

Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico
Sludge treatment. A necessary step inside the technological process

Matilde López Torres, Eliet Veliz, Lidia Asela Fernández García, María del Carmen Espinosa
Lloréns

matilde.lopez@cnic.edu.cu

Centro de Investigaciones del Ozono. Centro Nacional de Investigaciones Científicas.
Ave. 25 y Calle 158. Cubanacán. Apartado Postal 6990. Playa. Ciudad de La Habana. Cuba

Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico.

RESUMEN

Los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales para su reuso pueden ser químicos o biológicos. En ambos casos, un importante volumen de lodos es generado, lo cual requiere un tratamiento adecuado antes de la disposición final, por una parte para reducir el volumen y por la otra, para la supervisión de los problemas de contaminación de compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos que pueden estar presentes en el lodo. La digestión anaerobia puede ser una opción atractiva, como una vía de evacuación y como fuente de energía alternativa. Para este estudio, los lodos fueron colectados después del proceso de coagulación - floculación - sedimentación. La caracterización del lodo involucró los indicadores ambientales de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos total (ST), sólidos volátiles (STV), sólidos suspendidos volátiles (SSV), y pH. Se evaluó el comportamiento de los lodos en el proceso de digestión anaerobia. Para lo cual se utilizó un reactor de un litro operado en batch. El volumen de metano fue medido como resultado de la degradación de materia orgánica. La característica más notable en este tipo de residuo fue el alto contenido de materia orgánica, expresada como DQO total, STV y SSV: 12609, 17733 y 17167 mg/L respectivamente. La gran cantidad de sólidos volátiles (más del 80,0 %) sugiere la necesidad de una etapa de digestión anaerobia, para recuperar el metano producido como biogás. Los resultados anteriores indican la necesaria introducción de la digestión de lodos, cerrando el ciclo del proceso tecnológico para el reuso de aguas residuales municipales.

Palabras clave: Lodo; Digestión anaerobia; Tratamiento, Biogás.

ABSTRACT

Municipal wastewater treatment processes for reuse can be chemical or biological. In both cases an important volume of sludge is generated, which require a proper treatment before the final disposal, on the one hand for reducing the volume generated and on the other one, for supervising the contamination problems from toxic organic and inorganic compounds that may be present in the sludge. Anaerobic digestion can be an attractive option, as a disposal route and as a source of alternative energy. For this study, the sludge was collected after the coagulation – flocculation - sedimentation process. The sludge characteristics involved chemical oxygen demand (COD), total solids (TS), total volatile solids (VS), suspended volatile solids (SVS) and pH. The behaviour of the sludge on the anaerobic digestion process was evaluated. One litter reactor was used and operated on a batch basis. The volume of methane was measured as result of the organic matters degradation. The most remarkable characteristic of this waste was the high content of organic matter, expressed as total COD, TVS and SVS: 12609, 17733 and 17167 mg/L respectively. The large amount of volatile solids (more than 80.0%) makes necessary the introduction of anaerobic digestion in order to recover the methane produced as biogas. The above results suggest the necessary introduction of the sludge digestion, closing the technological process cycle for municipal wastewater reuse.

Keywords: Sludge; Anaerobic digestion; Treatment, biogas.

INTRODUCCIÓN:

Uno de los problemas más serios de contaminación a nivel mundial lo constituye la generación de lodos de diferentes naturalezas y principalmente los provenientes del tratamiento de las aguas residuales. Según estudios realizados el 60 % del costo en una planta lo compone el tratamiento de los lodos, dado a su vez por su complejidad estructural (1,2, 3).

La Estrategia Ambiental Nacional vigente (4) además de lo anterior, identifica como uno de los factores que contribuye de manera significativa al fenómeno de la contaminación ambiental el deficiente manejo de las aguas residuales generadas por la población, las

actividades productivas y de servicios (dado por la baja cobertura de tratamiento de las aguas residuales), el estado técnico de los sistemas de tratamiento existentes, la carencia de programas de minimización de residuos en la fuente de origen y los bajos niveles de reuso de los efluentes, entre otros.

Los tratamientos físico – químicos (coagulación – floculación - sedimentación) y los tratamientos biológicos aerobios (lodos activados, ampliamente utilizados para la depuración de las aguas residuales municipales), son ejemplos de tecnologías altamente productoras de lodos.

El elevado contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas de los lodos hacen que sean considerados como un residuo complejo, con una importante fracción de materia orgánica en suspensión de lenta biodegradabilidad, siendo la etapa de hidrólisis la etapa limitante del proceso de degradación (1, 5).

Un factor que influye en la eficiencia de degradación de los lodos es el acceso al material orgánico celular, requiriéndose de su liberación. La autólisis llevada a cabo por enzimas líticas y bacteriófagas constituye unas de las vías de liberación, otra es acelerar este proceso a través de tratamientos físicos, químicos o combinaciones de ambos, consiguiendo con ello la hidrólisis y solubilización del material orgánico. Todas ellas buscando paralelamente la minimización del volumen de lodo y la efectividad en la reducción de la contaminación del residuo complejo (6). López y col. en el 2008 (1) estudiaron la adición de compuestos químicos para la solubilización de residuos complejos y su posterior estabilización por vía anaerobia. Similares propuestas fueron reportadas para diferentes tipos de residuos por Bill y col. en 1990 (7), Espinosa y col. en 1995 (8), Hoon en el 2004 (9), entre otros. En los últimos años ha habido un incremento en el uso del ozono para la estabilización de los residuos complejos (6, 10, 11), debido fundamentalmente a la posibilidad de dar respuesta a las principales problemáticas planteadas de reducción del volumen de lodo y de la contaminación, con la misma opción de tratamiento (ozonización). Sin embargo, los costos a gran escala hacen pensar inicialmente en variantes más económicas.

Otra de las propuestas para reducir el volumen de lodos es la adición de metales tales como el cobre y el zinc. Según estos estudios Kobayashi y col. en el 2009 (9), ello puede reducir la tasa de crecimiento bacteriano en más de un 30 % sin apenas afectar el rendimiento en la eliminación de materia orgánica. Investigaciones previas reportadas por Barragán (12) determinaron que el Aluminio en forma de $Al(OH)_3$ y en las concentraciones estudiadas no tiene efecto inhibitorio sobre el proceso de digestión anaerobia. Sin embargo, la actividad metanogénica se ve afectada aún más con la combinación del sulfato (SO_4) y el aluminio

El presente trabajo analiza los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales municipales, según el proceso seleccionado de coagulación - floculación – sedimentación, teniendo en cuenta su estabilización por vía anaerobia y su posibilidad de producción de una fuente alternativa de energía.

MATERIALES AND MÉTODOS

Lodos

Los lodos empleados en el estudio fueron colectados después del proceso de tratamiento seleccionado de coagulación - floculación – sedimentación, de las aguas residuales de una de las municipalidades de la Ciudad de La Habana.

Reactor anaerobio

Para el seguimiento de la descomposición anaerobia de los lodos se utilizaron reactores de 250 mL de capacidad, operados en batch. Cada uno de ellos se alimentó con muestras del lodo previamente homogenizada.

El volumen de gas producido se determinó utilizando un frasco Boyle – Mariotte el cual se encontraba directamente conectado por un lado al reactor anaerobio y por el otro a un frasco de medición graduado con el objetivo de cuantificar el volumen de agua desplazado equivalente al volumen de gas generado.

Se realizaron análisis cualitativos al gas para la detección de la presencia de sulfuro de hidrógeno, empleando para ello la técnica del papel de plomo (13).

Métodos Analíticos

Para la caracterización del lodo y su seguimiento se determinó la demanda química de oxígenos (DQO), los sólidos totales (ST), los sólidos totales fijos (STF), los sólidos totales volátiles (STV), los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos suspendidos fijos (SSF), los sólidos suspendidos volátiles (SSV), grasas y aceites, la conductividad eléctrica (CE), el nitrógeno amoniacal (Nam), nitrógeno orgánico (Norg), el fósforo total (Pt) y el pH. Todos los análisis fueron realizados por triplicado empleando para ello fuentes validadas (14).

Procesamiento estadístico

Para el procesamiento estadístico se empleó el paquete de programas estadísticos Statgraphics (15), utilizándose, además, como herramienta de trabajo el programa Microsoft Excel

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de las aguas residuales municipales (tabla 1), sugieren la posibilidad de estudios para su reuso en diversos fines. El contenido de sólidos en suspensión de estas aguas representa el 25 % de los sólidos totales. La materia orgánica presente expresada en términos de DQO y sólidos volátiles (STV y SSV), ratifican la posibilidad de la introducción de una alternativa de tratamiento con vista a la posterior utilización del agua tratada, con los efectos favorables en la reducción del consumo de agua potable para estos fines y la opción de aprovechamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo), evitándose además los problemas de eutroficación que ocasiona su disposición.

Tabla 1. Composición de las aguas residuales municipales.

Indicadores	Concentración (mg/L)*	DE
DQO (mg/L)	261	1.07
ST (mg/L)	1040	5.00
STF (mg/L)	473	6.00
STV (mg/L)	567	5.00
SST (mg/L)	263	2.89
SSF (mg/L)	12	1.73
SSV (mg/L)	251	1.15
pH	7.8	0.04
Grasas y aceites (mg/L)	64	2.00
CE (µS/cm)	1108	0.00
Nam (mg/L)	43	0.77
Norg (mg/L)	33	1.07
Pt (mg/L)	14	0.06

Durante el tratamiento de las aguas municipales se utilizó como coagulante sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). El $Al_2(SO_4)_3$ disuelto en agua produce hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$, que actúa desestabilizando las partículas coloidales y los sólidos en suspensión formando copos o flóculos capaces de depositarse con mayor facilidad. Después de la etapa de sedimentación, como promedio, se obtuvieron 5 mL de lodo/L de residual tratado.

Las características del lodo (tabla 2), resultante del proceso de coagulación - floculación - sedimentación muestran el alto contenido de materia orgánica expresada como DQO, STV y SSV de 12609, 17733 y 17167 mg/L respectivamente. Más del 70,0 % de los sólidos están constituidos por materia orgánica y de ésta el 96.8 % por materia orgánica en suspensión, lo

que sugiere la necesidad de la introducción de una etapa final de estabilización de este material orgánico antes de su disposición, valorándose en primera instancia soluciones que conlleven al reuso del residuos.

Una de las ventajas de la digestión anaerobia es la baja necesidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, derivado de los bajos índices de producción de biomasa (microorganismos). Varios autores han estudiado la relación necesaria entre los nutrientes mayoritarios, considerándose una buena relación la del C:N entre 15-30:1 (5). En este caso, los lodos se encuentran dentro del intervalo considerado para el buen desarrollo del proceso de degradación.

El pH del lodo osciló en el rango neutro, favorable para iniciar el proceso.

Tabla 2. Caracterización del lodo generado durante el proceso de tratamiento de las aguas municipales: Coagulación – floculación – sedimentación.

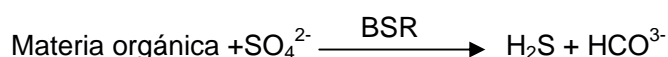
Indicadores	Concentración	DE
DQO (mg/L)	12609	127.00
ST (mg/L)	24760	83.00
STF (mg/L)	7027	84.00
STV (mg/L)	17733	77.00
SST (mg/L)	20767	208.00
SSF (mg/L)	3600	173.00
SSV (mg/L)	17167	58.00
pH	7.0	0.03
Alcalinidad (mg/L)	6610	100.00
Acidez (mg/L)	1993	30.00
CE (µS/cm)	600	0.00
Nam (mg/L)	122	1.00
Norg (mg/L)	503	7.00

El inconveniente inherente al tratamiento anaerobio de los lodos está dado por las características intrínsecas del material, en el cual la fuente de carbono (materia orgánica) se encuentra en gran medida en forma no soluble que dificulta su metabolización por la población microbiana presente.

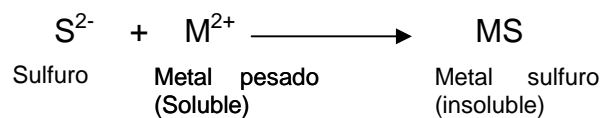
Para que los microorganismos puedan asimilar la materia orgánica, ésta tiene que estar en forma disuelta. De modo que si se parte de un residuo complejo, como lo es este tipo de lodo, se hace necesario un buen seguimiento de la etapa inicial de hidrólisis, siendo esta la etapa limitante dentro del proceso de degradación anaerobia.

El seguimiento del proceso digestión anaerobia y principalmente su puesta en marcha requieren de una especial atención, debido al riesgo de sobrecarga orgánica por la alta concentración en el lodo, lo cual puede dar lugar a la acidificación del reactor producto de la acumulación de ácidos grasos volátiles, reacción que puede llegar a ser irreversible. Los resultados obtenidos mostraron un comportamiento estable durante la etapa experimental. El pH al cabo en los primeros 15 días se mantuvo entre 6,5 y 6,8, favorable para el proceso. Los volúmenes de gas obtenidos y su contenido de metano (más de un 68 %), verifican la evolución del proceso de descomposición.

De acuerdo a los estudios realizador por Barragán (10), la incorporación del sulfato en el lodo podría dar lugar a su reducción y por tanto la formación de sulfuros en presencia de bacterias sulfatoreductoras, lo que podría ser un inconveniente dentro del proceso de digestión anaerobia de estos lodos, por un lado por la formación de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en el gas y por otro por los fenómenos inhibitorios que podrían dar lugar.



En todo el período de experimentación no se detectó (cualitativamente), la presencia de H₂S, lo que hace pensar en las bajas concentración en la cual se encuentra presente el sulfato en este residuo. Por otra parte los sulfuros pueden formar precipitados altamente insolubles con metales pesados (ejemplo cobre, zinc), por lo que deberá evaluarse el lodo digerido final con vistas a cerrar el ciclo de la incorporación de azufre como sulfato para la propuesta de valorización con fines agrícolas.



CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la digestión anaerobia de los lodos es una opción tecnológica adecuada y más aún para cerrar el ciclo del proceso de tratamiento para el reuso de las aguas residuales municipales, con la potencialidad de la obtención de biogás y la posible valorización del lodo para reuso en la agricultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López Torres M, Espinosa Lloréns MC. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. *Waste Management*. 2008, Volume 28, Issue 11, November: 2229-2234 Pages.
2. López Torres M, Espinosa Lloréns MC, Escobedo Acosta R. Contribución de la mujer cubana en el desarrollo de tecnologías de tratamiento de residuos. Libro "Latinoamericanas en las Ciencias Exactas y de la Vida. 2009, Volumen 1 y Volumen 2". ISBN: 978-970-32-5449-1, 978-607-2-00035-3 y 978-607-2-00036-0: 648 páginas.
3. Urtubia A. Revisión de métodos de minimización de lodos. *Revista Latinoamericana de Ciencias e Ingeniería*. 2007.
4. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional 2007 – 2010. Anexo único de la Resolución No. 40/2007. Cuba. Editorial Academia. 2007.
5. Martí Ortega N. Phosphorus precipitation in anaerobic process. Boca Raton, Florida, USA. Dissertation.com. ISBN: 1-58112-332-9
6. Stéphane D, Etienne P, Jean M A, Michel R y Hubert D. *Ozone Science and Engineering*. 2000; 22: 473-486.
7. Bill T, Jih-Gaw L, Rajan R V. Low- level alkaline solubilization for enhanced anaerobic digestion. *Journal Water Pollution Control Federation*. 1990; 62, 1: 81–87.
8. Espinosa M C, López M, Montalvo S, Escobedo R, Ruíz M, Correa O. Chemical solubilization and anaerobic treatment of sewage sludge. *Proceeding Earth Conference on Biomass for energy, development and the environment*. 1995. Havana, Cuba. p. 103.
9. Hoon, K.S. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Texas A&M University. 2004.
10. Kobayashi T, Li Y Y, Harada H, Yasui H y Noike T. Evaluation of Multistage Anaerobic Digestion Systems combining Ozonation, Mesophilic Digestion and Thermophilic Digestion. En memorias del 19th World Congress and Exhibition. International Ozone Association. Tokyo, Japan. 2009.
11. Fabiyi M, Novak R, Ried A, Weiland A, Capra R, Sandon A. Sludge reduction using ozone induced lysis. En memorias del World Congress on Ozone and Ultraviolet Technologies, Los Angeles, 2007.
12. Barragán E, Loyola A y Cabirol A. Efecto del aluminio en la digestión anaerobia mesofílica de lodos provenientes de tratamiento primario avanzado de aguas residuales. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/012.pdf>.
13. Pérez Sanfiel F, Raola González O. La química: In universo a tu alcance. Ciudad de La Habana. Editorial Científico – Técnica. 1984

14. APHA-AWWA-WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,. Washington, DC, USA. 20th ed, 1998: 1134. 1998.
15. STATGRAPHIC plus 5. Statistical Graphics Corp., USA. 2000