productos utilizables incluyen al menos uno de los siguientes: amoníaco, ácidos grasos volátiles y metano; y recoger los productos utilizables del biorreactor, donde el 59 % o más de la materia prima que contiene celulosa se convierte en productos utilizables.

45 **[0013]** En algunos casos, la pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas acuáticas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas de rumiante. En algunos casos, la pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias acetogénicas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias acidogénicas, donde las bacterias acidogénicas y las bacterias acetogénicas están presentes en el biorreactor en una relación para mantener el pH del biorreactor entre 5,9-8,5. En algunos casos, la primera pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:100 a 1:1 500 con respecto a la segunda pluralidad de bacterias en un primer módulo del biorreactor y la segunda pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:100 a 1:1 500 con respecto a la primera pluralidad de bacterias en un segundo módulo del biorreactor.

55 **[0014]** En algunos casos, en la presente memoria un método comprende además la conversión de los productos utilizables en electricidad. En algunos casos, en la presente memoria un método comprende además la conversión de los productos utilizables en biocombustible.

**[0015]** Además, en la presente memoria se describe un método que comprende: combinar una pluralidad de microorganismos acuáticos con una pluralidad de microorganismos de un estómago de rumiante en un recipiente; mantener un pH en el recipiente entre 5,9-8,5; y mantener una presión en el recipiente entre 0,5-10 atm. En algunos

casos, el mantenimiento del pH en el recipiente se lleva a cabo eliminando el amoníaco cuando el pH es superior a 8,5, y eliminando los ácidos grasos volátiles cuando el pH es inferior a 5,9.

**[0016]** Además, en la presente memoria se describe un método para convertir materia prima que contiene celulosa en productos que comprende: digerir anaeróbicamente o descomponer la materia prima que contiene celulosa en un primer módulo de digestión anaeróbica para producir un producto de ácido orgánico y una materia prima parcialmente digerida; separar el producto de ácido orgánico de la materia prima parcialmente digerida; transferir la materia prima parcialmente digerida a un segundo módulo de digestión anaeróbica; digerir anaeróbicamente o descomponer la materia prima parcialmente digerida en el segundo módulo de digestión anaeróbica para producir un producto de amoníaco y un producto de metano; y eliminar el producto de amoníaco y el producto de metano del segundo módulo de digestión anaeróbica.

**10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

**[0017]** Muchas características novedosas de la invención se exponen con particularidad en las reivindicaciones adjuntas. Se obtendrá una mejor comprensión de las características y ventajas de la invención mediante referencia a la siguiente descripción detallada que expone modos de realización ilustrativos, en los que se utilizan muchos principios de la invención, y los dibujos adjuntos en los que:

15 La figura 1 ilustra un modo de realización de ejemplo de un sistema de la invención que comprende un tanque de fermentación primario y un tanque de fermentación secundario, donde la fermentación primaria puede comprender especies microbianas de rumiante y el tanque de fermentación secundario puede comprender metanógenos.

La figura 2 muestra un sistema de ejemplo de la invención que comprende dos tanques de fermentación y al menos dos separadores para obtener productos de los tanques de fermentación.

20 La figura 3 muestra un sistema de ejemplo de la invención que comprende una turbina e ilustra ejemplos de productos.

La figura 4 ilustra un sistema de ejemplo de la invención que comprende un sistema de digestión anaeróbica, una turbina y una unidad de procesamiento térmico.

25 La figura 5 ilustra un sistema de ejemplo de la invención que comprende un sistema de digestión anaeróbica, una turbina para generar calor que puede convertir ácidos grasos volátiles en ácidos calientes y ésteres.

La figura 6 ilustra la conversión de las materias primas concretas de este ejemplo de sistema en productos seleccionados.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

30 **[0018]** En la presente memoria se describen métodos y sistemas que proporcionan una combinación de generación de energía independiente, así como sistemas para la generación de otros productos útiles, como sustancias químicas. Además, los sistemas y métodos pueden proporcionar formas de aprovechar el potencial de la materia prima de la biomasa para generar una multitud de productos, incluidos crudo verde, biogás, electricidad, calor, ácidos grasos, biodiésel, amoníaco y productos químicos.

35 **[0019]** La digestión anaeróbica es una serie de procesos en los que los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. La digestión anaeróbica se puede utilizar como fuente de energía renovable puesto que el proceso produce muchos productos, incluido el biogás.

40 **[0020]** La digestión anaeróbica implica microbios que son capaces de descomponer materiales sin la presencia de oxígeno. La microbiología y la bioquímica de la digestión anaeróbica implica varios grupos distintos de microbios, cada uno de los cuales realiza una tarea específica de la degradación general. El proceso de degradación anaeróbica normal se produce en cuatro etapas principales y en él intervienen al menos tres grupos bacterianos. El proceso de digestión anaeróbica de los materiales por los microbios comienza con la hidrólisis de los materiales de entrada para descomponer polímeros orgánicos insolubles como carbohidratos. Los microbios acidogénicos convierten entonces los azúcares y los aminoácidos en dióxido de carbono, hidrógeno, amoníaco y ácidos orgánicos. Los microbios acetogénicos convierten entonces estos ácidos orgánicos resultantes en ácido acético, junto con amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono adicionales. Los microbios metanogénicos pueden convertir los productos resultantes en metano y dióxido de carbono.

45 **[0021]** Se pueden procesar muchas materias primas mediante digestión anaeróbica. En muchos modos de realización, las materias primas comprenden cualquier material que contenga celulosa, como materiales de desecho biodegradables. Los materiales orgánicos se pueden convertir en biogás. Los heteroátomos como el nitrógeno y el azufre que pueden estar presentes en la materia prima pueden convertirse en amoníaco y sulfuro de hidrógeno, respectivamente. Como ejemplo, una materia prima puede comprender cualquier material derivado de un animal o una planta que contenga uno o más componentes que se puedan convertir, bioconvertir o biodegradar en un material útil mediante un sistema de digestión anaeróbica de la invención. Tejidos animales, biomasa, tejidos o partes de pescado, partes de plantas, frutas, verduras, desechos de procesamiento de plantas, desechos de procesamiento de animales, abono u orina animal, abono de mamíferos o sólidos de orina aislados de cultivos de fermentación, y combinaciones de estos, pueden biodegradarse

en un sistema de digestión anaeróbica en la presente memoria. Entre los ejemplos concretos de materias primas se incluyen el abono o la orina de bovinos, aves de corral, equinos o porcinos, virutas o astillas de madera, bazofia, mostos, papel triturado, rebabas de algodón, grano, paja, cáscaras de semillas, heno, alfalfa, hierba, hojas, conchas de mar, vainas de semillas, cáscaras de maíz, malezas, plantas acuáticas, algas y hongos y sus combinaciones. Otros ejemplos de materias primas para los tanques de fermentación primario o secundario de un sistema de la invención incluyen, sin carácter limitativo, aguas residuales, abono u otras corrientes de desechos de una planta de procesamiento de alimentos, o una planta de procesamiento de queso. Los sistemas de digestión anaeróbica también se pueden alimentar con cultivos energéticos especialmente cultivados como ensilaje para la producción especializada de biogás. En otro ejemplo, las algas u otro organismo fotosintético acuático se pueden procesar mediante digestión anaeróbica. En algunos casos, una materia prima de biomasa en la presente memoria comprende biomasa celulósica sólida. En algunos casos, la materia prima de biomasa puede comprender biomasa líquida y sólida. En algunos casos, la materia prima de biomasa comprende una mayor parte de biomasa sólida.

**[0022]** La utilización de tecnologías de digestión anaeróbica puede ayudar a reducir la emisión de gases de efecto invernadero de varias maneras, entre las que se incluyen, por ejemplo, sin carácter limitativo, la sustitución de los combustibles fósiles, la reducción de la emisión de metano de los vertederos, el desplazamiento de los fertilizantes químicos producidos industrialmente, la reducción de los movimientos de los vehículos y la reducción de las pérdidas de transporte por la red eléctrica.

**[0023]** Hay una serie de microbios que participan en el proceso de digestión anaeróbica, entre los que se incluyen microbios que forman ácido acético (acetógenos) y microbios que forman metano (metanógenos). Estos microbios se alimentan de la materia prima, que experimenta una serie de procesos diferentes que la convierten en moléculas intermedias como azúcares, hidrógeno, ácido acético y biogás.

**[0024]** Diferentes especies de microbios pueden sobrevivir a diferentes rangos de temperatura. Los microbios que viven de forma óptima a temperaturas de entre 20-45 °C se denominan microbios mesófilos o mesofílicos. Algunos de los microbios pueden sobrevivir a temperaturas más altas, por ejemplo 45-80 °C, y se denominan microbios termófilos o termofílicos. Los metanógenos puede pertenecer al grupo primitivo de las *archaea* que incluye especies que pueden crecer en las condiciones hostiles de las fuentes hidrotermales. Estas especies son más resistentes al calor y, por lo tanto, pueden operar a temperaturas termofílicas.

**[0025]** Los métodos se pueden llevar a cabo a temperaturas mesofílicas. Existe un mayor número de especies de mesófilos que de termófilos. Estos microbios también son más tolerantes a los cambios en las condiciones ambientales que los termófilos. A veces se considera que los sistemas mesofílicos son más estables que los sistemas de digestión termofílicos.

**[0026]** El microbio anaeróbico utilizado en un sistema de digestión anaeróbica puede ser cualquier bacteria, hongo, moho o alga anaeróbicos, o progenie de estos, que pueda convertir la materia prima en un material útil. En la presente invención, se puede utilizar cualquier bacteria anaeróbica o progenie de esta que pueda convertir la materia prima en un material útil. En un modo de realización, los microbios se han alterado o manipulado genéticamente para convertir una materia prima en un material útil. Algunos microbios anaeróbicos pueden convertir una materia prima que contenga celulosa en una variedad de productos, entre los que se incluyen sin carácter limitativo: metano, un fertilizante rico en nitrógeno, carbón vegetal, humus, biogás, ácidos grasos volátiles (AGV) y una suspensión insecticida.

**[0027]** Como se ha mencionado anteriormente, los sistemas de digestión termofílicos se consideran menos estables. Sin embargo, las temperaturas elevadas facilitan ritmos de reacción más rápidos y, por lo tanto, producciones de gas más rápidas. La operación a temperaturas más altas facilita una mayor esterilización del digestato final. En un modo de realización, uno o más tanques del sistema es un tanque termofílico. En otro modo de realización, uno o más tanques es un tanque mesofílico.

**[0028]** En general, un mesófilo prefiere temperaturas operativas en el rango de aproximadamente 15,6 °C a 49 °C (60 °F-120 °F) o temperatura ambiente y un termófilo prefiere temperaturas operativas en el rango de aproximadamente 49 °C a 71 °C (120 °F-160 °F). Entre los ejemplos de microbios anaeróbicos que son útiles en un sistema de digestión anaeróbica de la invención se incluyen, sin carácter limitativo: una bacteria metanogénica, metanobacteria, acetobacteria, bacteria acetogénica, bacteria de licuefacción, *Clostridium spp.*, *Bacillus spp.*, *Escherichia spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Methanobacter spp.*, *Methanobacter (Mb.) omlianskii*, *Mb. formicicum*, *Mb. soehngenii*, *Mb. thermoautotrophicum*, *Mb. ruminatum*, *Mb. mobile*, *Mb. methanica*, *Methanococcus (Mc.) mazei*, *Mc. vanniellii*, *Mb. suboxydans*, *Mb. propionicum*, *Methanosarcina (Ms.) bovekeri*, *Ms. mazei*, *Ms. methanica*, *Ms. alcaliphilum*, *Ms. acetivorans*, *Ms. thermophila*, *Ms. barkeri*, *Ms. vacuolata*, *Propionibacterium acidipropionici*, *Saccharomyces cerevisiae*, *S. ellipsoideus*, *Clostridium propionicum*, *Clostridium saccharoacetoper-butylicum* y *Clostridium butyricum*. Otros ejemplos de microbios anaeróbicos son los que se encuentran en el estómago de un rumiante. Se pueden añadir otros microbios, por ejemplo, levadura y/o catalizadores enzimáticos, al sistema de digestión anaeróbica para facilitar la descomposición de la materia prima en componentes que pueden utilizar los microbios anaeróbicos como nutrientes o como materiales de partida para materiales útiles fabricados por el microbio anaeróbico. Estos otros microbios y/o enzimas incluyen, por ejemplo, amilasas, proteasas, celulasas, hidrolasas, enzimas hidrolizantes de lípidos, lisozimas, fosfatasa, esterasa, amidasa y lipasa.

- 5 **[0029]** En un sistema anaeróbico hay una ausencia de oxígeno gaseoso. En un modo de realización, se impide que el oxígeno gaseoso entre en el sistema mediante la contención física en tanques sellados. Los anaerobios pueden acceder al oxígeno a partir de fuentes distintas al aire circundante. La fuente de oxígeno para estos microorganismos puede ser el propio material orgánico o, de forma alternativa, puede ser suministrado por óxidos inorgánicos del interior del material de entrada. Cuando la fuente de oxígeno en un sistema anaeróbico se deriva del propio material orgánico, entonces los productos finales intermedios son principalmente alcoholes, aldehídos, ácidos orgánicos y/o dióxido de carbono. En presencia de metanógenos especializados, los productos intermedios se convierten en productos finales de metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. En un sistema anaeróbico con metanógenos, la mayoría de la energía química contenida en el material de partida es liberada por los microbios metanogénicos como metano.
- 10 **[0030]** En la mayoría de los casos, la biomasa está formada por moléculas orgánicas grandes. Para que los microbios en los sistemas de digestión anaeróbica accedan al potencial energético del material, estas cadenas deben primero descomponerse en sus partes constituyentes más pequeñas. Estas partes constituyentes o monómeros, como los azúcares, están fácilmente disponibles para otros microbios. El proceso de descomposición de estas cadenas y disolución de las moléculas más pequeñas en solución se denomina hidrólisis. La hidrólisis de estos componentes poliméricos de alto peso molecular es una primera etapa en la digestión anaeróbica. Mediante la hidrólisis, las moléculas orgánicas complejas se descomponen en azúcares, aminoácidos y ácidos grasos simples. El hidrógeno producido en las primeras etapas puede ser utilizado directamente por los metanógenos.
- 15 **[0031]** En el procesado biológico de la acidogénesis se produce una descomposición adicional de los componentes restantes por los microbios acidogénicos (fermentativos). En la acidogénesis, se crean AGV junto con amoníaco, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, así como otros productos.
- 20 **[0032]** Una tercera etapa de la digestión anaeróbica es la acetogénesis. Durante la acetogénesis, las moléculas simples creadas a través de la fase de acidogénesis son digeridas de forma adicional por los acetógenos para producir ácido acético, así como dióxido de carbono e hidrógeno.
- 25 **[0033]** Una cuarta etapa de la digestión anaeróbica es el proceso biológico de la metanogénesis. Los metanógenos utilizan los productos intermedios de las etapas anteriores y los convierten en metano, dióxido de carbono y agua, junto con otros productos como el amoníaco. El material restante no digerible del que los microbios no pueden alimentarse, junto con cualquier resto bacteriano muerto constituye el digestato o biomasa que se puede eliminar de un sistema de la invención.
- 30 **[0034]** En la presente memoria se describe también un biorreactor que comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas acuáticas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas de rumiante. Las bacterias de rumiantes pueden ser microaerofílicas. En algunos casos, los rumiantes incluyen, sin carácter limitativo, ovejas, ganado, bisontes, cabras y antílopes. En algunos casos, las bacterias acuáticas pueden aislarse de los sedimentos anóxicos oceánicos profundos y poco profundos, los sedimentos anóxicos de agua dulce y los sedimentos anóxicos de pantanos y turberas. Las bacterias de rumiantes pueden ser bacterias anaeróbicas que producen principalmente ácidos grasos volátiles. En algunos casos, las bacterias acuáticas son bacterias metanogénicas.
- 35 **[0035]** Un biorreactor en la presente memoria comprende al menos dos módulos. En algunos casos, un primer módulo comprende principalmente bacterias de rumiantes y un segundo módulo que comprende principalmente bacterias acuáticas. El biorreactor puede ser un sistema continuo o un sistema discontinuo. Si el sistema es continuo, los módulos del biorreactor pueden volver a inocularse con bacterias anaeróbicas de vez en cuando. En algunos casos, el biorreactor es un recipiente cilíndrico que puede contener la biomasa durante un tiempo determinado antes de que se elimine. En algunos casos, el biorreactor no es un reactor de flujo de pistón. En algunos casos, cualquier módulo del biorreactor está configurado para recibir biomasa celulósica sólida.
- 40 **[0036]** La figura 1 ilustra un modo de realización de ejemplo de un sistema de la invención que comprende un tanque de fermentación primario y otro secundario. La fermentación primaria comprende bacterias, por ejemplo, especies microbianas de rumiantes u otras especies capaces de realizar una digestión anaeróbica. Entre los ejemplos de especies microbianas que pueden estar presentes en un tanque de un sistema se incluyen, sin carácter limitativo: *Fibrobacter succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium locheadii*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminobacter amylophilus*, *Selenomonas ruminantium*, *Succinomonas amylolytica*, *Streptococcus bovis*, *Selenomonas lactilytica*, *Megasphaera elsdenii*, *Schwartzia sunniovorans*, *Lachnospira multiparus* y *Neocalimastix*. Otras especies microbianas de rumiantes pueden estar presentes en un tanque de la presente memoria, como sabrá un experto en la materia.
- 45 **[0037]** En el tanque de fermentación primario de la figura 1, el tanque puede recibir biomasa celulósica y una especie microbiana. Las poblaciones de microbios anaeróbicos pueden tardar un tiempo en establecerse para ser completamente eficaces. Por lo tanto, en un modo de realización, se pueden introducir microorganismos anaeróbicos de materiales con poblaciones existentes. Un tanque se puede alimentar previamente o inocular con la especie microbiana, o puede insertarse al mismo tiempo o después de la biomasa celulósica.
- 50 **[0038]** En algunos casos, las bacterias anaeróbicas acuáticas están presentes en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:1 con respecto a las bacterias anaeróbicas de rumiante en el sistema de biorreactor. En algunos casos, la primera pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:1 000

5 con la segunda pluralidad de bacterias en un primer módulo del sistema y la segunda pluralidad de bacterias está presente en una relación volumen:volumen de aproximadamente 1:1 000 con la primera pluralidad de bacterias en un segundo módulo del sistema. En algunos ejemplos, la inoculación de las bacterias anaeróbicas acuáticas en un primer módulo con las bacterias de rumiantes es de aproximadamente 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:100, 1:500, 1:1 000 o 1:10 000 v/v. En un modo de realización, la inoculación de las bacterias anaeróbicas acuáticas en un primer módulo con respecto a las bacterias de rumiantes se encuentra en el intervalo de aproximadamente 1:1 a 1:10 000 v/v. En algunos ejemplos, la inoculación de las bacterias anaeróbicas de rumiante en un segundo módulo con respecto a las bacterias acuáticas es de aproximadamente 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:100, 1:500, 1:1 000 o 1:10 000 v/v. En un modo de realización, la inoculación de las bacterias anaeróbicas de rumiante en un segundo módulo con respecto a las bacterias acuáticas se encuentra en el intervalo de aproximadamente 1:1 a 1:10 000 v/v. En algunos modos de realización, la inoculación de las bacterias anaeróbicas en un módulo se completa utilizando relaciones p/p de bacterias de rumiantes y acuáticas en relaciones similares a las relaciones v/v analizadas en la presente memoria.

15 **[0039]** En un modo de realización, la biomasa se retira del tanque primario más o menos en el momento en el que comienza la metanogénesis durante el proceso de digestión anaeróbica. Por ejemplo, la biomasa se puede retirar poco antes de la metanogénesis, más o menos en el mismo momento en que se produce la metanogénesis, o poco después de la metanogénesis. En un modo de realización, se utiliza un sensor de metano para determinar la cantidad de metanogénesis que se produce en el tanque primario. Un usuario puede determinar mover la biomasa fuera del tanque primario una vez que se ha detectado una determinada cantidad de metano, para evitar demasiada metanogénesis en el tanque primario.

20 **[0040]** En un modo de realización, un proceso que se produce en el tanque de fermentación primario es la fermentación celulósica, por ejemplo, la conversión de celulosa en celobiosa en glucosa en AGV, o cualquier combinación de estas etapas. Otro proceso que se produce en el tanque primario es la amonificación, por ejemplo, la conversión de grupos amino de proteínas en amoniaco y amonio. Asimismo, la desulfuración de una proteína que contiene átomos de azufre o de azufre orgánico puede producirse en el tanque de fermentación primario, que genera gas de sulfuro de hidrógeno. Como se muestra en la figura 1, el tanque de fermentación primario genera un número de productos que incluyen, sin carácter limitativo, biogases (como hidrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano), agua, AGV (como acetato, propionato y butirato), amoniaco y amonio.

30 **[0041]** La figura 1 ilustra también un tanque de fermentación secundario. El tanque de fermentación secundario está configurado para recibir biomasa. La biomasa procede del tanque de fermentación primario. En el ejemplo de la figura 1, el tanque secundario recibe biomasa y microbios anaeróbicos que han completado las primeras tres etapas de la digestión anaeróbica. En un modo de realización, el tanque secundario comprende metanógenos que pueden alimentarse previamente en el tanque secundario o introducirse con la biomasa o introducirse después de la biomasa. En un modo de realización, la biomasa también comprende microbios del tanque de fermentación primario que pueden ser descompuestos por metanógenos en el tanque de fermentación secundario. Entre los microbios de ejemplo que pueden estar presentes en el tanque secundario se incluyen, sin carácter limitativo, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanomicrobium mobile* y *Syntrophomonas wolfei*. El tanque secundario también puede comprender otros ejemplos de microbios, entre los que se incluyen, sin carácter limitativo: metanógenos sintróficos, *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium bryantii*, *Methanobacterium thermo-autotrophicum*, *Methanogenium cariaci*, *Methanogenium frigidum* y *Methanotherix sochngeni*.

40 **[0042]** En un modo de realización, un tanque de fermentación secundario produce biogases (como metano, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono). En un modo de realización adicional, el tanque secundario puede producir principalmente metano. Los procesos del tanque secundario pueden incluir la metanogénesis, por ejemplo, la conversión de dióxido de carbono en presencia de hidrógeno en metano. Otro proceso comprende la amonificación, donde las proteínas de la biomasa en el tanque secundario se descomponen en amoniaco o amonio. La desulfuración también se puede producir en el tanque secundario. Entre los ejemplos de productos del tanque secundario se incluyen, sin carácter limitativo: biogases (como metano, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono), agua, suspensión de biomasa, amoniaco y amonio.

50 **[0043]** En un modo de realización, un sistema de la invención comprende un sistema discontinuo. La biomasa se añade en el reactor al comienzo del proceso en un lote y se sella mientras dura el proceso. La producción de biogás puede formarse con un patrón de distribución normal en el tiempo. El operador puede utilizar este hecho para determinar cuándo cree que se ha completado el proceso de digestión de la materia orgánica. Se puede utilizar una pluralidad de sistemas en paralelo para generar grandes cantidades de productos.

55 **[0044]** Otro sistema de ejemplo comprende un proceso de digestión continuo, donde la materia orgánica se añade constantemente o se añade por etapas al reactor. En un modo de realización de un sistema continuo, los productos finales se retiran de forma constante o periódica, dando lugar a una producción constante de biogás y otros productos utilizables. Entre los ejemplos de esta forma de digestión anaeróbica se incluyen, sin carácter limitativo, reactores continuos de tanque agitado, manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente, lecho de lodo granular expandido y reactores de circulación interna.

**[0045]** En un modo de realización, un tanque de digestión continua tiene un dispositivo mecánico o hidráulico, dependiendo del nivel de sólidos en el material, para mezclar el contenido permitiendo que los microbios y la biomasa

estén en contacto. Un sistema continuo también puede permitir que se extraiga el exceso de material de forma continua para mantener un volumen razonablemente constante dentro de los tanques de digestión.

**[0046]** Durante la operación continua, el nivel de suspensión en el sistema de digestión puede permanecer relativamente constante y se puede controlar el índice de alimentación y el índice de efluente para proporcionar el tiempo de permanencia total deseado en el sistema de digestión anaeróbica. Durante la operación continua, la materia prima se puede añadir de forma continua al reactor aproximadamente al mismo tiempo que se retira del reactor el gas, el efluente, la escoria, el sobrenadante y/o el lodo. Durante la operación semicontinua, se puede añadir la materia prima al reactor de forma gradual y el gas, el efluente, la escoria, el sobrenadante y/o el lodo se retiran de forma gradual al mismo tiempo o en momentos diferentes. Durante la operación discontinua, se añaden partes más grandes de materia prima al reactor en intervalos de tiempo dados y se retiran del reactor partes más grandes de gas, lodo, efluente, sobrenadante y/o lodo en el mismo intervalo de tiempo o en intervalos de tiempo diferentes. Durante la operación continua, la temperatura operativa y el índice de producción de gas será relativamente constante. En un modo de realización, la operación continua proporciona un mayor índice de producción de gas que la operación discontinua o semicontinua.

**[0047]** En la presente memoria también se describe un sistema que comprende un sistema de digestión de una sola etapa, en el que todas las reacciones biológicas se producen dentro de un solo reactor sellado o tanque de retención. Un ejemplo de sistema de reacción de una sola etapa es una laguna anaeróbica, por ejemplo, una cuenca de tierra similar a un estanque que se utiliza para el tratamiento y el almacenamiento a largo plazo de residuos.

**[0048]** El biorreactor descrito en la presente memoria puede comprender una entrada para materia prima que contiene celulosa y al menos una salida, donde la salida del biorreactor consta de al menos uno de los siguientes: amoníaco, ácidos grasos volátiles y metano.

**[0049]** En un biorreactor descrito en la presente memoria, el sistema comprende un sistema de digestión de dos etapas o multietapa con más de un recipiente de digestión en serie. Los microbios acidogénicos producen ácidos orgánicos como AGV y crecen y se reproducen más rápidamente que los microbios metanogénicos. Los microbios metanogénicos requieren una temperatura y un pH estables para optimizar su rendimiento. En un modo de realización del sistema, la hidrólisis, la acetogénesis y la acidogénesis se producen dentro del primer recipiente de reacción. Se puede utilizar un separador después del primer recipiente de digestión para extraer productos del sistema y procesos. Por ejemplo, se puede extraer gas de dióxido de carbono e hidrógeno, AGV, agua y amoníaco después de la digestión en el primer recipiente y el contenido restante se puede transferir al segundo recipiente como se muestra en la figura 1. En un modo de realización, la metanogénesis se produce en el segundo recipiente, produciendo así principalmente gas metano y una variedad de otros productos, incluido amoníaco.

**[0050]** En un aspecto, se da a conocer un biorreactor que comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias en su estado acidogénico; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias en su estado acetogénico, donde la eliminación de los ácidos grasos volátiles producidos a partir de las bacterias acetogénicas presentes en el biorreactor en una relación tal que mantenga el pH del biorreactor entre 5,9 y 8,4. En algunos casos, en un biorreactor sin la eliminación de los ácidos grasos volátiles, el pH no se mantiene entre 5,9 y 8,4. En algunos casos, la primera y la segunda pluralidad de bacterias comprenden bacterias anaeróbicas acuáticas y bacterias anaeróbicas de rumiante.

**[0051]** La figura 2 muestra un ejemplo de sistema de la invención que comprende dos tanques de fermentación y al menos dos separadores para obtener productos de los tanques de fermentación. La biomasa que contiene almidones, proteínas y materiales celulósicos se puede introducir en la cámara de AGV. La biomasa celulósica como las algas se puede introducir en la cámara de AGV a través de un mezclador de entrada que rompe la biomasa. La materia prima puede introducirse a través de un sistema de alimentación por fuerza o por gravedad. Otros ejemplos de sistemas de entrada para la materia prima incluyen sin carácter limitativo bombas de todo tipo o cámaras o tubos de alimentación presurizados con gas. Además, la entrada de la biomasa puede comprender un tanque anóxico para eliminar el oxígeno de la biomasa, con el fin de que la digestión anaeróbica proceda de forma más sencilla. En un modo de realización, se puede introducir una materia prima de celulosa en un tanque de pretratamiento para acondicionar o pretratar la materia prima con el fin de mejorar la digestión anaeróbica antes de la entrada en la cámara de AGV. Por ejemplo, uno o más agentes acondicionadores, como el efluente digerido recirculado que sale de la unidad de tratamiento anaeróbico, enzimas, ácidos, álcalis, alcalinotérreos, nutrientes, sólidos de semillas anaeróbicas y tensioactivos, se pueden añadir a la materia prima de biomasa para mejorar la descomposición anaeróbica. En otro modo de realización, la materia prima puede someterse a calentamiento antes de entrar en el sistema. La grava, como tierra, arena, barro, piedras, guijarros, rocas, plumas, pelo y otros materiales de este tipo, también pueden eliminarse antes de añadir la suspensión de materia prima al sistema de digestión anaeróbica. Un ejemplo de equipo para eliminar la grava incluye, sin carácter limitativo, clasificadores, tanques de sedimentación, tanques multifase y filtros.

**[0052]** La cámara de AGV comprende microbios anaeróbicos, como los descritos en la presente memoria. La cámara de AGV puede alimentarse con microbios antes de introducir la biomasa. En un ejemplo, se utiliza un estómago de vaca para alimentar la cámara AGV con microbios de rumiante que realizan la digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica y la fermentación se producen en el tanque de AGV después de la introducción de la biomasa y los microbios. En algunos modos de realización, la mezcla de la materia prima en el tanque puede facilitar una digestión eficaz. La mezcla puede

conseguirse con mezcladoras mecánicas convencionales o mediante circulación (burbujeo) de un gas o una parte del biogás capturado de nuevo en el tanque. Entre los ejemplos de mezcladoras se incluyen, sin carácter limitativo, una o más barras burbujeadoras, uno o más agitadores mecánicos, un recirculador de fluidos, un recirculador de gases y combinaciones de estos. Los agitadores mecánicos que son útiles en el sistema de digestión anaeróbica incluyen todos los agitadores de fluidos conocidos, como una turbina, hélice, impulsor, paleta, rueda, barra helicoidal, agitador, recipiente de reacción giratorio, tubo o varilla flexible, agitador magnético, tambor, rueda de paletas, y otros agitadores mecánicos conocidos por los expertos en la materia del mezclado de fluidos.

**[0053]** Dentro del tanque, el gas sube a la parte superior del tanque y puede muestrearse o eliminarse a través de una salida ubicada cerca de la parte superior de la cámara de AGV. La salida cerca de la parte superior puede comprender también sensores para medir el diferente contenido de gas de la cámara, lo que puede ser útil para determinar la etapa de la digestión anaeróbica dentro del tanque. Una salida de la cámara de AGV puede transferir biogases acumulados de la cámara de AGV a la cámara de biogás, por ejemplo, dióxido de carbono y gas hidrógeno.

**[0054]** La cámara de AGV puede comprender también una válvula de presión para regular la presión dentro del tanque. Un recipiente de reacción se puede presurizar con un presurizador. El presurizador puede ser una bomba, cilindro de gas comprimido, u otro equipo de este tipo, que fuerza un gas inerte, un gas producido, suspensión de materia prima o un efluente de reacción en el recipiente de reacción para aumentar la presión del recipiente de reacción hasta la presión de operación deseada. Por consiguiente, el alimentador de suspensión de materia prima, el recirculador de gases, el recirculador de fluidos, la barra burbujeadora, o combinaciones de estos, pueden servir como presurizador. En un modo de realización, el sistema de digestión anaeróbica comprende una o más válvulas de descarga de presión, respiraderos o válvulas de escape para reducir la presión dentro del recipiente de reacción. El sistema de digestión anaeróbica también puede comprender un controlador de presión capaz de controlar la presión dentro del recipiente de reacción y/o un monitor de presión capaz de monitorizar la presión dentro del recipiente de reacción. El sistema de digestión anaeróbica también puede comprender uno o más manómetros que indican la presión dentro del sistema.

**[0055]** La biomasa y el líquido pueden ocupar el tanque debajo de la capa de gas. Una capa de sólidos o lodo puede residir en el tanque debajo de la capa líquida. Una salida para eliminar el líquido de la cámara de AGV conduce a un primer separador. Por ejemplo, en la figura 2, el primer separador es un vaporizador de AGV, donde los AGV del líquido se destilan y se separan del líquido. Los AGV también se pueden recoger utilizando cromatografía. Además, el agua se puede eliminar del líquido y del sistema en el primer separador, por ejemplo, mediante destilación o secado. Un intercambiador de calor puede proporcionar el calor necesario para la destilación y la recogida de los productos del líquido de la primera cámara. Los AGV normalmente se gasifican por encima de aproximadamente 120 °C, mientras que el agua hierve a 100 °C y el amoníaco se gasifica alrededor de -30 °C. En un modo de realización, el primer separador comprende una pluralidad de dispositivos de separación. Por ejemplo, el primer separador puede comprender columnas de destilación para la destilación del amoníaco, el agua y los AGV. En otro modo de realización, el amoníaco, el agua y las AGV se eliminan mediante la misma columna de destilación. En otro modo de realización, se utiliza la cromatografía para eliminar y recoger los AGV de un sistema o biorreactor en la presente memoria. En algunos casos, los AGV recogidos mediante los métodos y sistemas en la presente memoria tienen una pureza de aproximadamente el 98,5 %. Los AGV recogidos mediante los métodos y sistemas de la presente memoria pueden tener una pureza de aproximadamente el 85 %, 90 %, 95 %, 99 %, o 100 %. En algunos casos, se recogen trazas de alcoholes con los AGV.

**[0056]** La temperatura afecta a la productividad del sistema de digestión anaeróbica, debido a que los diferentes microbios tienen diferentes temperaturas óptimas. La temperatura de la solución de reacción puede controlarse con un controlador de temperatura que calienta y/o enfría la solución de reacción. El controlador de temperatura puede ser un calentador, un intercambiador de calor, una camisa que rodea el recipiente de reacción, un serpentín dentro del recipiente de reacción u otro equipo de este tipo utilizado para controlar la temperatura de los fluidos dentro de los reactores. La temperatura del recipiente de reacción se puede monitorizar con un monitor de temperatura, como un termopar u otro equipo conocido por los expertos en la materia. De forma alternativa, se utiliza una camisa de calefacción o de refrigeración que rodea el recipiente de reacción para controlar la temperatura del contenido del recipiente de reacción. En un modo de realización, el sistema de digestión se mantiene a temperaturas ambiente.

**[0057]** Los niveles de fluido en el recipiente de reacción se pueden monitorizar con un detector de nivel de fluido y controlar con un controlador de nivel de fluido que aumenta o disminuye el flujo de suspensión de materia prima dentro del efluente de reacción o fuera del recipiente de reacción.

**[0058]** En un modo de realización, la cámara de AGV es un tanque mesofílico y se mantiene a una temperatura de aproximadamente 20-40 °C. Además, la cámara de AGV puede mantenerse a 25-32 °C. Asimismo, la cámara de AGV puede mantenerse a temperatura ambiente. En un modo de realización, el tiempo de permanencia de la biomasa es de 2-30 días en la cámara de AGV. En otro modo de realización, el tiempo de permanencia para completar la hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis de la biomasa es de 4-22 días. El tiempo de permanencia puede ser determinado por un usuario, o puede ser monitorizado automáticamente por un sistema informático y sensores que miden el contenido del tanque. Se monitoriza la cantidad o las concentraciones de los AGV en el tanque. En un ejemplo, el volumen de una cámara de AGV puede ser de hasta 1 millón de galones (3 785 411,78 litros). La cámara de AGV puede comprender aproximadamente un 5 %, 10 %, 15 % o 20 % de material sólido en peso. En un ejemplo, la cámara de AGV comprende un 10 % de sólidos en peso. En otro modo de realización, la cámara de AGV es un tanque de 8 toneladas, de las cuales

aproximadamente el 10 % de las 8 toneladas está en estado sólido y el 90 % restante es líquido y gas en peso. En otro ejemplo del sistema, el tanque de AGV es un tanque de 1 tonelada, de las cuales aproximadamente el 10 % de la 1 tonelada está en estado sólido y el 90 % restante es líquido y gas en peso.

5 **[0059]** El tiempo de permanencia en un sistema de digestión varía con la cantidad y el tipo de material de alimentación y la configuración del sistema de digestión. Los metanógenos, responsables de la etapa final de la digestión anaeróbica, solo son capaces de duplicar su población a un ritmo muy lento de aproximadamente 192 horas. Los microbios acetogénicos que intervienen en la etapa intermedia de la digestión anaeróbica presentan un ritmo de duplicación aproximadamente 60 veces más rápido que el de los microbios metanogénicos.

10 **[0060]** Como se muestra en la figura 2, el líquido, la suspensión de biomasa y el lodo restantes se eliminan de la cámara de AGV y se introducen en la cámara de biogás. En un modo de realización, la cámara de biogás comprende metanógenos para la digestión anaeróbica de la suspensión de biomasa, el líquido y el lodo en metano. También puede haber otros microbios presentes en la cámara de biogás. En otro modo de realización, los microbios se transfieren de la cámara de AGV a la cámara de biogás. Por ejemplo, los microbios pueden ser ahora una fuente de biomasa para la cámara de biogás, o pueden contribuir al proceso de digestión en el segundo tanque. Cualquier resto de ácidos grasos o lípidos de las membranas de la biomasa o los microbios puede degradarse también. En un modo de realización, la cámara de biogás también comprende una entrada para los desechos de alimentos o aceites, u otras grasas o desechos, como lodos de depuración. De esta manera, la biomasa, los desechos de biomasa y otros desechos que contienen proteínas o células pueden convertirse en productos útiles mediante un proceso o sistema de la invención.

20 **[0061]** Los biogases se pueden eliminar de la cámara de biogás desde la parte superior o cerca de la parte superior de la cámara. En un modo de realización, más del 50 %, 60 %, 70 %, 80 % o 90 % del biogás es metano. Otros gases incluyen dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Opcionalmente, se puede utilizar un separador de gas para fraccionar el gas según lo requiera el usuario. En un modo de realización, como el de la figura 2, una tubería de gas primaria de la cámara de biogás puede comprender un muestreador, un sensor y una válvula de presión que se pueden utilizar para monitorizar y regular la producción de biogás de la cámara de biogás. El contenido o porcentaje de cada gas se puede monitorizar utilizando un cromatógrafo de gases u otro equipo de detección o análisis de gases utilizado para determinar la composición o presencia de gases o mezclas gaseosas.

30 **[0062]** En un modo de realización, la cámara de biogás es un tanque mesofílico y se mantiene a una temperatura de aproximadamente 20-40 °C. Además, la cámara de biogás se puede mantener a 25-32 °C. Asimismo, la cámara de AGV se puede mantener a temperatura ambiente. En otro modo de realización, la cámara de biogás se mantiene a una temperatura termofílica (por ejemplo, 55-80 °C) y comprende metanógenos termofílicos. En un modo de realización, el tiempo de permanencia de la biomasa es de 2-30 días en la cámara de biogás. En otro modo de realización, el tiempo de permanencia para completar la metanogénesis de la biomasa es de 4-22 días. El tiempo de permanencia puede ser determinado por un usuario, o puede ser monitorizado automáticamente por un sistema informático y sensores que miden el contenido del tanque. En un modo de realización, el ritmo de producción de metano se utiliza para monitorizar el estado de la cámara de biogás. En un ejemplo, el volumen de una cámara de biogás puede ser de hasta 1 millón de galones (3 785 411,78 litros). La cámara de biogás puede comprender aproximadamente un 5 %, 10 %, 15 % o 20 % de material sólido en peso. En un ejemplo, la cámara de biogás comprende un 10 % de sólidos en peso. En otro modo de realización, la cámara de biogás es un tanque de 8 toneladas, de las cuales aproximadamente el 10 % de las 8 toneladas está en estado sólido y el 90 % restante es líquido y gas en peso. En otro ejemplo del sistema, el tanque de AGV es un tanque de 1 tonelada, de las cuales aproximadamente el 10 % de la 1 tonelada está en estado sólido y el 90 % restante es líquido y gas en peso.

**[0063]** Como se muestra en la figura 2, el metano de la cámara de biogás se puede utilizar para alimentar un sistema de turbina que genera electricidad y calor. Por ejemplo, el calor de la turbina se puede utilizar con un intercambiador de calor del sistema para separar o destilar productos líquidos del sistema.

45 **[0064]** Se monitoriza el pH del sistema para determinar el tiempo de recogida de los productos del sistema. Por ejemplo, cuando el pH es superior o inferior a un umbral determinado, se elimina el amoníaco o los AGV del sistema para mantener el pH aproximadamente neutro. El pH es de aproximadamente 5,9 a aproximadamente 8,5. En un caso, el pH preferible del sistema puede ser 6,9-7,3. En algunos casos, cuando el pH es inferior a 6,5, se recogen los AGV de los sistemas. En algunos casos, cuando el pH es superior a 8,0, se recoge el amoníaco del sistema.

50 **[0065]** Hay una serie de parámetros que pueden afectar a la productividad del metano de los microbios. Entre estos se encuentran la temperatura del sistema de digestión; la estabilidad de la temperatura del sistema de digestión; la intrusión de oxígeno o aire; las fluctuaciones de pH; y la acumulación de productos químicos como el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno o el exceso de ácidos grasos volátiles.

55 **[0066]** En la presente memoria se describe también un método para recoger productos de materia prima que contiene celulosa que comprende: entregar la materia prima que contiene celulosa a un biorreactor, donde el biorreactor comprende una pluralidad de bacterias anaeróbicas; convertir la materia prima que contiene celulosa en productos utilizables dentro del biorreactor, donde los productos utilizables incluyen al menos uno de los siguientes: amoníaco, ácidos grasos volátiles y metano; y recoger los productos del biorreactor, donde el 59 % o más de la materia prima que contiene celulosa en peso se convierte en los productos donde los productos se seleccionan de entre el grupo consistente en ácidos grasos volátiles,

amoniaco y metano. En algunos casos, el 60 %, 65 %, 70 %, 75 %, u 80 % o más de la materia prima que contiene celulosa en peso se convierte en los productos. Entre los ejemplos de productos que no son productos para los fines de la presente memoria se incluyen las fibras no digeribles como la lignina y otras fibras celulósicas. En algunos casos, una materia prima entregada a un sistema o biorreactor en la presente memoria comprende solo cantidades pequeñas de lignina o fibras celulósicas.

**[0067]** En algunos casos, la pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas acuáticas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias anaeróbicas de rumiante. En algunos casos, la pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende: una primera pluralidad de bacterias, donde la primera pluralidad de bacterias comprende bacterias acidogénicas; y una segunda pluralidad de bacterias, donde la segunda pluralidad de bacterias comprende bacterias acetogénicas, donde las bacterias acidogénicas y las bacterias acetogénicas están presentes en el biorreactor en una relación para mantener el pH del biorreactor entre 5,9-8,5.

**[0068]** En la presente memoria se describe además un método que comprende: combinar una pluralidad de microorganismos del océano profundo con una pluralidad de microorganismos de un estómago de rumiante en un recipiente, donde el pH en el recipiente se mantiene entre 5,9-8,5, y donde la presión en el recipiente se mantiene entre 50,5 y 1013 kPa (0,5-10 atm).

**[0069]** En la figura 2 también se muestra una salida para eliminar los productos líquidos de la cámara de biogás. La salida está en comunicación con un segundo separador. En el ejemplo de la figura 2, el segundo separador puede destilar amoniaco y amonio del líquido. Los productos de amoniaco se pueden almacenar y utilizar en productos como fertilizante, por ejemplo, sin carácter limitativo, sulfato de amonio, agua amoniacal y fosfato de amonio. El amoniaco también se puede convertir en otros productos útiles como nitratos y nitritos. En otro modo de realización, el primer separador también puede eliminar amoniaco o amonio. También se puede retirar el agua del líquido en el segundo separador. La figura 2 muestra el uso del agua extraída del líquido para ser reciclada de nuevo en la cámara de AGV o biogás de un sistema de la invención para proporcionar agua a los microbios y biomasa a medida que entran en los tanques.

**[0070]** La figura 3 muestra un sistema de ejemplo de la invención que comprende una turbina. Una biomasa celulósica, como las algas, se introduce en un sistema o aparato de fermentación celulósica de digestión anaeróbica (también conocido como AGATE o extracción dirigida de gas ácido y amoniaco). La biomasa celulósica puede ser cualquier biomasa que comprenda celulosa y proteínas. Entre los ejemplos de biomasa celulósica se incluyen, sin carácter limitativo: algas, plantas vasculares, maíz, soja, palma, aceite vegetal, aceite vegetal residual, aceite animal, grasa animal, residuos de animales, estiércol, aguas residuales, sebo de pollo, sebo de vaca y otros descritos en la presente memoria. En un modo de realización, las algas son la biomasa celulósica y se obtienen de un fotobiorreactor. El fotobiorreactor puede ser un fotobiorreactor cerrado, un estanque, o el mar. La solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 11/944,610 describe métodos para la recogida de biomasa de algas para su uso en un sistema de la invención.

**[0071]** La figura 3 también ilustra ejemplos de productos obtenidos de un sistema de digestión anaeróbica. En el ejemplo, el sistema de digestión anaeróbica genera ácidos orgánicos, amoniaco anhidro y biogás. El biogás puede comprender gas hidrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano. En un modo de realización, el biogás se puede utilizar para accionar una turbina, que a su vez genera calor y electricidad. La turbina puede ser un sistema basado en una turbina de vapor adaptada a la utilización de varios combustibles para producir el vapor para rotar las turbinas. En diversos modos de realización, la producción de vapor utiliza combustibles tradicionales, como el carbón y el gas natural, así como combustibles alternativos, como el biogás, incluido el metano. El vapor se utiliza para rotar las turbinas conectadas a un generador eléctrico. La rotación del generador produce electricidad para su distribución en una red eléctrica. En otros modos de realización, la central eléctrica utiliza un generador de turbina de gas y quema biogás, incluido metano, directamente para generar electricidad. En un modo de realización, el calor generado de la turbina se puede utilizar para calentar el sistema de digestión anaeróbica si es necesario. En este modo de realización, el calor generado de la turbina se utiliza también para extraer amoniaco anhidro y ácidos grasos volátiles. La turbina también puede accionarse solo por el metano del biogás. Por ejemplo, el biogás recogido del sistema de digestión anaeróbica puede fraccionarse en sus componentes. Entre los métodos de fraccionamiento del biogás se incluyen, sin carácter limitativo, la depuración del agua, la absorción por oscilación de presión y la exclusión por tamaño.

**[0072]** El amoniaco anhidro también es un producto del sistema de la figura 3. El amoniaco anhidro puede ser útil para una variedad de productos, incluido, sin carácter limitativo, el fertilizante. Por ejemplo, el amoniaco anhidro se puede utilizar para cultivar maíz. Otro producto del sistema de la figura 3 son los ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos pueden comprender ácidos grasos y/o AGV. Los AGV son ácidos grasos con una cadena de carbono de seis carbonos o menos, como el acetato, el propionato y el butirato. Los AGV son excretados de forma natural durante el proceso de digestión celulósica por los microbios del tanque, y en una ecología de rumiantes, son absorbidos por el revestimiento del estómago del rumen. Los AGV y los ésteres de AGV se pueden utilizar en pinturas, solventes, procesos industriales, combustible y alimentos, por ejemplo. En otro modo de realización, los AGV se pueden utilizar como solvente orgánico, por ejemplo, reemplazando al tolueno.

**[0073]** La figura 4 ilustra un sistema de ejemplo de la invención que comprende un sistema de digestión anaeróbica, una turbina y una unidad de procesamiento térmico. En la figura 4, se introduce biomasa celulósica en un sistema de digestión

anaeróbica de la invención. Por ejemplo, se pueden introducir en el sistema algas y otras plantas. A partir del sistema de digestión se pueden obtener numerosos productos, incluidos, sin carácter limitativo, biogás, lodos de biomasa, amoniaco anhidro y AGV. En un modo de realización como se muestra en la figura 4, los AGV y otros ácidos grasos del sistema se pueden convertir en ésteres y ésteres de ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos son útiles en la creación de biodiésel y otros combustibles, así como usos en la industria cosmética y de fragancias. En un modo de realización, un sistema puede producir combustible biodiésel. En general, un combustible biodiésel es una mezcla de ésteres de alquilo con propiedades de combustión y contenido de energía similares al combustible diésel a base de petróleo. El biodiésel se genera por transesterificación de ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos de la biomasa utilizando alcohol simple. Cuando los AGV se convierten en ésteres, pueden añadirse a combustibles convencionales para reducir el punto de enturbiamiento.

**[0074]** Otro producto del ejemplo de sistema de la figura 4 es el amoniaco anhidro, que tiene varias indicaciones en industrias, incluidos, sin carácter limitativo: fertilizantes, productos de limpieza, productos farmacéuticos, alimentos, refrigeración, depuradores de emisiones y usos de laboratorio. También se puede obtener biogás del sistema de la figura 4. El biogás del sistema puede incluir metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y otros gases. Como se muestra en la figura 4, se puede utilizar el metano como combustible para hacer funcionar una turbina, que a su vez puede generar calor y electricidad para una amplia gama de usos.

**[0075]** El metano, el dióxido de carbono o el hidrógeno producido por el sistema de digestión anaeróbica se pueden limpiar o purificar mediante un depurador para eliminar la humedad, el vapor, las gotas, los sólidos en suspensión u otros contaminantes de este tipo. El depurador puede comprender uno o más de entre un filtro, desecante, zeolita, carbón activado, fibra, solución de lavado a contracorriente, mezclador, homogeneizador u otros componentes de este tipo que se suelen utilizar en asociación con los depuradores de gases o que están comprendidos en ellos. Estos componentes los conocen bien los expertos en la materia del procesamiento de gases. Los gases que salen del sistema de digestión anaeróbica o del depurador se separan entonces opcionalmente en sus componentes individuales utilizando un equipo de separación de gases convencional, que conocen los expertos en la materia para la separación de mezclas de gases. Los gases también se pueden procesar con uno o más compresores, o equipo de deshidratación. De forma alternativa, los gases se almacenan en recipientes o tanque de almacenamiento presurizados después de que se hayan depurado. Si el gas almacenado es hidrógeno o metano purificado o mezclas de metano o hidrógeno con dióxido de carbono, se puede utilizar directamente para operar el sistema de digestión anaeróbica o uno o más de sus componentes o puede utilizarse para operar equipo adicional, como el descrito anteriormente. En los gases descritos anteriormente también se puede encontrar el amoniaco.

**[0076]** En el ejemplo de la figura 4, el calor y la energía generados a partir de la turbina se pueden enviar a una unidad de procesamiento térmico para llevar a cabo diversas tareas que requieren temperaturas elevadas. La unidad de procesamiento térmico puede utilizar el calor de temperaturas superiores a 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C u 800 °C. Un ejemplo de tarea como se ilustra en la figura 4 es el refinado de petróleo, por ejemplo, el refinado de petróleo a partir de una biomasa para generar crudo verde. Se podría utilizar el calor residual en el craqueo térmico o hidro craqueo de una sustancia petrolífera. En otro modo de realización, el refinado se puede realizar en un producto petrolífero para generar un producto de combustible como gasolina o carburorreactor.

**[0077]** El digestato es el remanente sólido del material de entrada original en los sistemas de digestión que no pueden degradar los microbios. También consta de restos mineralizados de los microbios muertos del interior de los sistemas de digestión. El digestato puede estar en tres formas; fibroso, líquido o una combinación a base de lodo de las dos fracciones. En un ejemplo de sistema de dos etapas de la invención, las diferentes formas de digestato proceden de diferentes tanques de digestión. El digestato acidogénico es un material orgánico estable compuesto en gran medida por lignina y celulosa, pero también por una variedad de componentes minerales en una matriz de células bacterianas muertas y puede haber algo de plástico. El material se parece al compost doméstico y se puede utilizar como compost o para fabricar productos de construcción de baja calidad, como cartón-fibra. Un digestato metanogénico rico en nutrientes puede utilizarse como un fertilizante dependiendo de la calidad del material que se digiere. El digestato contiene normalmente elementos, como la lignina, que no pueden ser descompuestos por los microorganismos anaeróbicos. Después de la digestión se puede emplear una etapa de maduración o compostaje. Las etapas de compostaje grandes se utilizan normalmente con tecnologías de digestión anaeróbica.

**[0078]** La biomasa o lodo de biomasa del sistema de digestión es otro producto con varios usos que puede obtenerse fácilmente de un sistema de la invención. La biomasa digerida o parcialmente digerida se puede utilizar de varias formas, incluido, sin carácter limitativo, una materia prima para generar piensos animales o vegetales o para generar un producto oleoso o lipídico a partir de la biomasa. En un modo de realización, un sistema comprende una unidad de procesamiento que puede configurarse para, por ejemplo, deshidratar, secar, peletizar y/o granular la biomasa final procesada. El secado y/o la granulación de los sólidos puede convertir la biomasa residual en un producto fertilizante utilizable o un ingrediente fertilizante y/o un producto de enmienda del suelo. El agua extraída de la fracción de sólidos puede devolverse al sistema de digestión anaeróbica. Además, los sólidos de biomasa producidos por el sistema pueden contener niveles considerables de nitrógeno, fósforo y otros metales traza, y elementos para crear un fertilizante para los cultivos y/o enmienda del suelo.

[0079] En el ejemplo de la figura 4, la biomasa se puede convertir en un producto de petróleo, como el crudo verde, utilizando el calor generado de una turbina que funciona con biogás del sistema de digestión del que se extrajo la biomasa. En otro modo de realización con una pluralidad de sistemas de digestión, el biogás y la biomasa se pueden obtener del mismo sistema o de sistemas diferentes.

5 [0080] En un ejemplo de sistema como se muestra en la figura 5, los ácidos grasos volátiles pueden calentarse a ácidos calientes utilizando el calor generado por una turbina que puede quemar el biogás del sistema de digestión. El ácido caliente se puede utilizar para varios fines, incluida la generación de ésteres. Los ésteres se pueden utilizar para varios productos, incluido el biodiésel y el biocombustible.

#### EJEMPLO 1

10 [0081] Un sistema de biorreactor como se describe en la presente memoria se alimentó con bacterias anaeróbicas, en concreto, bacterias acuáticas y de rumiante. Se proporcionaron varias materias primas diferentes al sistema. Las materias primas se suministraron muestras de masa seca de 1 kg en un sistema de biorreactor de dos tanques como se describe en la presente memoria. El primer tanque se alimentó con 10 g de bacterias de rumiante (en este ejemplo, bacterias de ganado) y 1 g de bacterias acuáticas (obtenidas de sedimento mezclado), a una proporción de 10:1 p/p de bacterias anaeróbicas de rumiante y bacterias anaeróbicas acuáticas. En el segundo tanque del sistema, se invirtió la alimentación, o 10 g de bacterias acuáticas y 1 g de bacterias de rumiante. La figura 6 ilustra la conversión de las materias primas concretas en productos seleccionados en este ejemplo de sistema (enumerados en la fila superior de la tabla). La cantidad de producto se muestra en gramos, y el peso total de los productos ilustra la cantidad de materia prima que se convirtió en producto útil (sin incluir fibras celulósicas, etc.). Como demuestran los datos, al menos el 59,8 % de la materia prima se convirtió en un producto útil en todas las materias primas. Además, se produjeron AGV y biogases en grandes cantidades.

#### EJEMPLO 2

25 [0082] La *Ulva lactuca* cosechada del Puget Sound en biorreactores de dos etapas se utilizó como materia prima en una escala de banco. Los biorreactores se inocularon con 10 mL de consorcio de bacterias de rumiante de la primera cámara que constaban de más de  $10^9$  unidades formadoras de colonias anaeróbicas y 0,01 mL de inóculo de sedimento metanogénico anaeróbico de una turbera local que constaba de una media de  $10^8$  unidades formadoras de colonias junto con 1 kg de peso de biomasa seca. El segundo reactor se inoculó con 10 mL de sedimento metanogénico anaeróbico y 0,01 mL de consorcio de rumiante. La materia prima de *Ulva lactuca* en el sistema de biorreactor produjo el equivalente medio de 220 metros cúbicos de biogás y proporcionó una media de 6 gramos por litro de reactor de ácidos grasos volátiles.

#### EJEMPLO 3

[0083] Se colocaron cultivos de macroalgas mixtos en un sistema de biorreactor con el mismo inóculo que en el ejemplo 2. La materia prima se convirtió en un equivalente medio de 580 metros cúbicos de biogás y una media de 9,4 gramos por litro de reactor de ácidos grasos volátiles.

#### EJEMPLO 4

[0084] Se colocaron residuos de jardinería y recortes de hierba en un sistema de biorreactor con el mismo inóculo que en el ejemplo 2. La materia prima se convirtió en una media de 600 metros cúbicos de biogás y 16 gramos por litro de ácidos grasos volátiles de las muestras.

#### EJEMPLO 5

40 [0085] Un sistema de biorreactor de dos etapas como se describe en la presente memoria se utilizó con una mezcla de organismos de rumiante, la mezcla comprendía partes iguales de microbios de rumiantes bovinos, caprinos y ovinos en la inoculación de 10 mL. Se utilizaron recortes de hierba y residuos de fábrica de pasta de papel como materia prima. En comparación con los demás ejemplos de la presente memoria, los productos obtenidos de la conversión de la materia prima mostraron una disminución de los rendimientos de biogás (200-300 metros cúbicos) y un aumento de la producción de ácidos grasos volátiles, mostrando una producción media de 10,6 gramos por litro de reactor de producción de AGV. Se han identificado los siguientes microbios en el primer módulo de los ejemplos 2-5: *Lactobacillus*, *Clostridium propionicum*, *Clostridium butyricum*, *Enterobacter*, *Ruminococcus albus*. Se han identificado los siguientes microbios en el primer módulo de los ejemplos 2-5:

*Methanobrevibacter ruminantium*; *Megasphaera elsdenii*

50 [0086] Los otros microbios descritos en la presente memoria se han identificado como presentes en un sistema de biorreactor como se ha descrito en la presente memoria y en algunos de los sistemas de los ejemplos 2-5.

**REIVINDICACIONES**

1. Biorreactor que comprende:
  - un primer módulo que comprende una primera pluralidad de bacterias anaeróbicas; y
  - un segundo módulo que comprende una segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas;
  - 5 donde una salida del primer módulo está en comunicación con una entrada del segundo módulo,
  - donde la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende una mezcla de bacterias anaeróbicas diferente a la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas, y
  - donde el biorreactor comprende un primer separador en comunicación con una de las salidas del primer módulo para eliminar los ácidos orgánicos volátiles del primer módulo, y comprende un segundo separador en comunicación fluida con una de las salidas del segundo módulo para eliminar el amoníaco del segundo módulo con el fin de mantener el pH del biorreactor entre 5,9 y 8,5, y donde el primer separador y el segundo separador se seleccionan cada uno de forma independiente de entre un vaporizador, una unidad de destilación y una combinación de estos.
- 15 2. Biorreactor de la reivindicación 1, donde una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acidogénicas, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acetogénicas.
- 20 3. Biorreactor de la reivindicación 1, donde una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias acidogénicas, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias metanogénicas.
- 25 4. Biorreactor de la reivindicación 1, donde sin la eliminación de los ácidos orgánicos volátiles, el pH no se mantiene entre 5,9 y 8,5.
5. Biorreactor de la reivindicación 1, donde la primera y la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas comprenden cada una bacterias anaeróbicas acuáticas y bacterias anaeróbicas de rumiante.
- 30 6. Biorreactor de la reivindicación 5, donde una mayoría de la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias anaeróbicas de rumiante, y donde una mayoría de la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas son bacterias anaeróbicas acuáticas.
- 35 7. Biorreactor de la reivindicación 5, donde la primera pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende las bacterias anaeróbicas de rumiante en una relación volumen:volumen de 100:1 a 10 000:1 de las bacterias anaeróbicas acuáticas, y donde la segunda pluralidad de bacterias anaeróbicas comprende las bacterias anaeróbicas acuáticas en una relación volumen:volumen de 100:1 a 10 000:1 de las bacterias anaeróbicas de rumiante.
- 40 8. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el biorreactor es un sistema discontinuo.
9. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el biorreactor es un sistema continuo.
- 45 10. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el primer módulo comprende una entrada configurada para recibir una materia prima, donde la materia prima comprende biomasa celulósica sólida.
11. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el primer módulo comprende una salida configurada para recoger ácidos orgánicos volátiles del biorreactor.
12. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el segundo módulo comprende una salida configurada para recoger amoníaco del biorreactor.
- 50 13. Biorreactor de la reivindicación 1, donde el segundo módulo comprende una salida configurada para recoger metano del biorreactor.
- 55 14. Biorreactor de la reivindicación 5, donde las bacterias anaeróbicas de rumiante se seleccionan de entre el grupo consistente en *Fibrobacter succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium locheadii*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminobacter amylophilus*, *Selenomonas ruminantium*, *Succinomonas amylolytica*, *Streptococcus bovis*, *Selenomonas lactilytica*, *Megasphaera elsdenii*, *Schwartzia sunniovorans*, *Lachnospira multiparus*, *Neocalimastix*, y una combinación de estas.

15. Biorreactor de la reivindicación 5, donde las bacterias anaeróbicas acuáticas se seleccionan de entre el grupo consistente en *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanomicrobium mobile*, *Syntrophomonas wolfei*, y una combinación de estas.
- 5
16. Biorreactor de la reivindicación 1, donde la salida del biorreactor consta de al menos uno de los siguientes: amoníaco, ácidos orgánicos volátiles y metano.
  17. Biorreactor de la reivindicación 16, donde la salida del biorreactor proporciona el metano a una turbina configurada para suministrar electricidad.

**Tanque primario: Tanque de fermentación celulósica / AGV**

Tanque de fermentación primario: Fermentación celulósica (Celulosa → Celobiosa → Glucosa → Ácidos Grasos Volátiles), amonificación (Proteína (grupos NH<sub>2</sub>) → NH<sub>3</sub> (NH<sub>4</sub>, anóxico)), desulfuración (proteína (S orgánico) → H<sub>2</sub>S)

Especies microbianas: *Fibrobacter succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium locheadii*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminobacter amylophilus*, *Selenomonas ruminantium*, *Succinomonas amylolytica*, *Streptococcus bovis* (microorganismo no deseado, lleva a acidificación del tanque de fermentación primario), *Selenomonas lactilytica*, *Megasphaera elsdenii*, *Schwartzia sunniovorans*, *Lachnospira multiparus*, *Neocalimastix* (hongo, fermenta los almidones no celulósicos)

Productos del tanque de fermentación primario: biogás (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> (residual)), H<sub>2</sub>O, acetato -, propionato -, butirato-. NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

**Tanque secundario: Tanque de producción de biogás / digestión anaeróbica / generación de metano**

Tanque de fermentación secundario: metanogénesis (ácidos grasos, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub>), amonificación (proteína (grupos NH<sub>2</sub>) → NH<sub>3</sub> (NH<sub>4</sub>, anóxico)). Desulfuración (proteína (S orgánico) → H<sub>2</sub>S)

Especies microbianas: *Methanobrevibacter ruminantium* (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub>), *Methanomicrobium mobile* (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub>)

Especies microbianas secundarias: *Syntrophomonas wolfei* (ácidos grasos → acetato, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>), otros metanógenos sintróficos

Productos del tanque de fermentación secundario: biogás (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>), NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, suspensión de biomasa

Fermentación secundaria: biogás (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), suspensión de biomasa, NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

**Figura 1**

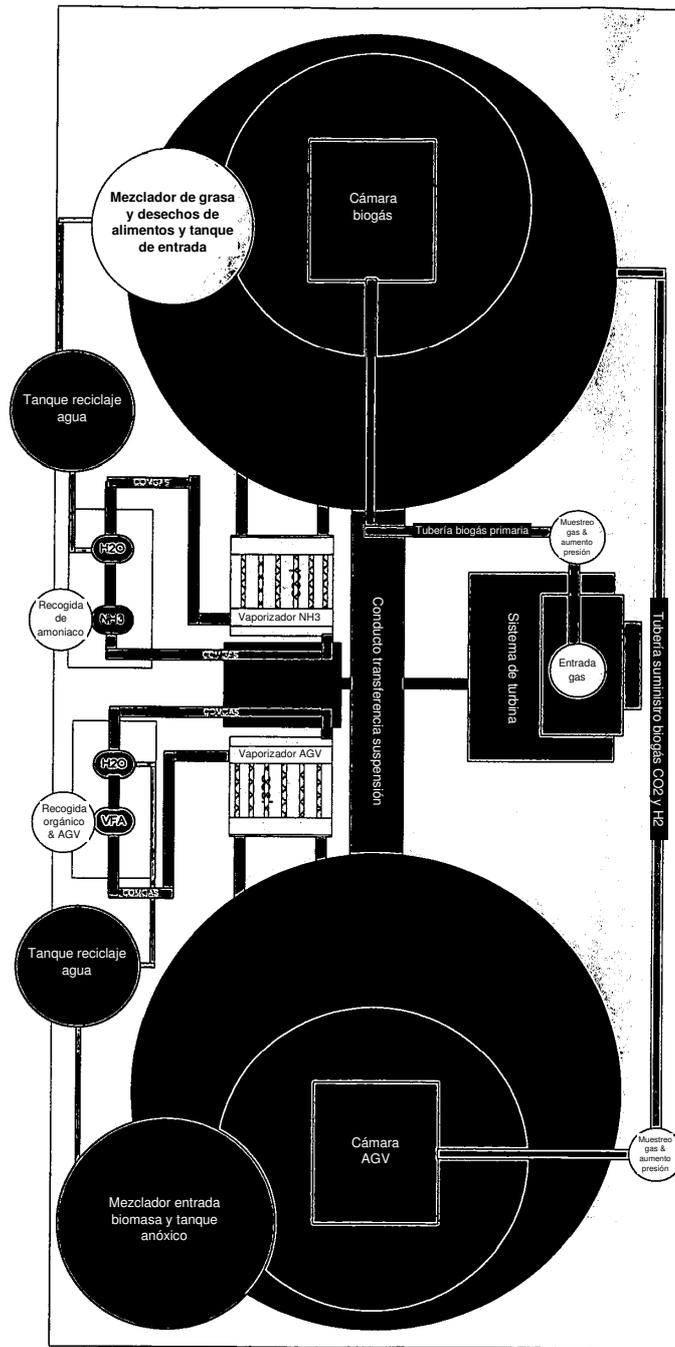


Figura 2

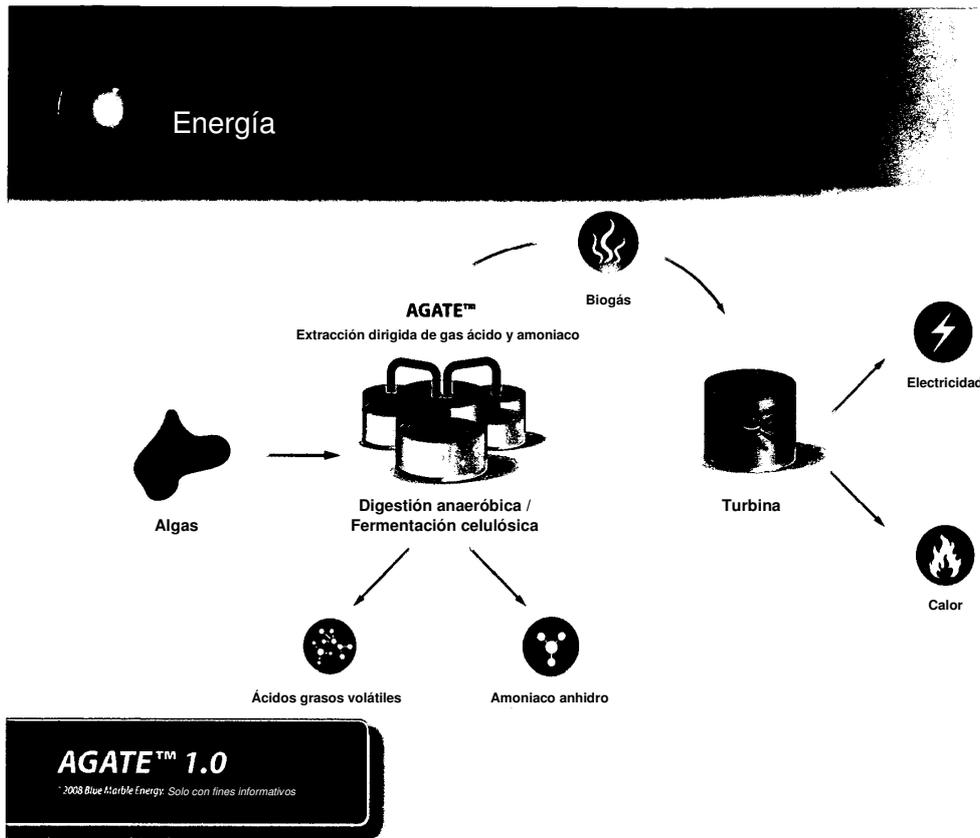


Figura 3

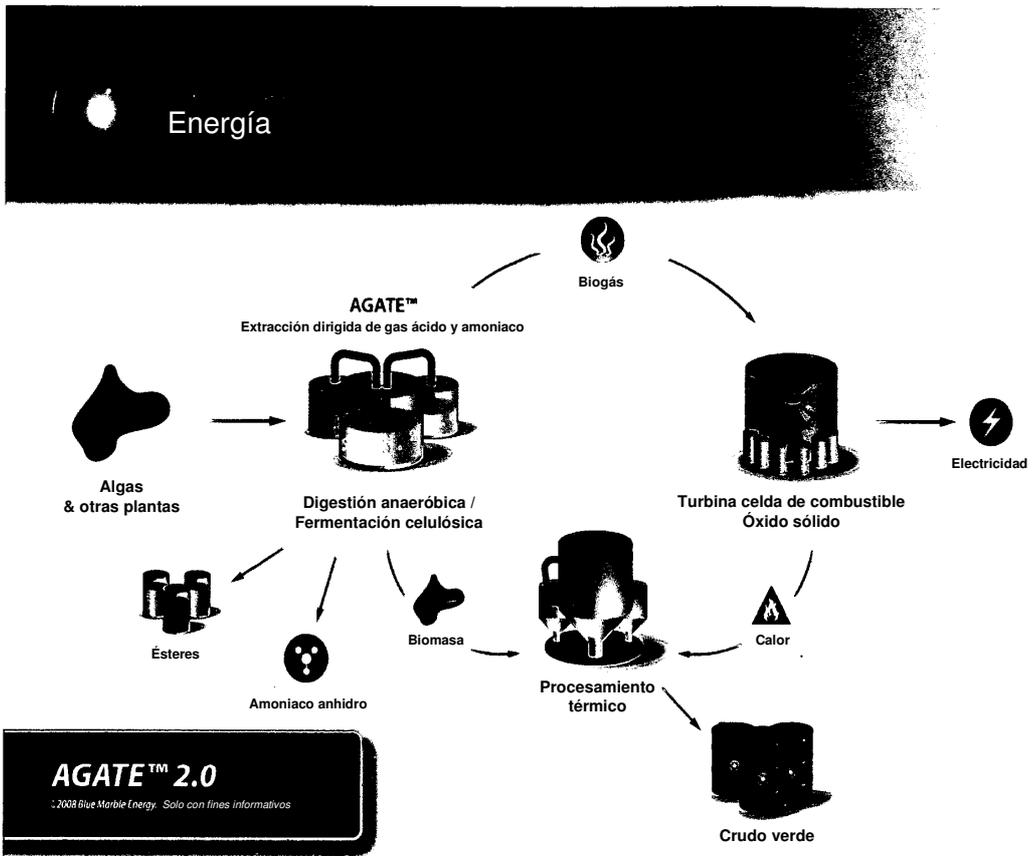


Figura 4

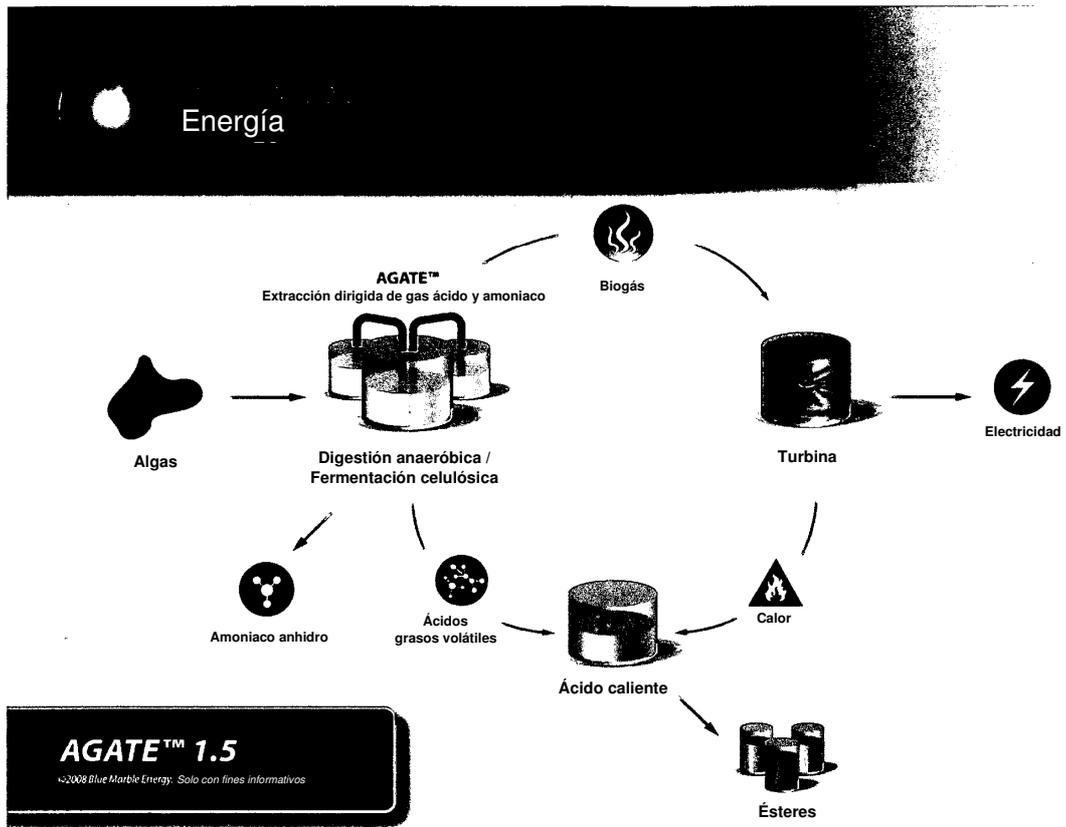


Figura 5

Conjunto de muestras 1 Kg		acetato	propionato	butirato	CO2	metano	agua	formiato	amoníaco	total
Materia prima	Rango									
Uva Lactica	Bajo	170.67	64.78	57.78	216.45	75.38	45.02	22.59	31.18	683.56
	Medio	187.55	71.19	63.50	237.53	82.84	49.47	24.82	34.27	751.16
	Alto	202.56	76.89	68.58	256.53	89.46	53.43	26.81	37.01	811.26
Mezcla algas salvajes Pugel Sound	Bajo	136.64	51.87	46.26	210.01	102.74	47.39	31.62	36.41	662.94
	Medio	160.76	61.02	54.43	247.07	120.87	55.75	37.20	42.84	779.93
	Alto	178.44	67.73	60.41	274.25	134.17	61.88	41.29	47.55	865.72
Microalgas de aguas residuales	Bajo	143.08	54.31	48.44	219.89	107.57	49.62	33.10	38.12	694.14
	Medio	160.76	61.02	54.43	247.07	120.87	55.75	37.20	42.84	779.93
	Alto	165.58	62.85	56.06	254.48	124.50	57.42	38.31	44.12	803.33
Milentrana / Lenteja de agua	Bajo	143.08	54.31	48.44	219.89	107.57	49.62	33.10	38.12	694.14
	Medio	160.76	61.02	54.43	247.07	120.87	55.75	37.20	42.84	779.93
	Alto	181.66	68.95	61.50	279.19	136.58	63.00	42.03	48.40	881.32
Restos de granos	Bajo	107.64	40.86	36.44	201.46	141.01	50.01	42.24	39.84	659.51
	Medio	115.75	43.94	39.19	216.63	151.63	53.77	45.42	42.84	709.15
	Alto	131.95	50.09	44.67	246.95	172.85	61.30	51.78	48.83	808.43
Granos secos de destileria	Bajo	88.46	33.58	29.95	188.49	191.57	52.40	54.02	39.84	678.30
	Medio	95.12	36.10	32.20	202.67	205.99	56.35	58.09	42.84	729.36
	Alto	103.68	39.35	35.10	220.91	224.53	61.42	63.32	46.69	795.00
Residuos de jardineria	Bajo	190.98	72.49	64.66	170.26	46.05	32.18	8.74	12.72	598.08
	Medio	235.78	89.50	79.83	210.20	56.85	39.73	10.79	15.71	738.37
	Alto	249.93	94.87	84.62	222.81	60.26	42.12	11.43	16.65	782.67
Desecchos de alimentos	Bajo	139.99	53.14	47.40	138.49	251.51	45.25	56.06	13.56	745.41
	Medio	147.36	55.94	49.89	145.78	264.75	47.63	59.01	14.28	784.64
	Alto	165.05	62.65	55.88	163.28	296.52	53.35	66.09	15.99	878.80

Figura 6