

# Eliminación de microorganismos patógenos contenidos en lodos de depuradora mediante diferentes tecnologías de digestión anaerobia

**José Alberto RODRÍGUEZ MORALES**

Estudiante de Doctorado de Territorio y Medio Ambiente de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid

**Aurelio HERNÁNDEZ LEHMANN**

Maestro-Investigador del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental de la Universidad Autónoma de Querétaro. México

**Aurelio Félix HERNÁNDEZ MUÑOZ**

Dr. Ingeniero de Caminos, Profesor de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. ETSI de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid

## Introducción

Los lodos residuales se deben tratar para facilitar su manejo y evitar posibles problemas, desde el olor a los agentes patógenos. Estos tratamientos modifican las propiedades de los lodos haciéndolos más adecuados para su reutilización o eliminación.

El coste del tratamiento y eliminación de los lodos supone hasta la mitad del coste total del tratamiento de aguas residuales y probablemente aumentará debido al endurecimiento de la legislación europea.

Una legislación sobre la eliminación de residuos más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conllevan esparcir los lodos en tierras de cultivo, esta haciendo cada vez más agudo el problema de la eliminación de los lodos. Simultáneamente, continúan construyéndose instalaciones de depuración de aguas residuales lo que previsiblemente tendrá como consecuencia un aumento de la generación de lodos. Resulta por tanto esencial encontrar modos de eliminación factibles, seguros y sostenibles para estos lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales.

En este contexto, en el presente estudio se evaluó la digestión anaerobia mesofílica y termofílica en los lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales como una opción para la producción de biosólidos de calidad, ausentes de microorganismos patógenos y, susceptibles de

*Se trabajó con tres digestores de lodos, con un volumen efectivo de tratamiento de 100 l. Dos de los reactores trabajaron bajo condiciones de mesofílicas (35°C), y el tercer digestor bajo condiciones termofílicas (55°C); los tres fueron alimentados con lodo biológico fresco de depuradora previamente espesado. En uno de los digestores operado bajo condiciones mesofílicas, el lodo de alimentación recibió un pretratamiento térmico de 70°C durante 30 minutos. Los digestores fueron operados a tiempos de retención hidráulica (TRH) de 67 días con una carga de alimentación promedio de 37,79 S.T. kg/m<sup>3</sup> y 22,47 S.T.V kg/m<sup>3</sup>/d. El contenido de Coliformes fecales presentes en el lodo digerido en condiciones mesofílicas presentó valores de la media geométrica menor de 2x10<sup>6</sup> NMP/g ST, mientras que para el lodo digerido mesofílico con un previo tratamiento térmico y para el sistema termofílico, más del 50% de las muestras presentaron valores inferiores a 1.000 NMP/g. Se puede concluir que la digestión anaerobia termofílica y mesofílica con previo tratamiento térmico constituyen opciones adecuadas para el tratamiento de los lodos de tipo biológico y su transformación a biosólidos sin restricciones para su utilización con fines agronómicos.*

utilizarse como mejoradores de suelos. Ante la ausencia de una normativa española que establezca valores de referencia para las concentraciones de patógenos según usos de los lodos, se ha tomado como referencia la clasificación en Biosólidos Clase A o Clase B utilizada por la EPA (Norma USA 40 CFR Part 503, de fecha 19 de febrero de 1993, subapartado D).

## Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se operaron tres digestores anaerobios alimentados con lodos de depuradora en régimen continuo y mezcla completa. El volumen total de cada digestor fue de 130 l con 100 l de volumen útil. Dos de los tres digestores fueron operados bajo condiciones mesofílicas (35°C) mientras que el tercer digestor fue operado bajo condiciones termofílicas (55°C). Los tres fueron alimentados con lodo biológico de depuradora. Uno de los digestores operado bajo condiciones mesofílicas y el lodo de alimentación recibió un pretratamiento térmico a 70°C durante un lapso de tiempo media hora.

Los digestores fueron construidos de acero inoxidable, con revestimiento externo de neopreno. Con una capacidad de 100 litros de volumen útil cada uno y rematada la parte final con una base cónica, con el propósito de facilitar la recirculación y un mezclado homogéneo del lodo. La cubierta está también fabricada de acero inoxidable, y consta de cuatro perforaciones, tal como se muestra en la *figura 2*. De la perforación central hacia el interior del digestor se colocó un tubo de 5" de diámetro de acero inoxidable, el cual sirve para introducir el aceite utilizado para el calentamiento de lodo. El sistema de calentamiento se basa en la transferencia de calor, mediante resistencia eléctrica insertada dentro del cilindro relleno de aceite la cual esta sumergida en el interior del depósito coincidiendo con su eje central. De esta perforación hacia el exterior se colocó una salida para la evaporación de los humos producidos en el calenta-



Figura 1. Planta Piloto

miento el aceite. Las otras dos perforaciones son más pequeñas (diámetro 1,5"), sirviendo una de ellas para la evacuación del biogás hacia su dispositivo de medición y la otra para la introducción de la sonda Pt-100 la cual regula la temperatura en el interior de los digestores. Como lo muestra la *figura 2*.

En la parte de abajo (parte cónica) de los digestores se conectó a una manguera tramada flexible de acero inoxidable con un de 1,5", por la que se recicló el lodo a través de una bomba, dicha bomba a su vez esta conectada a otro tramo de 1,5 m de longitud y diámetro de 1,5" de manguera tramada flexible de acero inoxidable la cual bombeaba el lodo hacia la parte superior del digestor facilitando así el buen mezclado del sistema. Para lo cual se utilizaron bombas peristálticas marca *Mono* con una potencia de 0,25 Kw, con un controlador independiente, el cual se operaba desde el panel del control de 0-500 rpm.

Para cumplir con los requerimientos caloríficos en los sistemas, se colocó en cada uno de los digestores, un sensor de temperatura (termopar) dentro de los lodos que controlaba la temperatura interna de dichos digestores, así como un sensor de temperatura (termopar) en la parte externa, para medir la temperatura ambiente, y así con esto, el panel de control pudiera controlar, corregir o autoajustar a posibles cambios de la temperatura requerida para cada uno de los sistemas en su parte interna y así conservar siempre una temperatura de  $(35 \pm 2^\circ\text{C})$  y  $(55 \pm 2^\circ\text{C})$  requerida para los digestores. Como lo muestra la *figura 3*.

La medición del biogás se efectuó por medio de un sistema el cual, mediante el desplazamiento de un volumen de agua conocido, corresponde al volumen del biogás generado en los diferentes digestores diariamente.



Figura 2. Esquema de los componentes de los digestores

## Técnicas Analíticas

La medición del pH se realizó con un potenciómetro. Los sólidos suspendidos volátiles, fijos y totales, así como la alcalinidad debida a los bicarbonatos fueron determinados de acuerdo con el *Standard Methods* (APHA, AWWA, WPCF, 1989). Los Coliformes Fecales y Salmonella se obtuvieron a partir del método 1681 y 1682 EPA (2006). La composición del biogás se realizó por medio de un analizador de gases modelo GA94A funcionando bajo el principio de celda electroquímica.

## Resultados

El análisis de la cuantificación del microorganismos correspondiente a Salmonella dio negativo en el lodo crudo. En el *cuadro 2* se muestran los resultados promedio relativos a la composición del lodo crudo utilizado en la alimentación a los digestores.

En el *cuadro 3* se indican los resultados de la operación de los tres digestores utilizados en la investigación en los distintos periodos.

El *cuadro 4* muestra los resultados de los valores referente a Coliformes fecales, para cada uno de los sistemas de tratamiento ensayados.

## Discusión de los resultados

### Digestor anaerobio monoetapa mesofílico

Por lo que respecta a la cuantificación de Coliformes Fecales, al lodo que se le aplicó el tratamiento de la digestión anaerobia monoetapa mesofílica el 33,33% de las muestras analizadas alcanzó los valores exigidos para el Lodo Clase A según los criterios de la US EPA, mientras que el 66,67% alcanzaron el estatus de Lodo de Clase B. Analizándolas en conjunto y, analizando las 7 últimas muestras y aplicando la media geométrica a éstas, el resultado obtenido corresponde a  $2,7 \times 10^3$  medida geométrica de Coliformes Fecales/g, y por lo tanto, es considerado como Lodo Clase B, establecido por la US EPA.

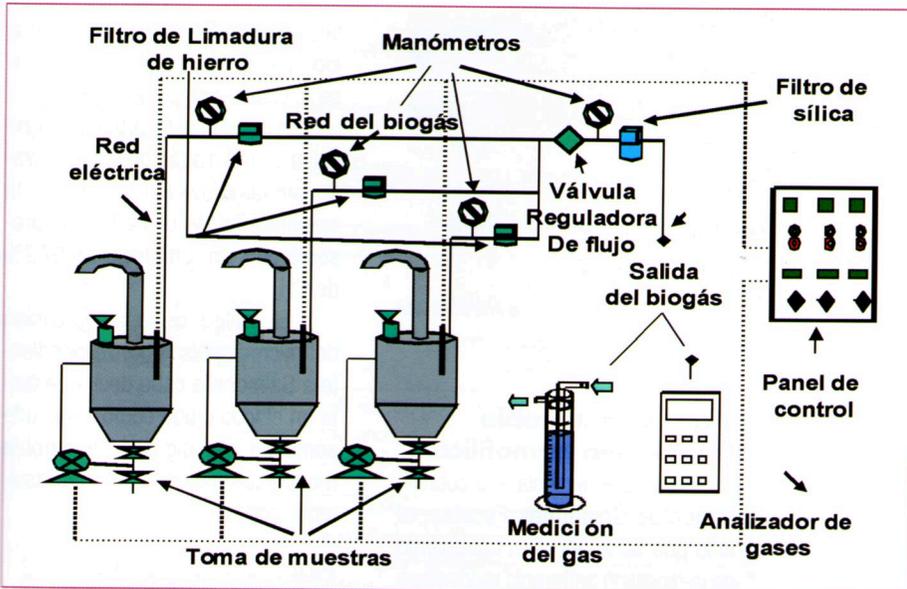


Figura. 3 Esquema general del sistema utilizado en la investigación.

Con la finalidad de conocer la composición de biogás producido, esto se realizaba al pasar el biogás por un equipo de medición provisto de una celda electroquímica, el cual mide la composición de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en porcentaje.

### Metodología de Muestreo y Alimentación de los Digestores

Los lodos de alimentación fueron muestreados del lodo extraído del reactor biológico de la estación depuradora de Aguas Residuales de "Calalberche" la cual esta ubicada en la provincia de Toledo.

Las muestras de lodo se recolectaron semanalmente y se almacenaban en el refrigerador hasta su uso. Para llevar a cabo la alimenta-

ción de los digestores, se tomaron diariamente los volúmenes necesarios para realizar esta operación, los cuales se dejaban que alcanzaran la temperatura ambiente antes de realizar la operación de alimentación, evitando así un choque térmico en los digestores.

### Operación de los digestores y Análisis

Para los tres digestores los periodos de caracterización de operación estable con un tiempo de retención hidráulica (TRH) promedio de 67 días.

Los parámetros de control y variables de respuesta analizados en los periodos de caracterización de operación estable de los digestores, así como sus periodos de caracterización se presentan en el cuadro 1.

PARAMETRO	FRECUENCIA DE MEDICION
pH	Diaria
Temperatura (°C)	Diaria
Demanda Química de Oxígeno	Tres veces por semana
Sólidos Totales, Volátiles y Fijos (g/l)	Tres veces por semana
Composición del biogás (% $\text{CH}_4$ y $\text{CO}_2$ )	Diaria
Volumen del biogás (l)	Diaria
Ácidos grasos Volátiles (mg/l)	Dos veces por semana
Alcalinidad	Dos veces por semana
Coliformes Fecales	Cada cinco días
Salmonella	Cada cinco días

Cuadro 1. Parámetros analizados durante el monitoreo de los diferentes periodos de operación estable en los tres digestores.

PARAMETRO	LODO CRUDO		
	PERIODO		
	1	2	3
pH promedio	6,67	6,7	6,69
DQO (Kg/m <sup>3</sup> ) promedio	37,45	39,17	44,52
STV (Kg/m <sup>3</sup> ) promedio	22,32	19,70	26,46
Carga de Alimentación S.T. (Kg/m <sup>3</sup> .d)	37,07	35,75	41,57
Alcalinidad (mg/CaCO <sup>3</sup> /l) promedio	1.116	1.020	1.080

Cuadro 2. Valores promedio analizados referente al lodo de alimentación de los digestores.

En cuanto a la producción de volumen del biogás presento un valor promedio de 1,48 litros/ día, la composición de dicho biogás presento un valor promedio de 65,1% de CH<sub>4</sub>.

El análisis de la cuantificación del microorganismo correspondiente a Salmonella cabe decir que tanto en el lodo crudo como en el lodo sometido a la digestión anaerobia monoetapa mesofílica dio un resultado negativo.

### Digestor anaerobio monoetapa termofílico

Por lo que respecta a la cuantificación de Coliformes Fecales, al lodo que se le aplicó el tratamiento de la digestión anaerobia monoetapa termofílica el 88,89% de las muestras analizadas alcanzaron el estatus del tipo Lodo Clase A, mientras que el 11,11% alcanzó el estatus de Lodo de Clase B. Analizándolas en conjunto y, analizando las 7 ultimas muestras, éstas, cumplen con el es-

tatus de lodo Clase A, por lo tanto el lodo puede ser considerado de Clase A, establecido por la US EPA.

En cuanto a la producción de volumen del biogás presento un valor promedio de 5,42 litros/día, la composición de dicho biogás presento un valor promedio de 67,2% de CH<sub>4</sub>.

El análisis de la cuantificación del microorganismo correspondiente a Salmonella cabe decir que tanto en el lodo crudo como en el lodo sometido a la digestión anaerobia monoetapa mesofílica dio un resultado negativo.

### Digestor anaerobio monoetapa mesofílico con pretratamiento térmico a 70°C durante 30 minutos

Por lo que respecta a la cuantificación de Coliformes Fecales, al lodo que se le aplicó el tratamiento de la digestión anaerobia mono-

etapa mesofílica con un pretratamiento térmico a 70°C durante 30 minutos, el 55,56% alcanzaron el estatus del tipo Lodo Clase A, de los diferentes tiempos de retención hidráulico, mientras que el 44,44% alcanzaron el estatus de Lodo de Clase B. Analizándolas en conjunto y, analizando las 7 ultimas muestras y aplicando la media geométrica a éstas, el resultado obtenido corresponde a 1,5 x 10<sup>3</sup> medida geométrica de Coliformes Fecales/g, y por lo tanto, es considerado como Lodo Clase B, establecido por la US EPA.

En cuanto a la producción de volumen del biogás presento un valor promedio de 3,5 litros/día, la composición de dicho biogás presento un valor promedio de 66,5% de CH<sub>4</sub>.

El análisis de la cuantificación del microorganismo correspondiente a Salmonella cabe decir que tanto en el lodo

PARAMETRO	DIGESTOR 1 MESOFILICO			DIGESTOR 2 MESOFILICO + PRETRATAMIENTO TÉRMICO			DIGESTOR 3 TERMOFILICO		
	PERIODO			PERIODO			PERIODO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	7,04	7,20	7,67	7,04	7,20	7,67	7,34	7,56	8,11
Alcalinidad (mg/CaCO <sup>3</sup> /l)	1.898	2.150	2.210	2.076	2.329	2.358	2.554	2.616	2.608
Carga de Alim S.T. (Kg/m <sup>3</sup> .d)	37,07	35,75	41,57	37,07	35,75	41,57	37,07	35,75	41,57
% S.T. Eliminados prom.	45,97	46,87	51,16	11,07	28,01	42,61	47,20	79,06	80,79
% S.T.V. Eliminados prom.	53,34	55,85	57,87	25,35	37,19	38,15	52,85	80,66	85,80
% DQO Eliminado prom.	45,43	70,53	46,99	32,62	50,65	48,11	46,48	63,57	61,73
Prod de biogás l/día prom.	1,65	1,80	0,83	3,37	2,62	3	7,87	2,96	5,45
% CH <sub>4</sub> prom	64,43	66,45	64,34	65,86	67,07	66,75	67,89	65,86	68,41

Cuadro 3. Resultados de la operación de los 3 digestores.

PERIODO	MUESTRA	LODO CRUDO	LODO MESOFILICO	LODO TERMOFILICO	LODO MESOFILICO MAS PRETRATAMIENTO
Periodo 1	1	1.00E+05	1.65E+04	8.92E+03	4.74E+03
	2	8.29E+05	2.39E+02	3.13E+01	6.27E+03
	3	1.53E+06	1.15E+02	7.89E+02	6.00E+04
Periodo 2	4	3.18E+06	1.31E+04	2.21E+02	2.24E+04
	5	3.62E+06	5.84E+03	9.47E+02	9.60E+02
	6	4.50E+06	5.08E+03	5.90E+02	6.27E+02
Periodo 3	7	4.44E+06	9.36E+03	9.65E+02	4.02E+02
	8	3.15E+06	4.11E+03	1.75E+02	1.23E+02
	9	1.57E+07	3.28E+02	4.82E+00	2.69E+02

Cuadro 4. Determinación de la cuenta bacteriana de los diferentes lodos referente a Coliformes Fecales.

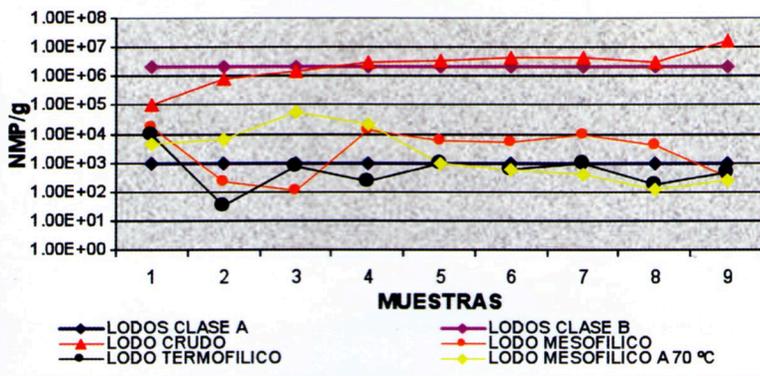


Figura 4. Comparación de microorganismos de Coliformes fecales en cada uno de los sistemas.

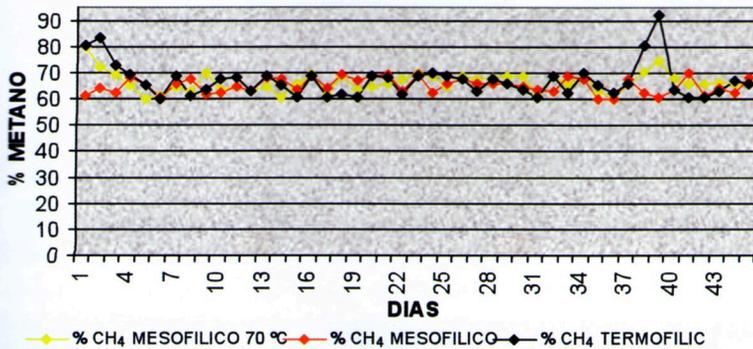


Figura 5. Comparación del porcentaje de metano en cada uno de los sistemas.

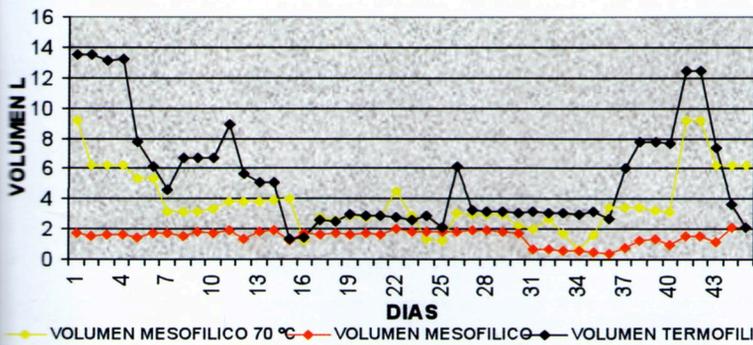


Figura 6. Comparación de la producción del biogás en cada uno de los sistemas.

crudo como en el lodo sometido a la digestión anaerobia monoetapa mesofílica dio un resultado negativo.

## Conclusiones

Por lo que respecta a la producción de volumen del biogás el digestor monoetapa termofílico presentó el mayor volumen con un valor promedio de 5,42 litros/día, seguido del digestor monoetapa mesofílico con un previo pretratamiento térmico a 70°C durante 30 minutos el cual su valor promedio fue de 3,5 litros/día, y por último el digestor monoetapa mesofílico que presentó un valor promedio de 1,48 litros/día.

Por lo que respecta a la producción del porcentaje de metano del biogás el digestor monoetapa termofílico presentó el mayor porcentaje con un valor promedio de 67,2% de metano, seguido del digestor monoetapa mesofílico con un previo pretratamiento térmico a 70°C durante 30 minutos el cual su valor promedio fue de 66,5% de metano, y el digestor monoetapa mesofílico que presentó un valor promedio de 65,1% de metano.

Los resultados muestran que la digestión anaerobia monoetapa mesofílica únicamente puede alcanzar los rendimientos correspondientes a lodos Clase B.

La digestión anaerobia monoetapa mesofílica con previo pretratamiento térmico a 70°C durante 30 minutos obtuvo mejores rendimientos en la eliminación de patógenos que el sistema sin pretratamiento, si bien no fue suficiente para garantizar una producción de biosólidos de Clase A. Los rendimientos fueron mejores cuanto más concentrado estuvo el fango de alimentación.

El lodo sometido a la digestión anaerobia termofílica es una adecuada opción tecnológica para la producción de biosólidos de Clase A de la US EPA y por lo tanto, susceptibles de reutilizarse con fines agrícolas con garantías de ausencia de riesgo para la salud pública.

Considerando la producción de gas como símbolo de la eliminación de materia orgánica, puede decirse que el proceso termofílico es tan efectivo con retenciones de 7 a 14 días, como el sistema mesofílico con retenciones de 24 a 28 días.

## Bibliografía

- USEPA. 2004, Results of the Inter-laboratory Validation of EPA Method 1681 (A-1) for Fecal Coliforms in Biosolids. EPA-821-R-04-009. December.
- United States Environmental Protection. 2006. Agency Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium.
- United States Environmental Protection. 2006. Method 1681: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using A-1 medium.
- Barr, K. G.; Solley, D. O.; Starrenburg, D. J. and Lewis, R. G. 2008. Evaluation, selection and initial performance of a large scale centralised biosolids facility at Oxley Creek Water Reclamation Plant, Brisbane. Water Science and Technology 57(10), 1579-1586.
- Batstone, D. J.; Darvodelsky, P. and Keller, J. 2008. Trends in biosolids handling technologies: economics and environmental factors. AWA biosolids specialty conference IV, Adelaide, Australia.

# tecno ambiente

REVISTA PROFESIONAL DE TECNOLOGÍA Y EQUIPAMIENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

N.º 203 Año XX

7 €

