

Lodo Aerobio como Inoculante para Arranque de un Biorreactor Anaerobio y como Biofertilizante

Autoras: Mónica Liliana Albrecht Encina¹; Cinthia Noemí Burgos Cantoni²

Resumen

En la ciudad de Encarnación se cuenta con una planta de tratamiento de agua residual emergente de hogares e industrias mediante lagunas de aireación, que tiene como objetivo remover los contaminantes presentes y hacerlas aptas en otros usos, o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, este tratamiento trae como consecuencia la formación de lodos residuales, y olores molestos por lo que debe existir un adecuado tratamiento de lodos que implican un costo extra en su manejo y disposición. Este estudio planteó dar una alternativa de solución al manejo de los lodos residuales aerobios, probándolo como inóculo en el arranque de un reactor anaerobio y también, usándolo directamente como biofertilizante. Con este trabajo se comprobó que el lodo aerobio residual de la planta de tratamiento al someterlo en un reactor en condiciones anaerobias durante 25 días posee una importante actividad metanogénica identificándose a través de análisis microbiológicos la presencia de bacterias metanogénicas como *Metanococcus* y *Metanobacterium*, esto indica que se podría utilizar como inoculante de biorreactores para la generación de biogás con algún tipo de sustrato que aporte la materia orgánica necesaria para la biotransformación. Los parámetros fisicoquímicos analizados se encuentran dentro de los rangos permitidos para este tipo de lodo según la Norma Mexicana de Protección Ambiental de lodos y biosólidos 004-SEMARNAT-2002. En cuanto a la eficacia del lodo residual aerobio como biofertilizante depositado directamente (sin haber sido espesado, digerido o deshidratado), se ha comprobado la baja emergencia de las semillas de *Lactuca sativa* solamente en un 5,3% y en mezclas de este con el 40,6% comparados con un testigo de suelo de 86% de semillas germinadas.

Palabras Claves: Metanogénesis, biodigestión, lodo aerobiocontaminantes, biogás.

Abstract

In Encarnación city is located a wastewater treatment plant by aerated sewage lagoon emerging from homes and industries, which aims to remove contaminants and to make them suitable for other uses, or to avoid environment damages. However, this treatment results in the formation of residual sludge, and with it the consequence of unpleasant odors, so it should be an appropriate treatment of sludge that imply an extra cost in its handling and disposal. This work proposes to give an alternative solution to the management of aerobic residual sludge, testing it as inoculum in the start of an anaerobic reactor and also, using it directly as biofertilizer. This work demonstrated that the residual aerobic sludge of the treatment plant when subjected to anaerobic reactor during 25 days has an important methanogenic activity, identifying through microbiological analysis the presence of methanogenic bacteria such as *Metanococcus* and *Metanobacterium*, indicating that could be used as an inoculant of bioreactors for the generation of biogas with some type of substrate that provides the organic matter necessary for biotransformation. The physicochemical parameters analyzed are within the allowed ranges for this type of sludge according to the Mexican Standard Environmental Protection sludge and biosolids 004-SEMARNAT-2002. As for the efficacy of the aerobic residual sludge as a biofertilizer placed directly (without having been thickened, digested or dehydrated), the low emergence of *Lactuca sativa* seeds was verified only 5.3% and mixtures of this was 40.6% compared to a control soil of 86% of germinated seeds.

Key words: Methanogenesis, biodigestion, aerobic sludge, contaminants, biogas.

¹Profesora Investigadora de la UNI e-mail: lab_química@cyt.uni.edu.py

²Profesora Investigadora de la UNI e-mail: lab_microbiología@cyt.uni.edu.py

Recibido: 02/05/2016 Aceptado: 02/09/2016

Introducción

La oxidación biológica, es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes y a su vez, también existe síntesis celular, originando exceso de biomasa que debe ser purgado del sistema, como lodos (Arnáiz, Isac, & Lebrato, 2000).

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

En un medio aerobio adecuado, donde los nutrientes y el material orgánico están disponibles en abundancia, es necesario estar suministrando continuamente oxígeno. Este es consumido en el metabolismo microbiano, y si se limita su presencia en el medio, las bacterias aerobias se inhiben y predominan las facultativas, y posteriormente las anaerobias si persiste la falta de oxígeno (Kiely, 1999).

Por otro lado, uno de los principales problemas que se le puede atribuir al uso de lodos a la aplicación de los suelos, es la presencia de organismos patógenos a pesar de la eliminación que se realiza en el proceso de digestión anaerobia. Este problema se solucionaría mediante el compostaje de lodos antes de su aplicación al suelo, garantizando la sanidad y calidad del producto (Rodríguez, 2010).

Asimismo, la ciudad de Encarnación genera aguas residuales como consecuencia de las actividades normales de las familias e industrias instaladas en la zona, el cual alberga al 26% del departamento de Itapúa. Por lo tanto el objetivo de esta investigación es analizar la capacidad metanogénica del lodo de la planta de tratamiento primario de lagunas de aireación de agua residual y verificar su acción fertilizante.

Materiales y Métodos

La investigación fue realizada en las instalaciones del Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Itapúa, las muestras fueron tomadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Encarnación.

Instrumentos y Materiales

Bioreactor

Se construyó un biodigestor de flujo discontinuo a escala laboratorio, utilizando un tanque de plástico con una capacidad máxima de volumen de 20 litros. El lodo fue depositado en el fondo del tanque a través de una tubería de una pulgada y media (1½") que se inserta en un tapón limpieza sujeto a la tapa del tanque, por donde se alimentó el reactor; ocupando aproximadamente el 50 % del volumen de cada digestor. La toma de muestra y posterior evacuación del biosólido se realizó por la parte inferior del reactor, que presenta una llave de paso a unos cinco centímetros de la base del tanque aproximadamente. En la parte superior del reactor, se instaló un conducto que permite regular la salida del gas, conectado a una manguera que dirige el gas generado hasta un recipiente que contiene una solución de hidróxido de sodio, donde se cuantificó mediante el desplazamiento de volumen por el método (AME) Actividad Metanogénica Específica (como se muestra en la Figura 1).

Figura 1.



Fuente: Torres, P. (2010)

Montaje Actividad Metanogénica Específica

El desarrollo de esta investigación consistió en dos ensayos, realizados en dos tiempos distintos de retención y con muestras diferentes, tomadas en el mismo punto cada vez, con el fin de estimar un tiempo de digestión adecuado de acuerdo a las condiciones ambientales. El tiempo destinado para la digestión anaerobia del lodo fue de 25 días; durante este tiempo, se observó el comportamiento del sustrato consistente en el lodo aerobio residual sin mezcla alguna, frente al montaje realizado. Finalizado el tiempo dispuesto para el primer ensayo y estimando unas condiciones básicas de operación se determina un tiempo de 40 días para el segundo ensayo con el agregado de sustrato que consistió en desechos de frutas y verduras.

Toma de Muestra del lodo aerobio:

Las muestras representativas se tomaron directamente de la laguna primaria de aireación y sedimentación con un muestreador adecuado, se recolectaron en dos frascos de vidrio estériles, de boca ancha, tapa rosca, y con capacidad de un litro; se conservaron refrigerados y se trasladan hasta el laboratorio de química, ubicado en la Facultad de Ciencias y Tecnología para ser sometidas a un proceso de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la digestión anaerobia.

Para realizar los experimentos como biofertilizante el lodo no fue espesado, estabilizado ni deshidratado, solamente se estandarizó a una humedad del 78% para todas las pruebas.

Análisis Físicoquímicos

Las determinaciones de pH, Porcentaje de Humedad, Sólidos Volátiles, Porcentaje de Cenizas, Nitrógeno total y Metales Pesados y Análisis Microbiológicos de Coliformes totales y Fecales llevadas a cabo para este tipo de muestra las sugiere la Norma Mexicana de Protección Ambiental de lodos y biosólidos 004-SEMARNAT-2002 (Luiselli Fernandez, 2002).

Análisis Microbiológicos para determinación de Bacterias Anaerobias

Se acondicionó una cámara de anaerobiosis para el crecimiento bacteriano. El lodo fue sembrado

en los medios de cultivo selectivo y diferencial. Se realizó un examen microscópico con tinción de Gram.

Determinación Actividad Metanogénica Específica (AME)

Para cuantificar la producción de metano por el grupo de microorganismos presentes en el lodo se utilizó la AME. Su aplicación resulta útil en términos comparativos, por ejemplo, entre condiciones o fases operacionales de reactores anaerobios (Torres P, 2010).

Germinación y Emergencia de Semillas

La siembra se realizó en bandejas de plástico con 100 cavidades, utilizando un ensayo con un testigo de 1000 gramos de suelo fértil, un segundo ensayo con una proporción de 500 gramos de lodo residual y 500 gramos de suelo, un tercer ensayo con una proporción de 250 gramos de lodo residual y 750 gramos de suelo y un último y cuarto ensayo de 1000 gramos de lodo residual, todos acondicionados a la misma humedad de 78%. Para cada ensayo fueron distribuidos tanto en el suelo como en las mezclas en los pocillos de siembra una semilla a 5 mm de profundidad. En condiciones ambientales de 25°C y presión atmosférica de 760 mmHg.

Resultados y Discusión

Se procede a realizar una caracterización del lodo residual aerobio proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Encarnación. En la tabla 1 se pueden observar los parámetros evaluados.

Tabla 1.
Parámetros físicoquímicos

Parámetros	Unidades	Muestra N°1
Cobres (Cu)	mg/K	89,0
Niquel (Ni)	mg/K	42,7
Ploomo (Pb)	mg/K	17,8
Mercurio (Hg)	mg/K	0,82
Zinc (Zn)	mg/K	925
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/K	280.000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	39.900
N total	%	0,90
Materia Orgánica	%	32,75
Humedad	%	93,62
Sólidos Totales	%	2,35
Sólidos Volátiles	%	55,13
Cenizas	%	43,3

Temperatura: La temperatura promedio para el ensayo 1, fue de 27,5 °C; durante el ensayo 2 se presentó una temperatura promedio de 28,1°C estas temperaturas fueron tomadas mediante un termómetro de mercurio diariamente. Rodríguez (2010) indica que estas temperaturas se encuentran dentro del rango mesofílico, el cual está comprendido entre los 12 °C y 35°C. De acuerdo a las medias de temperatura anotadas se alcanzó la temperatura óptima de operación para la digestión anaerobia, que según Montes (2008), ocurre entre 29 y 33 °C.

pH: Durante los tiempos establecidos para los ensayos uno y dos, el pH inicial se encuentra entre 5,5 y 7,23 respectivamente, se verifica una baja considerable del pH entre los días 6 y 12, el cual podría atribuirse al inicio de la etapa acidogénica. Según Varnero (2011), para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6,0 ni subir de 8,0. El mismo autor plantea que para cultivos mixtos (bacterias acidogénicas y metanogénicas) el pH óptimo se encuentra entre 6,8 y 7,4, valores muy cercanos a los registrados en esta investigación. Sin embargo Hilbert (1999), expresa que los organismos metanogénicos son más susceptibles a los cambios de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica de ahí radica la importancia de monitorear constantemente este parámetro.

Elementos Metálicos: En el análisis se puede apreciar la concentración más alta que se haya registrado; para el zinc (Zn 925 mg/L).

Materia Orgánica: Se demuestra que hubo una disminución considerable del porcentaje de este parámetro en cada digestión, se observa que en el ensayo uno el porcentaje de la materia orgánica disminuyó un 27,11% y en el segundo ensayo hubo una disminución del 58,47%.

Cenizas: Los valores obtenidos para el Ensayo 1 (46,26 - 39,53) %; Ensayo 2 (41,43 - 40,78) %. La Norma Mexicana de Protección Ambiental de lodos y biosólidos 004-SEMARNAT-2002 establece un contenido máximo de cenizas del 60% valor que supera a los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Sólidos volátiles (SV): Fueron obtenidos en el Ensayo 1 (57,13 - 42,99) %; Ensayo 2 (63,03 - 43,96) %; en el primer ensayo se verificó una reducción de SV de 23,12 % en el segundo ensayo de 27,94%. Esta reducción de SV puede estar asociada al consumo de materia orgánica, ya que según Murillo (2005), los sólidos volátiles pueden ser utilizados como indicadores del proceso de digestión.

Volumen Acumulado de Biogás con respecto al tiempo: En el ensayo uno el primer registro de volumen acumulado de biogás se realiza a partir del día 4 obteniendo 10 cm³ de volumen desplazado de una solución al 3 % de NaOH equivalentes a 10 cm³ aproximadamente de biogás acumulado, finalizando el día 25 con un volumen aproximado de biogás de 480 cm³; en el segundo ensayo el primer registro de producción de biogás se obtiene el día 6 con un volumen aproximado de 29 cm³, finalizando el día 40 con un volumen aproximado de 904,7 cm³ de biogás acumulado.

Luego de estos días de digestión se comprueba con la medición del pH de la solución de NaOH al 3%, que este ha disminuido a un 11,5 lo cual nos indica que la capacidad secuestrante de CO₂ está saturada y se suspende la digestión (Lettinga, Field, Van Lier, Zeeman, & Pol, 1997).

Bacterias Metanogénicas: Se verificó a través de la observación del cultivo selectivo y diferencial *Metanococcus* MC características macroscópicas de colonias puntiformes, pequeñas de color amarillo pálido que corresponden según la bibliografía a bacterias *Methanococcus*, y en el medio de cultivo selectivo y diferencial *Metanobacterium* MB colonias redondas grandes, pegajosas, brillantes, que toman el color café del medio que corresponden a *Methanobacterium*. También se realizó la tinción diferencial de Gram observando los Cocos Gram (+) y los Bacilos Gram (-) que se han verificado con bibliografía de referencia (Madigan, 1998).

Actividad Metanogénica Específica (AME): La AME para el ensayo uno a los 25 días de digestión anaerobia es de 0,117 (gDQO/gSTV*d) a un promedio de temperatura de 27,58 °C con una disminución de materia orgánica de 27,11%.

Para el ensayo dos a los 40 días de digestión anaerobia la AME es de 0,183 (DQO/gSTV*d) a un promedio de temperatura de 27,88 °C con una disminución de materia orgánica de 58,47%. Utilizando el criterio como de baja actividad metanogénica valores que se encuentren por debajo de 0,1 (gDQO/gSTV*d); los resultados obtenidos se encuentran por encima de este criterio; para esta investigación son satisfactorios y de gran importancia contar con un lodo de una buena actividad metanogénica (López & V., 2004).

Resultados Análisis Microbiológicos

Coliformes Totales: Se constató una concentración de Coliformes Totales como NPM, mayor a 1100 bacterias por cada gramo de lodo aerobio sin digerir. Respecto al lodo que ha pasado por el proceso de digestión anaerobia (salida), en el ensayo uno no se observan cambios en el NMP de bacterias, pero en el ensayo dos se ve disminuido el NMP de bacterias a 460/g de lodo digerido en cuanto a los Coliformes Fecales a los 25 días en el Ensayo 1 se presenta una disminución del 58,18 %, y en el Ensayo 2 la población disminuye en un 86,36%.

Lodo Residual como biofertilizante: Se comprueba que para la prueba de germinación de semillas de *Lactuca sativa* con el testigo se presentan 86% de semillas germinadas, para el segundo ensayo se produjo una germinación del 40%, para el tercer se obtuvo una germinación del 51,30% y para el cuarto ensayo 5,3% de germinación.

Conclusión

Se concluye con este trabajo que el lodo residual de la Planta de Tratamiento de la ciudad de Encarnación posee una actividad metanogénica importante de acuerdo a la experiencia realizada en donde se observó la disminución de la materia orgánica tanto en el ensayo uno como en el dos que han sido digeridas por las bacterias metanogénicas contenidas en el lodo para su conversión a gas metano.

Se ha comprobado a través de análisis microbiológicos la presencia de bacterias metanogénicas en el lodo residual, que tienen acción sobre sustratos como los ácidos orgánicos volátiles tales como las *Methanococcus* y *Metanobacterium*.

En cuanto a la efectividad como biofertilizante se concluye que el mismo no es recomendado debido a que se ha observado que las semillas de la *Lactuca sativa* no germinan en el lodo residual y también por el hecho de presentar evidencia del contenido de metales pesados en las muestras analizadas los cuales son considerados contaminantes para este tipo de actividad.

Referencias

- Arnáiz, C., Isac, L., & Lebrato, J. (2000). Tratamiento Biológico de aguas residuales. Obtenido de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/edar.pdf>
- Hilbert, J. A. (2015). Manual para la Producción del Biogas. Obtenido de INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf
- Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Madrid: S.A. McGraw-Hill / Interamericana de España.
- Lettinga, G., Field, J., Van Lier, J., Zeeman, G., & Pol, L. (1997). Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future. *Water Science and Technology*, 35(10), 5-12.
- López, M., & V., P. (2004). El comportamiento de los Reactores Anaerobios de Residuos Sólidos a travez de Ensayos Microbiológicos. *CENIC Ciencias Biológicas*, 35(3).
- Luiselli Fernandez, C. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Mexico.
- Madigan, M. (1998). Brock Biología de los Microorganismos. UK: Prentice Hall International. España.
- Montes Carmona, M., Hernández Lehmann, A.,

& Hernández Muñoz, A. (2008). Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Obtenido de Tesis de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/murillo_v_al/

- Rodríguez, J. A. (2010). Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Obtenido de Archivo Digital UPM: <http://oa.upm.es/4042/>

- Torres P. (2010). Actividad Metanogénica Específica: Una Herramienta de Control y Optimización de Sistemas de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. <http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplars/9/b.htm>.

- Varnero, M. T. (2011). Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo. Revista Información Tecnológica, Vol 22(5), pág 49-56.