

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2012/164122 A2

(43) Fecha de publicación internacional
6 de diciembre de 2012 (06.12.2012) **WIPO | PCT**

- (51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar
- (21) Número de la solicitud internacional: PCT/ES2012/070355
- (22) Fecha de presentación internacional: 18 de mayo de 2012 (18.05.2012)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad: P201130892 31 de mayo de 2011 (31.05.2011) ES
- (71) Solicitante: **SOCAMEX S. A.** [ES/ES]; C/ Cobalto 12 - Polígono San Cristobal, E-47012 Valladolid (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **ACEVEDO ÁLVAREZ, Abdón Fausto** [ES/ES]; C/Cobalto, 12, Polígono Industrial San Cristobal, E-47012 Valladolid (ES). **TORÍO ACHA, Roberto** [ES/ES]; C/Cobalto, 12, Polígono Industrial San Cristobal, E-47012 Valladolid (ES). **GARCÍA RODRÍGUEZ, Laura** [ES/ES]; C/Cobalto, 12, Polígono Industrial San Cristobal, E-47012 Valladolid (ES).
- (74) Mandatario: **GARRIDO PASTOR, Jose Gabriel**; C/ López de Hoyos, 78 duplicado Bajo A, E-28002 Madrid (ES).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Declaraciones según la Regla 4.17:**
- sobre la calidad de inventor (Regla 4.17(iv))
- Publicada:**
- sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))

(54) Title: WASTE SLUDGE TREATMENT METHOD

(54) Título : PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO DE FANGOS RESIDUALES

(57) Abstract: The invention relates to a waste sludge treatment method for optimising the production of biogas and the quality thereof, as well as the quality of the end sludge obtained. The method comprises the following steps consisting in: performing a hydrolysis and extracting metals from the waste sludge; centrifuging same to separate the supernatant containing metals from the sedimented sludge; and subjecting the sedimented sludge to anaerobic digestion under microaerophilic conditions in a complete-mix anaerobic digester in order to eliminate H₂S.

(57) Resumen: La invención se refiere a un procedimiento de tratamiento de fangos residuales para optimizar la producción de biogás y la calidad del mismo, así como la calidad del fango final obtenido. El procedimiento comprende las etapas de realizar una hidrólisis y extracción de metales previa de los fangos residuales, centrifugar para separar el sobrenadante que comprende metales del fango sedimentado, y someter el fango sedimentado a digestión anaerobia en condiciones microaerofílicas en un digestor anaerobio de mezcla completa para la eliminación de H₂S.



WO 2012/164122 A2

PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO DE FANGOS RESIDUALES

Campo de la invención

La presente invención se refiere de manera general al
5 campo del tratamiento y la depuración de aguas residuales.
Más concretamente, la invención se refiere a un novedoso
procedimiento de tratamiento de los fangos residuales que
proporciona una optimización de la producción de biogás así
como una mejora de la calidad del biogás producido, al tiempo
10 que mejora la calidad del fango final obtenido.

Antecedentes de la invención

Los procedimientos a los que se someten las aguas
residuales a su paso por una estación depuradora genera unos
15 residuos, conocidos como fangos de depuradora, cuyo destino
incide igualmente en la calidad del medio ya que en ellos se
concentran todos aquellos elementos contaminantes, orgánicos
e inorgánicos, que se han retirado de las aguas residuales.

La tecnología más comúnmente empleada en el tratamiento
20 de aguas residuales son los procesos de fangos activados dada
su eficacia en la conversión de la materia orgánica
biodegradable, normalmente por encima del 90%. El
inconveniente principal de esta tecnología, además de una
elevada inversión inicial y un alto coste del procedimiento,
25 es la obtención de una gran cantidad de fangos al final del
proceso. Dichos fangos tienen un alto contenido en biomasa
orgánica, lo que hace que puedan valorizarse mediante un
procedimiento de digestión anaerobia que disminuya su
cantidad y permita un aprovechamiento energético del biogás
30 generado.

Sin embargo, durante todo el proceso de tratamiento y
digestión se produce una concentración de los posibles

metales y contaminantes orgánicos presentes en los mismos que interfieren en el propio procedimiento de digestión al mismo tiempo que limitan su valorización agronómica dada su potencial acumulación en el suelo al cabo de aplicaciones
5 reiteradas de los fangos de EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). En efecto, los fangos de depuradora pueden presentar ciertos niveles de metales pesados, que tras su aplicación al suelo pueden resultar tóxicos para las plantas, personas o animales.

10 De esta forma, los contenidos de determinados metales pesados como Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn, junto a otros metaloides como As o Se y elementos traza como Al y Mn, son los principales elementos que limitan la aplicación al suelo de los fangos de EDAR dado el riesgo que suponen para la
15 salud humana y animal.

Se han empleado diferentes tecnologías para la posible extracción de metales en fangos de depuradora, principalmente en aquellos procedentes de sectores industriales que producen altas cargas contaminantes. Principalmente, se conocen cuatro
20 procedimientos que proporcionan los mayores rendimientos y una mejor aplicabilidad desde el punto de vista técnico y económico en procedimientos de desmetalización de fangos: la extracción química, la biolixiviación, los procedimientos electrocinéticos y la extracción con fluidos supercríticos
25 (véase Wong y Henry, 1988; Babel y del Mundo Dacera, 2006). De estos procedimientos, la extracción química es la que ha conseguido los mejores resultados de aplicación. Entre los compuestos extractantes más utilizados se encuentran principalmente ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, agentes
30 quelantes y otros extractantes inorgánicos y orgánicos.

En los últimos años se han desarrollado sistemas que incorporan membranas, o bien individualmente o bien en

combinación con agentes quelantes de los iones metálicos y con adsorbentes específicos (véase Juang y Shiau, 2000; Genç *et al.*, 2003).

Otro inconveniente de los procedimientos conocidos hasta la fecha es la presencia de azufre en los fangos para su digestión anaerobia. Se conoce que el azufre es uno de los macronutrientes necesarios para que tenga lugar la actividad metabólica de los microorganismos implicados en los procesos de tratamiento de aguas. Los microorganismos asimilan el azufre, de forma que presentan un contenido en azufre importante que varía entre el 0,625-1,25% y el 1,2-2,0%. Durante la digestión anaerobia del fango, el azufre celular se reduce a sulfuro. El sulfuro en fase acuosa puede encontrarse como $H_2S/HS^-/S^{2-}$ en función del pH. La presencia de este sulfuro produce una serie de problemas que afectan a la eficacia del tratamiento de fangos, principalmente:

- inhibición del proceso anaerobio de los microorganismos metanogénicos;
- disminución de la producción de metano;
- menor rendimiento de eliminación de DQO.

En el tratamiento de digestión anaerobio de fangos con elevados contenidos en azufre aparecen bacterias sulfatorreductoras (BSR) que compiten por el sustrato orgánico con las bacterias anaerobias involucradas en la metanogénesis (BM) generando sulfuro, que es la forma más estable del azufre en condiciones anaerobias. El sulfuro generado en el procedimiento anaerobio está en equilibrio con el H_2S . Por lo tanto el biogás generado en el digestor anaerobio puede contener cantidades de H_2S que causan problemas de corrosión de equipos e instalaciones así como un olor desagradable. En la actualidad, la solución empleada para este problema es la dosificación de sales metálicas

(precipitándose sulfuros en el fango), y realizando lavado de gases.

Sin embargo, los procedimientos de la técnica anterior descritos previamente resultan ineficaces dado que el biogás
5 producido en instalaciones de digestión anaerobia de fangos residuales en España presenta una concentración de H₂S que supera los límites técnicos impuestos por las diferentes tecnologías de aprovechamiento energético.

Por tanto, sigue existiendo en la técnica la necesidad
10 de un procedimiento de tratamiento de fangos residuales que permita una obtención optimizada de biogás con una calidad superior, es decir, un contenido en H₂S inferior, al obtenido mediante las técnicas conocidas hasta hora.

Asimismo, existe la necesidad de un procedimiento de
15 tratamiento de fangos residuales que permita obtener fangos finales de calidad mejorada permitiendo su posterior uso agrícola al minimizar el impacto que estos fangos finales puedan producir sobre el medio ambiente.

20 Sumario de la invención

La presente invención se refiere por tanto a un procedimiento de tratamiento de fangos residuales obtenidos en una estación depuradora de aguas residuales. El procedimiento comprende las etapas de:

- 25
- realizar una hidrólisis y extracción de metales previa de los fangos residuales;
 - centrifugar para separar el sobrenadante, que comprende metales, del fango sedimentado; y
 - someter el fango sedimentado a digestión anaerobia en
30 condiciones microaerofílicas en un digestor anaerobio de mezcla completa para la eliminación de H₂S.

De este modo, gracias a la combinación de los

tratamientos previos de hidrólisis y extracción de metales, con la separación por centrifugación y finalmente la digestión anaerobia en condiciones microaerofílicas, se obtiene una optimización del tratamiento de fangos
5 residuales.

Concretamente, se proporciona de este modo, tal como se explicará detalladamente a continuación en el presente documento, un aumento de la producción de biogás, una mejora de la calidad de dicho biogás producido (es decir, una
10 reducción de la cantidad de H_2S presente en el biogás producido) así como la obtención de un fango final deshidratado, libre de metales y de olores desagradables. En efecto, el fango final obtenido presenta un mayor grado de higienización que los obtenidos mediante procedimientos de la
15 técnica anterior, permitiendo de ese modo su uso adecuado en aplicaciones agrícolas al minimizar enormemente el impacto del mismo sobre el medio ambiente.

Breve descripción de los dibujos

20 La presente invención se entenderá mejor con referencia a los siguientes dibujos que ilustran ejemplos y realizaciones preferidas de la invención, proporcionadas a modo de ejemplo, y que no deben interpretarse como limitativas de la invención de ninguna manera.

25 La figura 1 representa un diagrama de una instalación para llevar a cabo el procedimiento según una realización preferida de la invención.

Las figuras 2A, 2B y 2C muestran gráficos que muestran las concentraciones de H_2S y de O_2 en el biogás producido
30 según diversos ejemplos de realización del procedimiento de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

En primer lugar se proporcionará una descripción detallada del procedimiento según una realización preferida de la invención haciendo referencia a una instalación
5 (mostrada en la figura 1) para llevar a cabo dicho procedimiento.

Tal como se mencionó anteriormente, la primera etapa del procedimiento de la presente invención es el tratamiento previo de los fangos residuales para realizar su hidrólisis y
10 la extracción de metales de los mismos. La etapa de desmetalización se realiza preferiblemente, aunque no necesariamente, mediante la adición de al menos un compuesto extractante. Preferiblemente, dicho compuesto extractante se selecciona del grupo constituido por ácidos inorgánicos,
15 ácidos orgánicos y agentes quelantes, y aún más preferiblemente dicho al menos un compuesto extractante es ácido cítrico o acetato. La elección específica del extractante empleado dependerá del contenido en metales del fango residual en cada caso específico, y forma parte de las
20 capacidades de un experto en la técnica.

Dicha etapa de extracción de metales, o desmetalización, se realiza además a un pH óptimo, preferiblemente a pH 2. En efecto, se ha demostrado que el valor de pH 2 resulta óptimo para la eliminación de la gran mayoría de metales, y por
25 tanto es el empleado según la realización preferida de la presente invención.

Sin embargo, debe observarse que existe un pequeño grupo de metales (tales como por ejemplo Cu, Al y Ni), cuya extracción resulta óptima a un valor de pH 11. No obstante,
30 estos metales no suelen estar presentes de forma significativa en los fangos residuales, y generalmente no suponen un problema para la posterior aplicación agrícola de

dichos fangos. Sin embargo, se entenderá que en realizaciones alternativas del procedimiento de la invención, y dependiendo de las características específicas de los fangos residuales tratados, podrá realizarse la extracción de metales a un valor de pH diferente de 2 (por ejemplo, a pH 11), o incluso 5 podrán realizarse diversas etapas de extracción de metales a valores de pH diferentes.

A continuación, se realiza una centrifugación para separar, por un lado, el sobrenadante que comprende los 10 metales extraídos, y por otro lado el fango sedimentado.

Según la realización preferida de la invención, el sobrenadante se somete posteriormente a una etapa de escurrido, corrección del pH y finalmente de filtración. Dicha filtración se realiza preferiblemente mediante 15 membranas de microfiltración o de ultrafiltración. De este modo, se consigue garantizar la calidad del sobrenadante evitando el empleo de sedimentadores y clarificadores, que dependen enormemente de la carga hidráulica y de las características fisicoquímicas del flóculo formado, 20 asegurando así el paso de la totalidad de la materia orgánica a la fase de digestión libre de metales.

Por tanto, tras esta etapa de filtración, se recuperan por un lado los metales extraídos, y por otro lado un flujo que contiene los extractantes empleados.

25 Posteriormente, según la realización preferida de la invención, se realiza la purificación de dicho flujo que contiene los extractantes empleados, mediante el uso de resinas de intercambio catiónico. De este modo se permite de manera óptima recircular dichos extractantes para su uso en 30 un procedimiento posterior de tratamiento de fangos residuales, reduciendo así el coste global del procedimiento al reducir la cantidad de extractantes nuevos necesarios.

Volviendo al fango sedimentado obtenido tras la etapa de separación por centrifugación, dicho fango se encuentra preferiblemente en un estado parcialmente deshidratado (un contenido en materia seca del 4 al 12%). Dicho fango sedimentado se conduce entonces a un digestor anaerobio de mezcla completa en el que se somete a digestión anaerobia, permitiendo así, tal como se explicará adicionalmente a continuación, la eliminación de H₂S.

La realización de la desmetalización en las etapas previas a la valoración anaerobia, incrementa los rendimientos en la generación de biogás, aumentando con ello la eficiencia energética del proceso, con el beneficio general que supone, al valorizar al máximo las aguas residuales.

De manera novedosa, la digestión anaerobia del fango sedimentado según el procedimiento de la presente invención se realiza en condiciones microaerofílicas, lo que permite disminuir al mínimo la adición de reactivos adicionales minimizando de ese modo el impacto sobre el medio ambiente de la reutilización posterior del fango final obtenido. En efecto, gracias a este procedimiento, no se necesita añadir sales (por ejemplo de tipo cloruro férrico) al digestor anaerobio, optimizando adicionalmente la producción de biogás del mismo (y por tanto su rendimiento energético).

Las condiciones microaerofílicas en el digestor anaerobio pueden obtenerse o bien mediante la introducción de aire o bien, preferiblemente, mediante la introducción de aire enriquecido en oxígeno. En este segundo caso, tal como se observa en la figura 1, se dispone de un equipo concentrador de oxígeno a partir del aire. Dicho equipo proporciona al digestor anaerobio aire enriquecido en oxígeno, que presenta preferiblemente una concentración en

oxígeno del 96%. De este modo se reduce la dilución innecesaria del contenido de metano como consecuencia del aporte de nitrógeno, componente mayoritario del aire.

Según realizaciones adicionales de la invención, también
5 puede emplearse evidentemente oxígeno puro para proporcionar las condiciones microaerófilas requeridas para el procedimiento de la presente invención, sin embargo esto tendrá un efecto sobre el coste del procedimiento, sobre todo a escala industrial.

10 Tal como se observa en la figura 1, según la realización preferida de la invención el digestor anaerobio comprende una cámara de biogás que ocupa preferiblemente, aunque no necesariamente, el 20% del volumen total del digestor anaerobio. Evidentemente, el volumen de digestor anaerobio
15 ocupado por dicha cámara de biogás, así como otras características específicas del procedimiento según la presente invención, dependerán de las características concretas del fango residual que esté tratándose, tales como por ejemplo el caudal de dicho fango.

20 La introducción de aire enriquecido en oxígeno (o aire sin enriquecer según otras realizaciones de la invención) en el digestor anaerobio se realiza preferiblemente a través de la cámara de biogás.

Según la realización preferida de la presente invención,
25 la introducción de aire (enriquecido o no en oxígeno) dentro de la cámara de biogás se realiza mediante un flujo de aire de 0,72 a 1,44 l aire/l fango alimentado día. Evidentemente el volumen del caudal de aire introducido dependerá en cada caso de las características del fango a tratar y del volumen
30 de azufre presente.

Según la realización preferida de la invención, el control del proceso se realiza mediante la técnica de

cromatografía de gases en línea, que permite conocer al momento la composición del biogás producido en la digestión anaerobia. La composición de biogás es el parámetro esencial en el seguimiento y control del proceso, ya que los cambios en las variables de operación se reflejan de forma inmediata permitiendo de esta forma conocer el transcurso del proceso. Por tanto, la composición de biogás, como por ejemplo la cantidad de H₂S, permite ajustar el caudal del aire para conseguir el transcurso del proceso deseado utilizando cantidades mínimas de aire. Para ello, tal como se observa en la figura 1, se instala un cromatógrafo en la corriente de salida del biogás producido, que de forma continua analiza las variables del proceso.

La figura 1 muestra además una tubería de recirculación de biogás desde la cámara de biogás hacia el digestor anaerobio, desde el cual vuelve a pasar mediante burbujeo a la cámara de biogás. De ese modo se proporciona una agitación dentro del digestor anaerobio así como una mayor superficie de contacto gas-líquido, mejorando adicionalmente los resultados del procedimiento según la presente invención.

Adicionalmente, el procedimiento de la presente invención se realiza preferiblemente en condiciones mesófilas a una temperatura de aproximadamente 35°C. Según se muestra en la figura 1, la temperatura del fango sedimentado se mantiene a este valor preferido de aproximadamente 35°C mediante recirculación del fango y calentamiento del mismo por medio de un intercambiador de calor. Dicho intercambiador de calor se alimenta mediante agua caliente de la estación de tratamiento para permitir mantener el fango a la temperatura adecuada.

Por último, según la realización preferida del procedimiento de la presente invención, el tiempo de

residencia del fango sedimentado en el digestor anaerobio es inferior a 20 días, produciendo resultados adecuados en cuanto a la calidad y cantidad de biogás producido, así como en cuanto a la calidad del fango final obtenido. Este tiempo
5 de residencia inferior a 20 días supone una mejora sustancial con respecto a los procedimientos conocidos de la técnica anterior, proporcionando adicionalmente un ahorro en los costes del procedimiento y constituyendo por tanto una ventaja adicional de una realización de la presente
10 invención.

La presente invención se describirá adicionalmente a continuación mediante una serie de ejemplos específicos del procedimiento descrito en el presente documento, que no deben entenderse como limitativos sino como explicativos de la
15 presente invención.

Ejemplos

Se realizaron una serie de ejemplos del procedimiento de la presente invención en diferentes condiciones de
20 procedimiento. Se realizó un seguimiento analítico mediante cromatografía de gases de la composición del biogás obtenido en cada uno de los experimentos. La temperatura en todos los casos se mantuvo a 35°C en el digestor anaerobio mediante recirculación de parte del fango a través de un
25 intercambiador de calor, tal como se describió anteriormente.

La tabla 1 a continuación presenta un resumen de las condiciones empleadas en cada uno de los ejemplos realizados del procedimiento de la presente invención, así como un ejemplo comparativo, y de los resultados obtenidos con cada
30 uno de ellos en cuanto a las características del biogás obtenido.

Tabla 1

	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5	Ej. 6
	Comparativo	Dosis 1	Dosis 2		Dosis 1	Dosis 3
Mezcla						
Recirculación de fango (l/h)	1000	1000	1000		1000	1000
Recirculación de biogás (m ³ /h)	45	45	45		0	45
Flujo de aire enriquecido (l/min)	0	0,25	0		0,25	0,125
Flujo de aire enriquecido (l/l fango alimentado día)	0	1,44	0		1,44	0,72
Flujo de aire (l/min)	0	0	2		0	0
Flujo de aire (l/l fango alimentado día)	0	0	11,52		0	0
Resultados						
Concentración de H ₂ S (ppm v/v)	2928,98	165,7	12		529	608
Eliminación de H ₂ S (%)		94,3	99,6		81,9	79,2
Concentración de CH ₄ (% v/v)	63,4	56,54	50,52		59,54	61,37
Concentración de O ₂ (% v/v)	0	3,91	7,87		4,06	1,8
Concentración de N ₂ (% v/v)	0	1,98	8,94		0,55	0,2
Concentración de CO ₂	37,59	35,06	32,58		36	36,3

(% v/v)					
Producción de biogás (l/h)	177	243	271	221	220
Producción de metano (ml/g DQO elim)	348	387	403	368	367
Reducción de sólidos (%)	33,71	37,22	37,02	35,7	34,25
Reducción de DQO (%)	66,22	69,33	71,15	68,17	67,98

La figura 2A muestra una comparación entre el ejemplo 1 comparativo y el ejemplo 2. Se observa que gracias a las condiciones del ejemplo 2 según el procedimiento de la presente invención, la cantidad de H₂S en el biogás producido se reduce desde valores próximos a 3000 ppm (v/v) (ejemplo comparativo) hasta valores medios de 165,7 ppm (v/v), lo que supone una eliminación de H₂S del 95%, aumentando de ese modo la concentración en oxígeno del biogás hasta valores medios del 3,91%.

Además, el análisis de otros parámetros tales como los valores de DQO reflejan mayores rendimientos de eliminación durante el procedimiento de la invención en condiciones microaerofílicas (ejemplo 2) que si se realiza en condiciones anaerobias (ejemplo 1 de comparación).

Sin embargo, la concentración de metano del biogás se reduce en el ejemplo 2 en comparación con el ejemplo 1 comparativo.

La figura 2B muestra una comparación entre el ejemplo 2 y el ejemplo 3-4. En este ejemplo 3-4, se aumenta el valor del flujo de aire empleado, aunque se usa aire no enriquecido en oxígeno. El resto de las condiciones del procedimiento se mantienen constantes con respecto al ejemplo 2.

En este caso, se reduce adicionalmente la cantidad de

H₂S en el biogás obtenido hasta valores próximos a 0 ppm. Por otro lado, se observa un aumento de la concentración del O₂ hasta el 7,87% v/v, el N₂ hasta el 8,94% y una reducción adicional del metano en el biogás hasta el 50%.

5 Finalmente, la figura 2C muestra una comparación entre el ejemplo 3-4 y el ejemplo 5. En este caso, el ejemplo 5 presenta las mismas condiciones que en el ejemplo 2 anterior, con la única diferencia de que no se produce recirculación del biogás en el digester anaerobio. Por tanto, la agitación
10 dentro del digester se produce únicamente por la recirculación del fango.

Estas condiciones muestran resultados algo inferiores con respecto a la eliminación de H₂S en comparación con los ejemplos 2 y 3-4, aunque siguen presentando una mejora
15 sustancial con respecto al ejemplo 1 comparativo de la técnica anterior. Probablemente este empeoramiento de los resultados se debe a la falta de recirculación de biogás en el digester anaerobio, ya que se supone que esta recirculación proporciona una mayor superficie de contacto
20 gas-líquido en la que se produce la reacción de eliminación de H₂S.

El ejemplo 6 se realizó para buscar las condiciones que permitieran minimizar los reactivos empleados (en este caso, oxígeno) manteniendo niveles de H₂S en el biogás optimizados
25 y adecuados, maximizando así la producción de metano en el biogás obtenido. Se encontró que estas condiciones consistían en la recirculación tanto de biogás como del fango que está tratándose, y la adición de aire enriquecido en la cámara de biogás con un flujo de 0,125 l/min.

30 Por tanto, se observa fácilmente mediante los ejemplos expuestos anteriormente que el procedimiento de la presente invención proporciona mejoras sustanciales en cuanto a la

calidad de biogás producido (disminución de la cantidad de H₂S presente en el mismo), la cantidad de biogás producido así como la calidad del fango final obtenido que puede emplearse de manera adecuada para fines agrícolas, por ejemplo, sin afectar al medio ambiente en el que se emplea.

El procedimiento de la presente invención descrito anteriormente supone por tanto una mejora sustancial con respecto a la técnica anterior conocida, ya que reducen el coste global del procedimiento (no se requiere la adición de reactivos adicionales para precipitar sulfuros), mejora la cantidad y calidad del biogás producido (de modo que la planta de tratamiento tendrá una producción neta de energía) así como la calidad del fango final obtenido para su posterior utilización, por ejemplo, con fines agrícolas.

Aunque se ha descrito anteriormente la presente invención con referencia a realizaciones y ejemplos específicos de la misma, el experto en la técnica podrá realizar variaciones en cuanto a las condiciones específicas del procedimiento (por ejemplo en función de la calidad y/o cantidad de los fangos residuales específicos que deban tratarse en una planta de tratamiento concreta) sin por ello apartarse del alcance y espíritu de la invención definido únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento de fangos residuales caracterizado por que comprende las etapas de:
 - realizar una hidrólisis y extracción de metales previa de los fangos residuales;
 - centrifugar para separar el sobrenadante, que comprende metales, del fango sedimentado; y
 - someter el fango sedimentado a digestión anaerobia en condiciones microaerofílicas en un digestor anaerobio de mezcla completa para la eliminación de H₂S, donde las condiciones microaerofílicas se obtienen mediante la introducción de un flujo de aire en el digestor anaerobio de 0,72 a 1,44 l aire/l fango alimentado día.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se obtienen las condiciones microaerofílicas mediante la introducción de un flujo de aire enriquecido en oxígeno en el digestor anaerobio.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que la concentración en oxígeno del aire empleado es del 96%.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el digestor anaerobio comprende una cámara de biogás, realizándose una agitación dentro del digestor anaerobio mediante recirculación del biogás producido en la cámara de biogás dentro del digestor.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que la cámara de biogás representa el 20% del volumen total del digestor anaerobio.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 5, caracterizado por que la introducción de aire

en el digestor anaerobio se realiza a través de la cámara de biogás.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la digestión anaerobia se realiza en condiciones mesófilas a una temperatura de 35°C.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que se mantiene la temperatura del fango sedimentado mediante recirculación del fango y calentamiento del mismo por medio de un intercambiador de calor.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la extracción de metales se realiza a pH 2.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende además la etapa de añadir compuestos extractantes para favorecer la extracción de metales.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que los extractantes añadidos se seleccionan del grupo constituido por ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos y agentes quelantes.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que los extractantes usados se seleccionan del grupo constituido por ácido cítrico y acetato.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, caracterizado por que comprende además la etapa de filtrar el sobrenadante que comprende metales mediante membranas seleccionadas del grupo constituido por membranas de microfiltración y de ultrafiltración, para separar los metales de un flujo que contiene los extractantes empleados.

14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por que comprende además la etapa de purificar el flujo que contiene los extractantes empleados mediante resinas de intercambio catiónico, permitiendo así recircular dichos extractantes para su uso en el inicio del procedimiento.
15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se realiza el seguimiento analítico mediante cromatografía de gases de la composición del biogás obtenido.
16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el tiempo de residencia del fango sedimentado en el digestor anaerobio es inferior a 20 días.

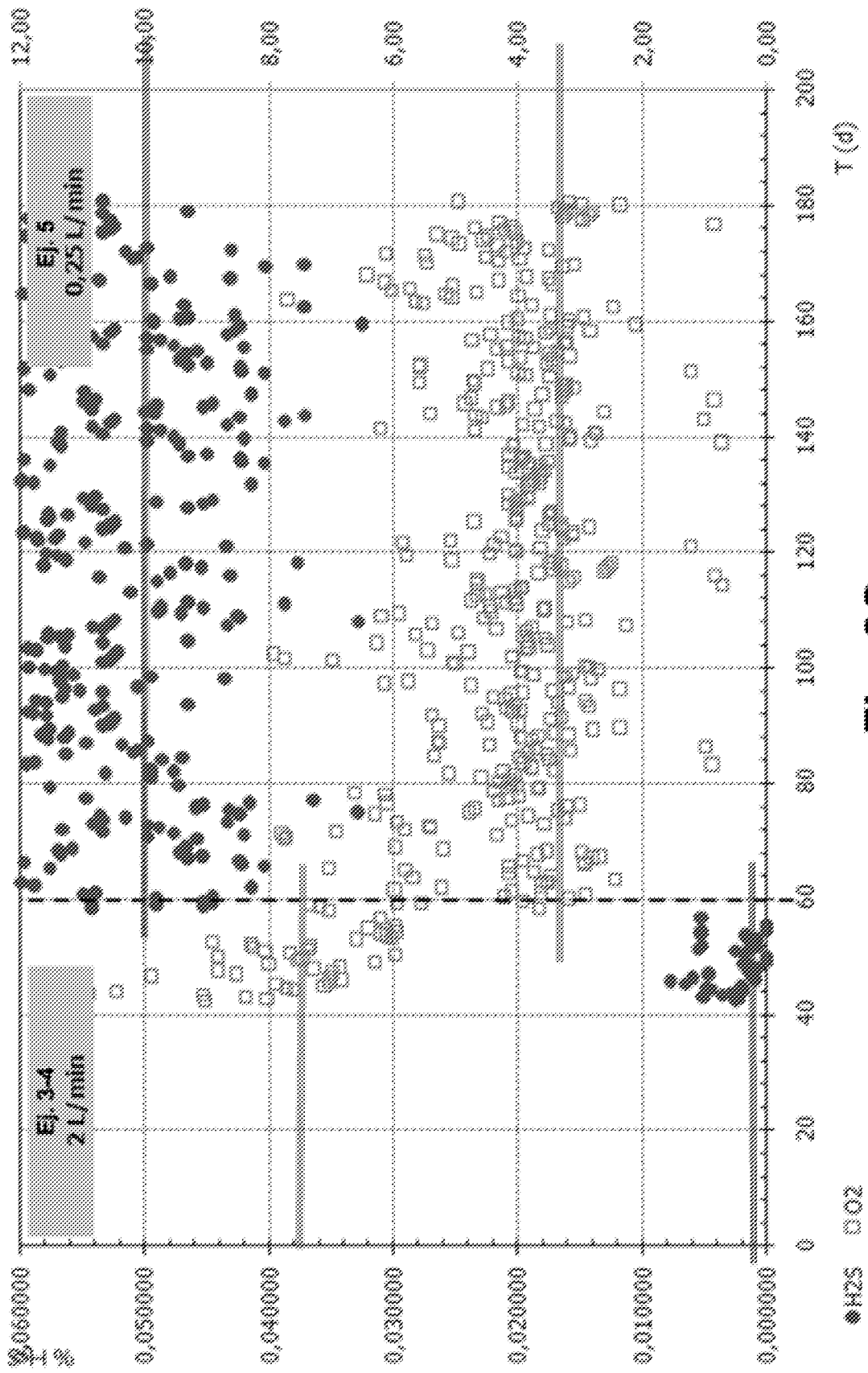


Fig. 2C