

## Caracterización de lodos como inoculantes para un reactor anaeróbico para el tratamiento de vinaza

Walter D. Machado\*, Federico Marquetti\*, Federico Molina\*, Carlos Gusils\*\*  
y Eugenio A. Quaia\*

### RESUMEN

La implementación de un proceso de tratamiento biológico de efluentes requiere conocer ciertas características fisicoquímicas y microbiológicas del inóculo utilizado, como también del sustrato a tratar.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar lodos con actividad metanogénica y vinazas para su uso como sustrato en el proceso de biodigestión anaeróbica.

Se analizaron lodos de cinco fuentes diferentes y se seleccionó uno proveniente de una laguna de sacrificio de vinaza, por presentar mayor concentración de sólidos suspendidos volátiles (26,13%) y mayor capacidad de producción de metano (Actividad Metanogénica Específica, AME= 0.15 gDQOCH<sub>4</sub>/gSSV.d). La selección de un inóculo proveniente del tratamiento de vinaza acorta los tiempos de adaptación de los microorganismos en el reactor. La caracterización de las vinazas consistió en determinar los principales parámetros para estudiar la relación de nutrientes (DQO:N:P) necesaria para ser utilizada como sustrato en un digester tipo UASB (reactor anaerobio de flujo ascendente), además de los parámetros físico-químicos como pH y conductividad. Se determinó que las vinazas analizadas cubren con los requerimientos de nitrógeno y materia orgánica, debiéndose adicionar fósforo para mantener la relación de DQO:N:P en 500:7:1, sugeridas como óptimas en la bibliografía, para conseguir la granulación. Las pruebas planteadas para caracterizar las muestras de lodos obtenidas permitieron establecer algunas diferencias y criterios para seleccionar el inóculo para futuras pruebas.

**Palabras clave:** lodo anaeróbico, vinaza, inóculos.

### ABSTRACT

#### Characterization of sludge as inoculants for an anaerobic reactor for the treatment of vinasse

The implementation of a process of biological wastewater treatment requires knowledge of physicochemical and microbiological characteristics of the inoculum used, as well as the substrate to be treated.

The aim of this work was to characterize sludge with methanogenic activity and vinasses for use as a substrate in anaerobic bio-digestion process.

Five sludges of different sources were analyzed. The sludge from sacrifice's lagoons of stillage, was chosen because it had higher concentrations of volatile suspended solids (26.13%) and higher methane production capacity (Specific Methanogenic Activity, SMA = 0.15 gCODCH<sub>4</sub>/gSSV.d). The selection of an inoculum from the treatment of vinasse, shortens the adaptation of microorganisms in the reactor. The characterization of vinasse consisted in determining the main parameters to study the nutrient ratio (COD:N:P) required to be used as substrate in a UASB type digester (upflow anaerobic sludge blanket), in addition to the physicochemical parameters as pH and conductivity. It was determined that the analyzed vinasse covered with the requirements of nitrogen and organic matter, and phosphorus must be added to maintain the COD:N:P ratio in 500:7:1, suggested as optimal in the literature, to achieve granulation. The tests proposed to characterize the samples of sludge obtained, allowed to establish some differences and criteria to select the inoculum for future tests.

**Key words:** anaerobic sludge, vinasse, inoculum.

---

\*Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales – EEAOC. Email: [daniel.machado@eeaoc.org.ar](mailto:daniel.machado@eeaoc.org.ar)

\*\*Sección Química – EEAOC - CONICET

## INTRODUCCIÓN

El proceso de biodigestión responde a los principios básicos de la biotecnología ambiental y constituye una de las herramientas más importantes en las plantas de tratamiento de efluentes ya que presenta buenas capacidades de remoción de materia orgánica así como también ventajas en términos de inversión y costos de operación frente a procesos tales como oxidación química o térmica. Existen dos tipos de biodigestión: una aeróbica que tiene lugar en presencia de oxígeno; y otra anaeróbica que lo hace en ausencia de este, involucrando diferentes tipos de microorganismos en cada caso (Chávez *et al.*, 2005; Mittal, 2011).

Para llevar a cabo los procesos de biodigestión anaeróbica se proponen diversos tipos de configuraciones de reactores, dependiendo fundamentalmente del tipo de efluente a tratar. Una de estas configuraciones es el reactor tipo UASB (por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), apto para tratar efluentes de alta carga orgánica. Para aumentar la eficiencia de funcionamiento en este tipo de reactores, lo ideal es que la biomasa se encuentre en forma granular, esto es microorganismos agrupados formando pseudoesferas de 1 a 3 mm de diámetro, llamadas habitualmente gránulos anaerobios, donde coexisten todas las familias de bacterias necesarias para llevar a cabo la biodigestión anaerobia.

Una de las mayores limitantes a la hora de poner en funcionamiento los reactores UASB es la falta de inóculos, sobre todo de configuración granular. Cuando no se cuenta con una fuente de inóculos (como ser otro reactor UASB en funcionamiento), es recomendable buscar fuentes alternativas de lodos floculentos con actividad metanogénica y proporcionar las condiciones adecuadas para su granulación.

Una de las características particulares de estos reactores es que bajo ciertas condiciones físicas, químicas e hidrodinámicas, los lodos floculentos pueden desencadenar, en la biomasa, el proceso de granulación.

Uno de los efluentes potencialmente tratables mediante la tecnología UASB es la vinaza generada por las destilerías de alcohol, cuyas características nutricionales podrían incluso favorecer el proceso de granulación de los lodos.

Como objetivos de este trabajo se propusieron:

- 1) Estudiar diferentes fuentes naturales de lodos anaeróbicos con el fin de determinar sus aptitudes como inóculos para operar un reactor tipo UASB.
- 2) Caracterizar vinazas provenientes de industrias locales y establecer la factibilidad de ser empleadas como sustrato para el proceso de biogranulación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lodos activos

Se visitaron diferentes plantas industriales en la provincia de Tucumán para realizar muestreos en zonas donde se disponen y/ o tratan los residuos líquidos.

### Caracterización de lodos activos

**pH:** se adoptó el método potenciométrico clásico, para lo cual se trabajó con un equipo marca ALTRONIX TPX III. (American Public Health Association, APHA, 2005)

**Conductividad:** se midió empleando un equipo multiparamétrico marca Hach modelo Sension 156, con una sonda de conductividad de cuatro polos y con un termómetro incorporado para corregir la medición con la temperatura. ("American Public Health Association", APHA, 2005)

**Sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles (SST, SSF y SSV):** se realizó según adaptaciones realizadas a la norma francesa NF T90-105-2 (AFNOR, 2002). Un volumen adecuado de lodo se centrifugó a 7000 rpm durante 15 minutos, se descartó el sobrenadante y se resuspendió el pellet con agua destilada. Este procedimiento de lavado se repitió tres veces para eliminar los sólidos solubles. El pellet se secó en estufa a 105°C durante 24 horas y luego se lo calcinó a 550°C durante 2 horas.

**Actividad metanogénica específica (AME):** se empleó el método descripto por Field *et al.* (1988), el cual se fundamenta en medir diariamente el metano que se produce al colocar, en un vial, una cantidad conocida de inóculo medida en términos de SSV, en presencia de ácidos grasos volátiles (AGV), a 35°C y en condiciones nutricionales establecidas. El valor de AME se calculó obteniendo la máxima pendiente de la curva de producción de metano en función del tiempo, incorporada en la ecuación 1:

$$AME = \frac{R \times 24}{FC \times V \times SSV} \left[ \frac{gDQO_{Ch}}{gSSV \times d} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

**R:** Velocidad de producción de metano (ml CH<sub>4</sub>/d).

**V:** Volumen efectivo del vial (litros).

**SSV:** Concentración de lodos en el digestor (gSSV/l).

**24:** Factor de conversión (horas/día).

**FC:** Factor de conversión (ml CH<sub>4</sub>/gDQO).

### Caracterización de vinaza

**Materia orgánica:** se estableció la demanda química de oxígeno (DQO) como medida indirecta de la materia orgánica presente. Se utilizó la técnica descrita

en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, APHA, 2005).

**pH y conductividad:** se determinaron como se describió más arriba.

**Nitrógeno:** se determinó como nitrógeno orgánico total, mediante la técnica semi-micro de Kjeldal, descrita en Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, APHA, 2005).

**Fósforo total:** se determinó mediante kit colorimétrico (est de fósforo 14445, Merck). Se realizó el proceso de disgregación, por tratarse de una muestra compleja, empleando el método de digestión con persulfato (APHA, 2012 – 4500 PB – 5).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de lodos se tomaron de las siguientes fuentes: lechos de reactores anaeróbicos (muestras denominadas Lodo 1 y Lodo 2); lagunas de sacrificio de vinaza (muestras designadas como Laguna 1 y Laguna 2) y de una laguna de sacrificio de residuos cítricos (denominada Laguna 3). El muestreo en las lagunas de sacrificio se realizó en sectores con pH cercano a la neutralidad, donde se observó burbujeo en la superficie, aspecto orientativo de la actividad metanogénica microbiana.

Es importante analizar algunas propiedades fisicoquímicas de los lodos para adecuar el proceso de tratamiento de efluentes en reactores biológicos. Para la caracterización de las muestras obtenidas, se realizaron algunas determinaciones básicas cuyos resultados se exhiben en la Tabla 1.

No se detectaron diferencias marcadas entre los parámetros analizados para la caracterización de los lodos. Se observó que solamente las muestras correspondientes al Lodo 2 y a la Laguna 3 tienen valores de pH levemente superiores al rango óptimo de desarrollo de las bacterias metanogénicas, situado entre 6,6 y 7,4 (de Lemos Chernicharo, 2007). Las conductividades que se detectaron son similares entre sí y aceptables para considerar a estos lodos como inoculantes de reactores biológicos.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de muestras de lodos

Parámetros	Lodo 1	Lodo 2	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3
pH	7,60	8,52	7,90	8,04	8,35
Conductividad [mS/cm]	13,01	12,86	13,89	12,49	14,21
SST [g/l]	108,17	121,09	169,48	121,8	100,63
SSF [g/l]	98,42	98,34	160,34	89,97	81,89
SSV [g/l]	9,75	22,75	9,14	31,83	18,74

Teniendo en cuenta los valores de sólidos, se observó que las muestras obtenidas correspondientes a Lodo 2, como las de las Lagunas 2 y 3, son las que presentaron mayores concentraciones de SSV. Esto nos está indicando que aportarían mayores cantidades de materia orgánica -entre las cuales se encuentran los microorganismos-, como también menores cantidades de sólidos inertes, como sustancias minerales que pueden afectar el funcionamiento de un reactor.

El parámetro de mayor importancia para calificar el inóculo es la actividad metanogénica específica (AME), ya que indica la capacidad del lodo para generar metano a partir de ácidos grasos volátiles (AGV) en condiciones establecidas. En el proceso de biodigestión anaeróbica, los AGV constituyen el sustrato natural de las bacterias metanogénicas. Los lodos obtenidos presentaron diferentes comportamientos cuando se estudió la producción específica de metano por gramo de SSV (Figura 1). Tanto los lodos provenientes de las Lagunas 2 y 3, como el del Lodo 2 son los que presentaron mayor producción de este gas en comparación con los restantes.

En la Tabla 2 se indican los valores de AME obtenidos en cada muestra. Con este ensayo biológico se determina la capacidad que tienen las bacterias metanogénicas presentes en un lodo anaeróbico para metabolizar una cantidad medida de ácidos grasos volátiles (AGV), que es el sustrato de las bacterias metanogénicas en el proceso de biodigestión anaeróbica. Como se explicó antes, de la gráfica de producción de metano en función del tiempo (Figura 1) se extrae la pendiente máxima para cada muestra y se la aplica en la ecuación 1 para calcular el valor de AME.

Tabla 2: Actividad metanogénica específica de los lodos ensayados

Muestra	AME (gDQOCH <sub>4</sub> /gSSV.d)
Lodo 1	0,08 ± 0,02
Lodo 2	0,11 ± 0,01
Laguna 1	0,05 ± 0,013
Laguna 2	0,15 ± 0,01
Laguna 3	0,12 ± 0,002

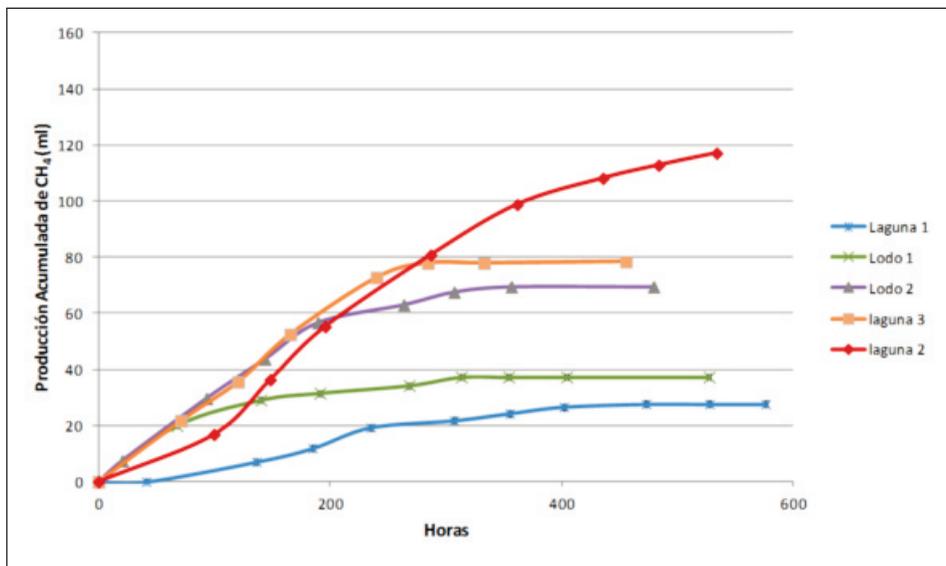


Figura 1: Volumen acumulado de metano de las muestras analizadas.

De acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización de los lodos (Tabla 1 y 2), y teniendo en cuenta la procedencia de estos, se eligió para continuar con los estudios al lodo obtenido de la Laguna 2, principalmente por que presentó valores significativamente mayores de AME y por su mayor proporción de SSV (26,13%) con respecto a los SST. Un aspecto positivo de los lodos provenientes de lagunas de vinaza es que no requieren mayores tiempos de adaptación de los microorganismos al sustrato.

En los lodos analizados en el presente trabajo, a pesar de que presentan un alto porcentaje de sólidos fijos, se observó que el valor de AME obtenido en esta muestra coincide con los descriptos por algunos autores para el arranque de un reactor UASB. Broun *et al.* (2008) utilizaron un lodo inoculante con un AME de 0,08 gDQO CH<sub>4</sub>/gSSV.día, al cual tuvieron que estimular con diferentes cationes (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, entre otros) para mejorar la actividad. Field *et al.* (1988) estudió diferentes tipos de lodos postulando valores de referencia para cada uno, proponiendo valores de entre 0,02 y 0,2 gDQO CH<sub>4</sub>/gSSV.día en lodos apropiados para ser empleados

como inóculos de reactores anaerobios.

Se caracterizaron vinazas obtenidas de diferentes destilerías de ingenios de la provincia de Tucumán para conocer la composición de estas y analizar la factibilidad para su uso como sustrato en un proceso de biodegradación anaeróbica (Tabla 3).

La determinación de las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo de las vinazas es importante a los efectos de conocer sus proporciones relativas, necesarias para una eficiente digestión anaeróbica. Según Francese (1993), una relación DQO:N:P equivalente a 500:7:1 es adecuada para un proceso de digestión anaerobia. En las muestras analizadas se obtuvieron valores de nitrógeno cercanos a los 1800 mg/l, coincidiendo con los publicados por Giron Tejada (2008), al analizar los efluentes provenientes de la producción de alcohol a partir de mieles. Singh *et al.* (1999) reportaron importantes problemas de crecimiento de los microorganismos con concentraciones de nitrógeno menores a 300 mg/l. Las concentraciones de fósforo, situadas entre 0,015 y 0,14 mg/l expresadas como fósforo total, no fueron las esperadas de acuerdo a las reportadas

Tabla 3: Caracterización de vinazas para ser empleadas en el proceso de granulación

Muestra	pH	Conductividad	DQO	Fosforo Total
		[mS/cm]	[mg /l]	[mg/l]
1	5,4	23,7	102123	0,140
2	5,2	25,4	98869	0,100
3	4,9	24,1	95897	0,015
4	5,4	27,0	109085	0,050
5	5,2	28,7	99100	0,055
6	4,8	27,5	89912	0,090

por Cárdenas y Guzman (1982), las que alcanzan valores promedio de 535 mg/l  $P_2O_5$ , equivalente a 154,1 mg/l de fósforo total, o en otras bibliografías consultadas (Gómez, 1988; Nimbalkar, 2005), debiéndose agregar 320 mg de fósforo a cada litro de vinaza para compensar el faltante y llegar a la relación propuesta por Francese (1993). Los valores de fósforo están asociados a la incorporación de este elemento durante el proceso de clarificación y al aporte durante el proceso de fermentación, lo que explicaría la gran dispersión de los valores en este parámetro.

Los demás resultados obtenidos de la caracterización de vinaza concuerdan con datos obtenidos por numerosos autores (López, 1991; Noyola, 1996; Rivas *et al.*, 1997; López Pérez *et al.*, 2001; Báez-Smith, 2006).

### CONCLUSIONES

Los análisis realizados a las muestras de lodos recolectadas permitieron establecer la factibilidad para utilizarlos como biomasa activa en el arranque de un reactor tipo UASB, principalmente por presentar mayores valores de actividad metanogénica específica como también de SSV con respecto a los otros lodos analizados.

Por otra parte se caracterizaron, desde el punto de vista fisicoquímico, diferentes muestras de vinazas, resultando potencialmente aptas para realizar estudios de arranque y estabilización de procesos de biodigestión, ensayos de procesos de granulación y estudios de la degradación propia de este efluente industrial.

Se considera necesario realizar adecuaciones del contenido de fósforo para utilizar las vinazas en un reactor tipo UASB de acuerdo a las sugerencias enunciadas en la bibliografía.

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

**AFNOR. 2002.** Qualité de l'eau. Dosage des matières en suspension – Méthode par centrifugation. Norme Française NF T 90-105-2, janvier 1997. Association Française de Normalisation, Saint-Denis La Plain, pp. 1-5.

**APHA-AWWA-WPCF. 2005.** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 19th edition. American Public Health Association. Washington, D.C.

**Baez-Smith, C. 2006.** Anaerobic Digestion of Vínasse for the Production of Methane in the Sugar Cane Distillery, SPRI Conference on Sugar Processing, pp. 268-287.

**Broun A.T.; M. F. Boizán y D. Z. Almeida. 2008.** Consideraciones generales para el desarrollo de una estrategia de granulación en reactores UASB. Tecnología química 28 (1): 70-79.

**Cárdenas, G. J. y B. Guzmán. 1982.** Estudio de composición química y parámetros sanitarios en

vinazas de fermentación alcohólica de melazas de caña de azúcar en Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 59 (1): 71-92.

**Chávez, C. P.; R. L. Castillo; L. Dendooven and E. M. Escamilla-Silva. 2005.** Poultry Slaughter Wastewater Treatment with an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor. Bioresource Technology 96: 1730–1736.

**De Lemos Chernicharo, C. A. 2007.** Fundamentos de digestão anaeróbia. En: Reactores Anaeróbicos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Ed: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) 5, pp. 31-97.

**Field, J.; R. Sierra Alvarez y G. Lettinga. 1988.** Ensayos anaeróbicos. 4º Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales. Ed. F.Fdz Polanco, P.A García, S. Hernando Universidad de Valladolid, Valladolid, España, pp. 52-80.

**Francese, A. 1993.** Puesta en marcha de reactores anaeróbicos de manto de barro y flujo ascendente (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket – UASB reactor). Resumen Tesis Doctoral. Universidad Nacional de San Luis. San Luis. Argentina, pp.13.

**Giron Tejada, M.A. 2008.** Evaluación de la posible contaminación del suelo y agua subterránea con elementos pesados por el uso de vinazas en el cultivo de la caña de azúcar. Universidad Politécnica de Cataluña España.

**Gómez, C. A. 1988.** El uso del agua y la generación de efluentes en la producción de azúcar y alcohol para combustibles. Primera Jornada Internacional sobre Energía y Ambiente Córdoba, Argentina.

**López, H. 1991.** Treatment of Alcohol Distillery Effluent Using Sugar Cane Pith. Inter. Sugar J.: 155-158.

**López Pérez, L.; S. O. Pérez-Báez y P. Susial. 2001.** Estudio y Análisis Económico en el Tratamiento de Vinazas. Tecnología del Agua. 208, pp 48-56.

**Mittal, A. 2011.** Biological Wastewater Treatment. Water Today: 32-44.

**Nimbalkar, D. 2005.** Vasantdada Sugar Institute , Pune, India.

**Noyola, A. 1996.** Tratamiento de aguas residuales de destilería. IV Seminario Taller Latinoamericano sobre Tratamiento de Aguas Residuales. 19-22 Nov., Bucaramanga, Colombia.

**Rivas, H.; F. Bautista y C. Durán de Bazúa. 1997.** Estudio del Efecto de las Aguas Residuales de Destilería sobre Suelos de tipo Vertisol y Acrisol. Tercer seminario Internacional de Efluentes Industriales y Residuos. Ciudad de México.

**Singh, R. P.; S. Kumar y C. S. P. Ojha. 1999.** Nutrient requirement for UASB process: a review. Biochem. Eng. J. (3): 35–54.