

DESCRIPCIÓN

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN ANAEROBIA

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

El objeto de la presente invención pertenece al campo de la tecnología ambiental y, en particular, se refiere a un nuevo proceso de producción de biogás mediante codigestión anaerobia de residuos orgánicos: los fangos procedentes de Aguas Residuales Urbanas (en adelante, ARU) y Residuos Sólidos Orgánicos (en adelante, RSO), entendiéndose como tales tanto la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (en adelante, RSU) y asimilables a estos, preferentemente residuos orgánicos procedentes de la recogida selectiva de RSU, así como residuos orgánicos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza, pesca o preparación y elaboración de alimentos y residuos orgánicos industriales, entre otros ejemplos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

La presente invención surge de la necesidad de mejora de los procesos actuales de gestión de residuos urbanos. En particular, se refiere a un nuevo proceso para optimizar la producción de biogás mediante el tratamiento de dos tipos de residuos orgánicos que, hasta la fecha, se gestionan de manera independiente, a saber: los RSO y los fangos procedentes de ARU.

El tratamiento de las ARU en las depuradoras comprende, principalmente, dos líneas de proceso: por un lado, se depuran las aguas para poder verterlas a un cauce y/o reutilizarlas en limpieza de calles y/o riego de jardines y, por otro lado, se gestiona la fracción de sólidos o fangos separados o generados durante el tratamiento de las aguas residuales. En este caso, las arenas o voluminosos son retirados y destinados a vertedero y, por otro lado, los fangos que se generan durante el tratamiento biológico y/o que se retiran en las etapas de decantación son sometidos mayoritariamente a un proceso de digestión anaerobia vía húmeda.

35

En el caso de los residuos sólidos urbanos y asimilables, el tratamiento habitual consiste en ir separando las diferentes fracciones presentes en los mismos (plásticos, metales y fracción orgánica, principalmente) para posteriormente tratar y valorizar cada fracción de manera independiente. En el caso de la fracción orgánica,
5 las principales formas de valorización son: compostaje o estabilización aerobia, digestión anaerobia o valorización térmica (incineración, gasificación, pirólisis, etc.).

En el caso de la digestión anaerobia, hay dos tendencias principales en la gestión de residuos:

- 10 • vía seca, cuando la concentración de sólidos es superior al 20% en peso, y
- vía húmeda, cuando la concentración de sólidos es inferior al 20% en peso (generalmente, en torno a un 10 o 12%).

En la literatura de patentes es posible encontrar numerosas invenciones referentes a
15 procesos de tratamiento de lodos mediante digestión anaerobia.

Así por ejemplo, la patente US3338826 se refiere a un proceso para el tratamiento de aguas residuales mediante digestión anaerobia que comprende someter las aguas residuales a una presión de entre 2 y 4 atmósferas para acelerar su descomposición.

20 A su vez, la patente EP0737651 se refiere a un método para el tratamiento de aguas residuales que comprende, entre otras etapas, someter a un excedente de lodos a un pretratamiento térmico a una temperatura de 60°C o superior, deshidratar el excedente de lodos y mezclar los lodos deshidratados con los lodos digeridos
25 resultantes de un proceso de fermentación de metano, de forma que la mezcla obtenida es utilizada como sustrato de un nuevo proceso de fermentación de metano.

Si bien son muchas las soluciones propuestas para optimizar el proceso de
30 tratamiento de los lodos de las aguas residuales que se generan en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), hasta la fecha no se ha encontrado ninguna solución basada en acondicionar mediante un proceso de hidrólisis térmica otro tipo de residuos orgánicos, preferentemente residuos sólidos procedentes de la recogida selectiva de la fracción orgánica de los RSU, siendo dichos residuos, una
35 vez tratados, empleados para mejorar la eficiencia del proceso de digestión

anaerobia de los lodos generados o separados en las plantas de tratamiento de lodos de aguas residuales. A diferencia de la solución objeto de la presente invención, los procesos conocidos en el estado de la técnica basados en el tratamiento conjunto mediante codigestión de residuos orgánicos y lodos de depuradora se basan en la utilización de residuos orgánicos brutos, es decir, sin ser sometidos a ningún tratamiento previo, más allá de etapas de eliminación de impropios.

Gracias al tratamiento de hidrólisis térmica de los residuos sólidos orgánicos se consiguen múltiples ventajas, tal y como se detallarán más adelante. Entre ellas, cabe destacar los sorprendentes resultados que se logran alcanzar en cuanto a la generación y calidad del biogás obtenido, contribuyendo al autoconsumo energético de las instalaciones de depuración e incluso a la generación de excedentes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

De este modo, es objeto de la invención un proceso de producción de biogás mediante codigestión anaerobia caracterizado por que comprende:

(a) una primera etapa de preparación de biomasa hidrolizada a partir de residuos sólidos orgánicos. Esta primera etapa comprende a su vez:

i. una primera subetapa que comprende un tratamiento de termohidrólisis de los residuos sólidos orgánicos. Este tratamiento de termohidrólisis puede llevarse a cabo preferentemente sometiendo a los residuos a una presión comprendida entre 1.5 y 4.5 bares y una temperatura de entre 120 y 160°C, durante un tiempo que puede variar entre 10 y 75 minutos. No obstante, la presión y el tiempo podrán variar para optimizar los efectos de la hidrólisis térmica sin llegar a generar compuestos inhibitorios que pudieran afectar a las siguientes etapas del proceso.

Mediante este tratamiento de hidrólisis térmica se obtienen los siguientes beneficios:

- higienización de los residuos;
- degradación parcial de la fracción orgánica, sin afectar a los impropios (entendiendo como tales las fracciones o componentes de los residuos que no son susceptibles de valorizarse en un

proceso de digestión anaerobia). Esto supone:

- homogenización de la fracción orgánica,
- aumento de la eficiencia de separación de impropios, con lo que se obtiene un mayor aprovechamiento de la fracción orgánica, minimizando su pérdida en un proceso posterior de limpieza;

- estabilización térmica y biológica de la materia orgánica;
- transformación de compuestos complejos en moléculas solubles y más fácilmente degradables.

El resultado de esta etapa de hidrólisis térmica es un producto que, a efectos de esta patente, se denominará "biomasa bruta". Si bien las características de la "biomasa bruta" pueden variar en gran medida en función del origen de los residuos de partida, en una realización particular dicha "biomasa bruta" se caracteriza por comprender: entre un 70 y un 75 % en peso de materia orgánica biodegradable, entre un 10 y un 15 % en peso de impropios ligeros (entendiendo como tales materiales que, al solubilizar la materia orgánica, tienden a flotar al presentar densidades inferiores a la suspensión de la materia orgánica, como por ejemplo textiles, plásticos, tetrabriks, restos de poda leñosa, maderas o corchos, etc.) y entre un 10 y un 15 % en peso de impropios pesados (entendiendo como tales materiales que, al solubilizar la materia orgánica, tienden a precipitar al presentar densidades mayores a la suspensión de la materia orgánica, como por ejemplo vidrio, cristales, arenas, piedras, huesos, etc.);

ii. a continuación se lleva a cabo una segunda subetapa de postratamiento de la biomasa bruta, separando impropios. En particular se lleva a cabo la separación de impropios ligeros e impropios pesados.

La retirada de los impropios puede llevarse a cabo mediante cualquier método conocido en el estado de la técnica para llevar a cabo dicho proceso de separación, como por ejemplo mediante el empleo de separadores tipo trómel, mesas vibratorias o desempaquetadores para la eliminación de impropios ligeros y decantadores, hidrociclones, hidroclasificadores o desarenadores, entre otros ejemplos, para la eliminación de impropios pesados.

- 5 Como resultado de esta subetapa se obtiene biomasa hidrolizada que, a efectos de esta patente, se denominará "sustrato" o "biomasa hidrolizada limpia", la cual podrá o bien almacenarse o bien continuar el proceso. Este sustrato se caracteriza por comprender un porcentaje de materia orgánica de al menos un 90% y más preferentemente de al menos un 98% en peso. De manera preferente, la relación en peso de sólidos volátiles por sólidos totales en dicho producto será de al menos 0.6, y más preferentemente de al menos 0.8 y su contenido en sólidos totales de al menos un 5% en peso;
- 10 (b) una segunda etapa de mezcla de la biomasa hidrolizada limpia obtenida en la etapa anterior con los lodos de una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR), dando lugar a una mezcla con una concentración de sólidos inferior a un 30% en peso y generalmente entre un 5 y un 15% en peso. De manera preferente, la cantidad de biomasa hidrolizada limpia en la
- 15 mezcla podrá variar entre un 5 y un 65% en peso, mientras que la cantidad de lodos podrá variar entre un 35 y un 95% en peso. No obstante, la cantidad final de cada componente en la mezcla no es limitante, pudiendo variar en función de la estacionalidad u otras circunstancias.
- 20 De este modo, el proceso reivindicado permite mantener una producción de biogás constante a lo largo del año, independientemente de la variación que pueda existir en la producción de lodos (por ejemplo, en áreas urbanas con variaciones de población a lo largo del año). En estos casos, podrá utilizarse una mayor cantidad de biomasa hidrolizada para compensar los periodos de menor producción de fangos, manteniendo así la producción de biogás.
- 25 La mezcla obtenida es sometida a continuación a un proceso de acondicionamiento para ajustar la cantidad de sólidos totales a un porcentaje inferior a un 20% en peso y preferentemente entre un 5 y 15 % en peso, siendo dicha cantidad la requerida para llevarse a cabo la siguiente etapa del proceso;
- 30 (c) una tercera etapa de digestión anaerobia vía húmeda de la mezcla obtenida en la etapa anterior en al menos un digestor, dando lugar a biogás y un digestato.
- 35 De manera preferente, la digestión anaerobia se llevará a cabo en condiciones mesofílicas (a una temperatura de entre 25°C y 40°C y más preferentemente entre 35°C y 38°C) y durante un Tiempo de Retención

Hidráulica (TRH) de entre 12 y 30 días. En otras realizaciones particulares de la invención la digestión anaerobia podrá también llevarse a cabo en condiciones termófilas (a una temperatura de entre 50°C y 60°C).

5 A su vez, el pH del proceso de digestión anaerobia variará preferentemente entre 7 y 8.5 y la carga orgánica entre 1.5 y 5 kg SV /m³ día.

En una realización particular de la invención en la que los residuos sólidos orgánicos sean la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y asimilables a estos, el proceso podrá comprender etapa previa de preparación de los residuos mediante
10 separación de impropios voluminosos (entendiendo como tales aquellas fracciones o componentes de gran volumen, fácilmente separables por tamaño, siendo su tamaño generalmente superior a 80 mm) y/o metales presentes en los mismos. De manera particular, la separación de los voluminosos puede llevarse a cabo mediante al menos un separador rotativo tipo trómel con un tamaño de malla preferentemente
15 comprendido entre 60 y 120 mm. A su vez, en el caso de la presencia de metales férricos, dichos metales podrán separarse mediante al menos un separador magnético.

Asimismo, de manera particular el proceso podrá comprender una etapa adicional de
20 aprovechamiento del biogás obtenido, preferentemente mediante cogeneración (produciendo tanto calor como electricidad), en calderas para la generación de calor o siendo sometido a un proceso de purificación ("upgrading") para la obtención de biometano.

25 Adicionalmente, el proceso podrá comprender una etapa adicional de aprovechamiento del digestato, preferentemente mediante uso agrícola como biofertilizante.

A efectos de esta patente se entiende por residuos sólidos orgánicos tanto la fracción
30 orgánica de los RSU y asimilables (y preferentemente los residuos orgánicos procedentes de la recogida selectiva de RSU), como residuos orgánicos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza, pesca o preparación y elaboración de alimentos, residuos orgánicos industriales, etc.

35 A su vez, se entiende por RSU cualquier residuo doméstico, es decir, cualquier

sustancia u objeto que haya sido desechado en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran residuos asimilables a los RSU los similares a los anteriores generados en comercios, industrias e instituciones como por ejemplo residuos de mercados, residuos de la limpieza viaria, residuos de la
5 limpieza de alcantarillas, etc.

En particular, los residuos sólidos orgánicos se caracterizan por ser residuos susceptibles de degradarse biológicamente y pueden comprender, sin ser limitantes: restos de fruta y verdura, restos de carne y pescado, cáscaras de huevo, de marisco
10 y de frutos secos u otros restos de comida, restos de infusiones y posos de café, servilletas usadas, papel de cocina sucio y papel y cartón sucios de aceite o de restos de comida, pequeños restos de jardinería (plantas, hojarasca o ramos de flores), etc.

15 Por otra parte, a efectos de esta patente se entiende como lodo de una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) la mezcla de agua y sólidos obtenida en una estación de depuración que trate aguas residuales domésticas o urbanas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Su composición será por tanto variable, dependiendo de la composición del
20 agua residual inicial, su procedencia y/o el tipo de tratamiento al que sean sometidas las aguas residuales. En general, el porcentaje de agua en los lodos será superior a un 95% en peso.

Son muchas las ventajas derivadas del proceso objeto de la invención, basado en el
25 empleo de residuos sólidos orgánicos (una vez sometidos a un proceso de hidrólisis térmica) como sustrato en el proceso de digestión anaerobia de los lodos de una EDAR. En particular, gracias al aporte de biomasa hidrolizada como sustrato de la digestión anaerobia se consigue:

- 30 (1) aprovechar un biorresiduo (la fracción orgánica de los RSU y asimilables o los residuos orgánicos de distintas procedencias, tal y como han sido anteriormente descritos, una vez hidrolizados) en instalaciones existentes (en particular, las instalaciones de una planta EDAR), las cuales son actualmente deficitarias de energía;
- 35 (2) integrar la gestión de residuos que tradicionalmente se gestionan de forma separada;

- (3) aprovechar las instalaciones existentes de las EDAR, evitando nuevas inversiones, si bien también podrían construirse nuevas plantas que integren la gestión de los distintos residuos en una misma instalación;
- 5 (4) aumentar no solo la concentración de sólidos totales sino también la concentración de sólidos volátiles por volumen de digestor y, por tanto, la carga orgánica (OLR, del inglés "Organic loading rate"). En realizaciones particulares de la invención se ha logrado un incremento de la OLR de entre un 13 y un 108%. Además de aumentar la carga orgánica del digestor, se consigue mantener una carga orgánica constante, independientemente de la
- 10 estacionalidad;
- (5) aumentar la producción de biogás de manera sorprendente, gracias al efecto sinérgico que se logra mediante la mezcla de residuos reivindicada. En realizaciones particulares, se ha logrado un aumento en la producción de biogás de entre un 15 y un 124% respecto a la producción que se consigue en
- 15 las EDAR actuales con relaciones de lodos/biomasa de entre un 93/7 y un 80/20. Como consecuencia de este importante aumento en la producción de biogás se consigue no solo una mayor producción de energía renovable, sino también contribuir al autoconsumo energético de la instalación de depuración, generando incluso excedentes;
- 20 (6) mejorar la calidad del biogás, aumentando el porcentaje de CH₄. En una realización particular de la invención, el biogás obtenido mediante el proceso reivindicado puede comprender entre un 64.6 y un 67.4% de CH₄ y entre un 35.4 y un 32.6% de CO₂. El hecho de que el biogás obtenido presente una mejor calidad que el obtenido con el tratamiento actual de lodos en las EDAR,
- 25 unido al incremento en su producción, es una ventaja importante en muchos sentidos. En particular, permite obtener un mayor porcentaje de electricidad en ciclos combinados, mejorando el porcentaje de autoconsumo. Adicionalmente, en el caso de alcanzarse el autoconsumo, el biogás excedente puede ser empleado para otros usos, como por ejemplo para obtener biometano mediante
- 30 un proceso de purificación (*upgrading*), el cual puede venderse, lográndose un ingreso extra para la planta de tratamiento de aguas;
- (7) aumentar entre un 1 y un 10% el Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible, debido al incremento en la concentración de metano en el biogás;
- 35 (8) reducir las necesidades de desodorización y enriquecimiento (*upgrading*), lo que supone un ahorro en reactivos y un menor coste de operación y

mantenimiento. Asimismo, el hecho de que presente una mayor calidad permite alargar la vida de los motores de cogeneración donde es aprovechado;

(9) aumentar la estabilidad al proceso ya que:

- 5 • se aumenta la carga orgánica del digestor y se reduce el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) entre un 5 y un 60%;
- se minimiza el uso de reactivos químicos para el control del proceso; y
- se aumenta la degradabilidad de la materia orgánica del digestor, incrementándose la reducción de sólidos totales y sólidos volátiles entre un 6% y un 27% respecto a los procesos actuales.

10

Asimismo, el hecho de que el proceso se base en el empleo de biomasa hidrolizada permite obtener una serie de ventajas adicionales frente a los procesos que se basan en la utilización de residuos orgánicos sin hidrolizar, tal y como se describen a continuación:

- 15 • en primer lugar, se consigue una mayor biodegradabilidad de los residuos orgánicos, lo que resulta en una mayor producción de biogás;
- por otra parte, la separación de impropios en el proceso es más eficiente. En particular, durante el proceso habitual de limpieza de impropios de los RSU se pierde entre un 30 y un 40% en peso de materia orgánica,
- 20 dificultando el poder obtener un sustrato de calidad, tal y como se logra gracias al proceso reivindicado. De este modo, gracias al proceso de hidrólisis objeto de la invención, la pérdida de materia orgánica en el proceso de limpieza de impropios es inferior a un 5% en peso, lo que supone un mayor aprovechamiento de la materia orgánica presente en el
- 25 residuo de partida;
- a su vez, gracias a la higienización de los residuos, se previene la adición extra de patógenos que pueden afectar a la operación del digestor;
- finalmente, gracias a la estabilización térmica y biológica, se minimiza la emisión de olores asociados a la descomposición de la materia orgánica.

30

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURA 1

Para complementar la presente descripción se acompaña como parte integrante de la misma la siguiente figura:

35

Fig. 1. Gráfica comparativa de la producción de biogás teórica frente a la producción de biogás obtenida mediante el proceso objeto de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5

A continuación se describe una realización particular de la invención llevada a cabo para demostrar las ventajas del proceso reivindicado que han sido anteriormente descritas. En particular, dicha realización particular se llevó a cabo a partir de residuos sólidos orgánicos provenientes de de la recogida selectiva de RSU de la ciudad de Madrid, cuya composición se muestra en la siguiente tabla:

10

Tabla 1. Composición de los RSO empleados en el proceso

Fracción	Porcentaje (% en peso, base húmeda)
Restos de comida*	63.7
Restos de jardín y poda	8.7
EELL (Envases Ligeros)	8.0
Plásticos	0.7
Papel/cartón	3.8
Celulosas	1.4
Textiles	2.6
Vidrio	3.0
Otros restos	8.1

* Restos de fruta y verdura, restos de carne y pescado, cáscaras de huevo, de marisco y de frutos secos u otros restos de comida, infusiones, posos de café, etc.

15

Dichos residuos fueron sometidos a las siguientes etapas:

20

- una etapa previa de preparación de los residuos mediante separación de impropios voluminosos llevada a cabo en un trómel con un tamaño de malla de 80 mm;
- una etapa de preparación de biomasa hidrolizada a partir de los residuos sólidos orgánicos obtenidos en la etapa anterior. A su vez, dicha etapa comprendió:
 - una primera subetapa de tratamiento de hidrólisis térmica a una presión de 4 bares y una temperatura de 150 °C durante un tiempo de

20 minutos;

- una segunda subetapa de eliminación de impropios ligeros mediante el empleo de un desempaquetador, así como de eliminación de impropios pesados mediante un desarenador.

5 Al final de esta etapa se obtuvo un “sustrato” o “biomasa hidrolizada limpia” con un contenido orgánico del 98% en peso. Dicho sustrato fue el que se utilizó en los ensayos de codigestión que se describen a continuación.

10 En particular, para llevar a cabo dichos ensayos se prepararon dos blancos caracterizados por comprender únicamente lodos anaerobios (LAN) y cuatro muestras con una relación variable de lodos aerobios (LAE) y biomasa hidrolizada limpia. En particular, las muestras preparadas fueron las siguientes:

Tabla 2. Descripción de las muestras, % en peso

Mezcla	Lodo EDAR (LAE)	Biomasa hidrolizada
Muestra 1 (LAE)	100.0%	0%
Muestra 2 (93:7)	93.0%	7.0%
Muestra 3 (88:12)	88.0%	12.0%
Muestra 4 (80:20)	80.0%	20.0%

15

Tabla 3. Masa (g) de cada una de las muestras

Mezcla	Masa LAN	Masa LAE	Masa Muestra 2 (93:7)	Masa Muestra 3 (88:12)	Masa Muestra 4 (80:20)
Blanco 1	338.4	0	0	0	0
Blanco 2	338.4	0	0	0	0
Muestra 1	338.4	161.6	0	0	0
Muestra 2 (93:7)	338.4	0	150.2	0	0
Muestra 3 (88:12)	338.4	0	0	143	0
Muestra 4 (80:20)	338.4	0	0	0	132.8

20 Las principales propiedades de cada una de las muestras se resumen en la siguiente tabla, donde los métodos de medición de los distintos parámetros fueron los siguientes:

- Sólidos totales (ST): APHA 2540 B
- Sólidos volátiles (SV): APHA 2540 E

- DQO: APHA 5220 D
- DQO sol.: APHA 5220 D
- AGVs: APHA 2310 B

5 **Tabla 4 Principales características de las muestras de la invención**

Parámetro	Unidad	Lodo LAE	Biomasa hidrolizada	Lodo LAN
Sólidos totales (ST)	% peso	5.94	9.35	4.21
Sólidos volátiles (SV)	% peso	2.89	6.02	1.38
DQO	ppm	69750	86375	18650
DQO sol	ppm	5800	24175	705
AGVs	mg/ l CaCO ₃	5237	13251	141

A cada una de las muestras se les añadió agua hasta alcanzar un peso total de 500 g. Cada muestra se preparó por triplicado.

- 10 Las muestras preparadas fueron sometidas a un proceso de digestión anaerobia a una temperatura de 35°C. No se adicionaron nutrientes ni tampones.

A continuación, se llevó a cabo un análisis de los resultados obtenidos, los cuales se muestran en las siguientes tablas:

15

Tabla 5. Resultados de eliminación de ST y SV

Muestra	Inicio % ST	Final % ST	Inicio % SV	Final % SV
Blanco	0.6	0.54	0.42	0.28
Muestra 1	1.26	0.92	0.8	0.5
Muestra 2 (93:7)	0.94	0.81	0.81	0.41
Muestra 3 (88:12)	0.96	0.88	0.79	0.43
Muestra 4 (80:20)	1.18	1.02	0.92	0.57

- 20 Se ha demostrado por tanto que el porcentaje de SV/ST aumenta considerablemente al utilizar biomasa hidrolizada procedente de la fracción orgánica de los RSU como sustrato del digestor. En particular, el porcentaje de SV/ST fue de un 69% en los blancos (LAE), de un 75% en la muestra 1 (LAN) y de un 80 a un 85% en las muestras 2 a 4, lo que confirma el aumento de la biodegradabilidad de las mezclas al

alimentar el digestor con biomasa hidrolizada.

Tabla 6. Resultados de eliminación de DQO y AGVs

Muestra	Inicio DQOt (mg/l)	Final DQOt (mg/l)	Inicio AGVs total (mg/l)	Final AGVs total (mg/l)
Blanco	4350	3785	259	26.5
Muestra 1	10367	6178	2221.7	15.7
Muestra 2 (93:7)	10620	4690	2842.3	34.4
Muestra 3 (88:12)	10533	5290	2232.2	18.6
Muestra 4 (80:20)	13100	7332	2564.8	31.3

- 5 Los resultados anteriores demuestran que incluso cuando la cantidad de SV es la misma, la DQO aumenta con la presencia de biomasa hidrolizada, de igual modo que los AGVs, lo que confirma la mayor biodegradabilidad de las muestras.

Tabla 7. Resultados de producción específica de CH₄ por DQO eliminado

Mezcla	Producción (l CH ₄ /kg DQO eliminado)	Incremento*	
		l CH ₄ /kg DQO eliminado*	Incremento
Muestra 1 (control)	48.5	0	0%
Muestra 2 (93:7)	112.6	64.1	132.2 %
Muestra 3 (88:12)	108.6	60.1	123.9 %
Muestra 4 (80:20)	213.8	165.3	340.8 %

- 10 * Representa el incremento en la producción de CH₄ de cada una de las muestras respecto a la muestra 1

- Los resultados demuestran la sinergia que se consigue gracias a la mezcla de la biomasa hidrolizada, obtenida mediante un proceso de hidrólisis de la fracción orgánica de los RSU, con los lodos de una EDAR. En particular, el proceso objeto de la invención consigue una producción no lineal en la generación de biogás, lográndose con un 20% de biomasa hidrolizada alimentada al digestor un aumento de un 340.8% en la producción específica de metano por kilogramo de DQO eliminada y de un 213.8% por kilogramo de DQO alimentada. También se ha demostrado que el empleo de biomasa hidrolizada en la mezcla alimentada al digestor donde tiene lugar el proceso de digestión anaerobia aumenta su grado de hidrólisis y, por tanto, su biodegradabilidad.
- 15
- 20

Adicionalmente a la mejora en la producción de biogás, se llevó a cabo un análisis de su contenido en metano (CH_4), tal y como se muestra en la siguiente tabla:

5 **Tabla 8. Porcentaje (en volumen) de metano**

Mezcla	% vol. (CH_4)
Muestra 1 (control)	63.3
Muestra 2 (93:7)	64.6
Muestra 3 (88:12)	65.1
Muestra 4 (80:20)	67.4

Los resultados anteriores demuestran la mejora en la calidad del biogás obtenido al aumentar el porcentaje de biomasa hidrolizada empleada en el digestor.

- 10 Por último, con objeto de demostrar la sinergia obtenida gracias al proceso objeto de la invención se llevó a cabo una comparativa entre la producción de biogás obtenida mediante el proceso reivindicado respecto a la que se obtendría de forma teórica al sumar el biogás producido por los lodos de depuradora y el biogás producido por la biomasa hidrolizada. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1.
- 15 Concretamente, tal y como se muestra en dicha figura, la producción de biogás real (trama continua) es un 50% superior respecto a la máxima teórica (trama discontinua) equivalente a la suma teórica de la producción de biogás obtenida a partir de ambos sustratos, de manera independiente (es decir, sin proceder a su mezcla). Ello se debe a las mejoras derivadas de la adición de la biomasa hidrolizada
- 20 a los lodos de depuradora. En particular, se mejoran los siguientes aspectos:
- el aporte de carbono orgánico, con lo que se incrementa el ratio C/N (generalmente los lodos de depuradora son ricos en nitrógeno y pobres en carbono);
 - y el aporte de micronutrientes, tales como Zn, Co, Fe, K, o P.

25

El hecho de que la producción de biogás real en codigestión sea un 50% superior al máximo teórico, demuestra la sinergia que existe al mezclar lodos con biomasa hidrolizada.

REIVINDICACIONES

1. Proceso de producción de biogás mediante codigestión anaerobia caracterizado por que comprende:
 - 5 (a) una primera etapa de preparación de biomasa hidrolizada a partir de residuos sólidos orgánicos que a su vez comprende:
 - i. una primera subetapa que comprende un tratamiento de termohidrólisis de los residuos sólidos orgánicos, donde dicho tratamiento de termohidrólisis se lleva a cabo a una presión
10 comprendida entre 1.5 y 4.5 bares y una temperatura de entre 120 y 160°C, dando como resultado biomasa bruta;
 - ii. a continuación se lleva a cabo una segunda subetapa de postratamiento de la biomasa bruta, separando impropios y dando como resultado biomasa hidrolizada limpia, caracterizada por
15 comprender un porcentaje de materia orgánica de al menos un 90% en peso, una relación en peso de sólidos volátiles por sólidos totales de al menos 0.6 y un contenido en sólidos totales de al menos un 5% en peso;
 - (b) una segunda etapa de mezcla de la biomasa hidrolizada limpia obtenida en la
20 etapa anterior con lodos de una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR), dando lugar a una mezcla con una concentración de sólidos inferior a un 30% en peso, donde dicha mezcla es sometida a continuación a un proceso de acondicionamiento hasta lograr una concentración de sólidos inferior a un 20% en peso;
 - 25 (c) una tercera etapa de digestión anaerobia vía húmeda de la mezcla obtenida en la etapa anterior en al menos un digestor, dando lugar a biogás y un digestato, donde dicha digestión anaerobia se lleva a cabo en condiciones mesófilas de entre 25°C y 40°C o termófilas de entre 50°C y 60°C y durante un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de entre 12 y 30 días.
30
2. Proceso de acuerdo a la reivindicación 1, donde la mezcla de biomasa hidrolizada limpia y lodos de EDAR comprende entre un 5% y un 65% en peso de biomasa hidrolizada limpia y entre un 35% y un 95% en peso de lodos de EDAR.
- 35 3. Proceso de acuerdo a la reivindicación 1 o 2, donde dicho proceso

comprende una etapa adicional de aprovechamiento de biogás mediante cogeneración, uso en calderas para generar calor o uso para producción de biometano mediante un proceso de purificación o upgrading.

- 5 4. Proceso de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
donde dicho proceso comprende una etapa adicional de aprovechamiento del
digestato mediante uso agrícola como biofertilizante.
- 10 5. Proceso de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
donde los residuos sólidos orgánicos son seleccionados de un grupo que consiste en
la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y asimilables, residuos orgánicos
procedentes de la recogida selectiva de residuos sólidos urbanos, residuos orgánicos
de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza, pesca y preparación y
elaboración de alimentos y residuos orgánicos industriales, así como cualquiera de
15 sus combinaciones.
- 20 6. Proceso de acuerdo a la reivindicación 5, donde los residuos sólidos
orgánicos son la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y donde dicho
proceso comprende una etapa previa de separación de impropios voluminosos,
entendiendo como tales aquellos que presentan un tamaño superior a 80 mm y/o de
separación de metales férricos mediante al menos un separador magnético.