



TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZA DE DESTILERÍA: FACTIBILIDAD Y POTENCIAL DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

Iván López (*)

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

Mauricio Passeggi

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

Liliana Borzacconi

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

FOTOGRAFIA
del
AUTOR
PRINCIPAL
del
TRABAJO

(*): J.Herrera y Reissig 565 – Montevidio, Uruguay – CP 11300 Tel (598) 27114478 e-mail: ivanl@fing.edu.uy

RESUMEN

Se presenta una estimación de las posibilidades de tratamiento anaerobio de la vinaza generada en la destilería de ALUR en Bella Unión. En función de las características de la vinaza se realiza la estimación del volumen de reactor necesario y de la transformación de la materia orgánica en biogás. Por tratarse de un residual muy concentrado el potencial de recuperación de energía a través de biogás es muy alto y podría generar energía eléctrica y térmica en valores con órdenes de magnitud comparables con la generación actual de la planta.

Palabras Clave (en negritas): vinaza, destilería, anaerobio, energía.

INTRODUCCION

En Uruguay se está dando un fuerte impulso al desarrollo de fuentes alternativas de energía que puedan modificar la matriz energética nacional hacia las energías renovables y hacia la mayor autonomía del país. El proyecto sucroalcoholero de ALUR se enmarca en esta perspectiva, además de constituirse en un importante motor para la reactivación económica y social de la zona de Bella Unión. La producción de alcohol carburante genera como desecho un líquido altamente contaminante llamado vinaza que, por un lado puede generar un impacto ambiental muy importante, y por otro constituye un valioso recurso para la obtención de biogás mediante procesos anaerobios.

Tabla 1 Valores medios típicos de vinaza de distintos orígenes

Parámetro	Melaza de caña	Jugo de caña	Melaza de remolacha	Otros celulósicos
DBO ₅ (g/L)	39	17	45	28
DQO (g/L)	85	30	91	61
NTK (g/L)	1.2	0.6	3.6	2.8
P total (mg/L)	190	130	160	30
K (g/L)	5.1	2.0	10.0	0.04
SO ₄ (g/L)	3.5	1.47	3.7	0.7
pH	4.46	4.04	5.35	5.35

Adaptado a partir de Wilkie et al 2000. Biomass & Bioenergy, 19, p 63

La composición y la concentración de la vinaza dependen de la materia prima y del proceso mediante el cual se extraen los azúcares, se fermenta y finalmente se destila el producto. Un mínimo resumen de los datos presentados por Wilkie *et al.* (2000) se presenta en la Tabla 1.

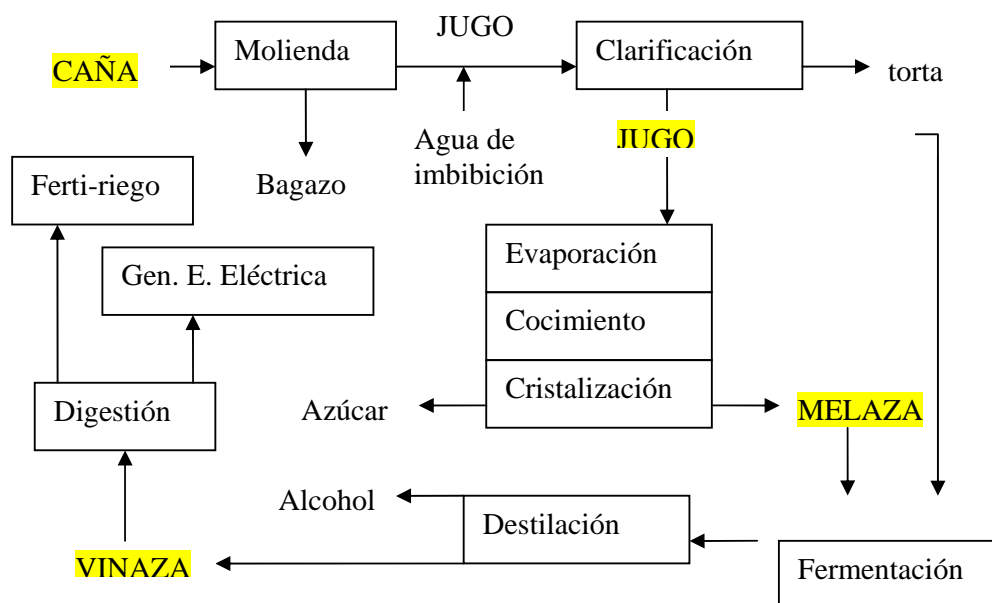
Existe abundante literatura sobre estudios particulares pero que responden a gran variedad de situaciones tanto respecto al origen y características de la vinaza como a las opciones de tratamiento. Por su alta concentración de materia orgánica la vinaza se presenta con gran potencialidad para ser tratada en un proceso anaerobio, apuntando a una minimización de los costos de inversión y de operación, así como al aprovechamiento energético mediante la producción de biogás. Varios autores han estudiado el comportamiento de la vinaza en reactores anaerobios (Driessen *et al.*, 1994; Harada *et al.*, 1996; Shivayogimath y Ramanujam, 1999; Goodwin *et al.*, 2001; Wolmarans y de Villiers, 2002; Hashemian *et al.*, 2005; Akarsubasi *et al.*, 2006; Chamy *et al.*, 2007; Satyawali y Balakrishnan, 2008; Acharya *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2008; Mijaylova *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Kaparaju *et al.*, 2010).

DESCRIPCIÓN DEL CASO

Datos de ALUR y proyección de la planta

La planta de ALUR en Bella Unión fue diseñada para una producción de 18.000 m³/año de bioetanol, producido a partir de la caña de azúcar cultivada en alrededor de 10000 hectáreas de la zona. Además de bioetanol se produce también azúcar comestible. La caña de azúcar pasa por un primer proceso de molienda donde se separa el jugo azucarado y el bagazo (material lignocelulósico que se utiliza como combustible para la caldera). Si el jugo clarificado se utiliza para la fabricación de azúcar, se genera un residuo con alto contenido de azúcares denominado melaza. Tanto el jugo en forma directa como la melaza pueden fermentarse para producir el alcohol. Para separar el alcohol del fermentado se recurre a una torre de destilación que separa el etanol por la parte superior pero genera un residuo líquido por la parte inferior denominado vinaza. En general la tasa de generación de vinaza es del entorno de los 13 m³/m³ de bioetanol. La operación de la planta es zafra, en general entre los meses de mayo y noviembre. Eventualmente la zafra podría extenderse en caso de procesar sorgo dulce. A diferencia de lo que ocurre en otras regiones el riego de la vinaza debe hacerse a contrazafra, en los meses de verano, por lo que es necesario acumular toda la vinaza en grandes lagunas. Se estima entonces una generación de vinaza de 1560 m³/día durante 150 días (234.000 m³/zafra).

Diagrama de flujo de la generación de vinaza



Opciones de manejo

Teniendo en cuenta el carácter zafra de la producción y que el aprovechamiento en el riego del efluente debe realizarse a contrazafra, pueden plantearse dos opciones principales:

- A) Tratar el efluente generado durante la zafra en forma inmediata y posteriormente acumular el efluente ya tratado en las lagunas para el fertirriego. Esta opción implica que los reactores estarán funcionando solamente durante la zafra y habrá que rearmarlos todos los años. También se pierde continuidad en la generación de biogás. Tiene la ventaja de que no es necesario un almacenamiento intermedio de la vinaza y que disminuirían los problemas asociados, especialmente olores generados en las lagunas de almacenamiento. Por otra parte el volumen del reactor va a ser mayor que en la opción B, con lo que los costos de inversión en esta opción serían mayores.
- B) Hacer funcionar durante todo el año los reactores. Esto implica que durante la zafra se trataría en forma inmediata solo una fracción del efluente y el resto se enviaría a alguna pileta de almacenamiento temporario para alimentar desde ella a los reactores una vez terminada la zafra. Esta opción tiene la ventaja de la continuidad de operación de los reactores y la producción de biogás. No obstante implica una operativa un tanto más complicada y eventualmente modificaciones o nuevos tendidos en las conducciones que conectan la planta con las lagunas de almacenamiento. Al almacenar parte del efluente crudo en dichas lagunas no desaparecerían totalmente los problemas asociados de olores y la propia actividad biológica en las lagunas implicaría perder parte del sustrato a degradar en los reactores y emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera. Por otra parte el volumen de reactor sería menor que en la opción A, con lo cual los costos de inversión asociados al reactor disminuyen.

Ensayos de evaluación de tratabilidad

Se realizaron ensayos a escala de banco utilizando reactores de tipo UASB (Up flow Anaerobic Sludge Bed, Figura 1) y EGSB (Expanded Granular Sludge Bed, Figura 2) para evaluar la carga de trabajo y eventuales problemas de inhibición.



Figura 2 Reactores UASB en escala de banco.



Figura 1 Reactor EGSB en escala de banco.

En función de los resultados obtenidos se construyó un reactor piloto a escala real de 100 m^3 , que se instaló en la propia refinería de Bella Unión (Figura 3) a los efectos de evaluar en condiciones reales el proceso.



Figura 3 Reactor piloto de 100 m^3 .

Volumen de reactores estimados

Asumiendo una concentración de 40 g/L de DQO en la vinaza y un volumen diario de 1560 m³, la carga orgánica generada será de 62400kg de DQO por día.

El volumen total de los reactores dependerá de la carga con que puedan operar. De acuerdo al estado de desarrollo de la digestión anaerobia de efluentes concentrados, podría ser razonable tratar cargas próximas a los 15 kg de DQO por metro cúbico de reactor y por día. Esta carga implicaría un volumen total de los reactores de 4200 m³, si la vinaza se tratara durante los 150 días de zafra (opción A) y de 1500 m³, si la vinaza se almacenara y se tratara a lo largo de todo el año, en 350 días (opción B). En esta última opción cabe suponer que va a ocurrir cierta degradación de la materia orgánica en las lagunas de almacenamiento, por lo que la materia orgánica a tratar en el reactor será algo menor (para la estimación se ha supuesto una degradación del 20% de la DQO en las lagunas).

Generación de Energía

Bajo la hipótesis de una eficiencia de remoción de materia orgánica del 80% y una metanización del 80% (valores razonables para esta tecnología), se producirían 14000 m³ de metano por día en la opción A y 4800 m³ por día en la opción B. El metano generado tiene entonces un contenido energético de 73 TJ y de 55 TJ al año para las opciones A y B respectivamente. Este potencial energético puede ser utilizado de distintas maneras en función de las instalaciones que se disponga para su uso. Por ejemplo podría ser quemado directamente en el sistema de cogeneración.

No obstante teniendo en cuenta que el proyecto original no preveía el uso de biogás se pueden buscar alternativas que no impliquen modificaciones importantes a las instalaciones existentes y a la operativa actual. En tal sentido la opción de generar energía eléctrica con motogeneradores puede implementarse en forma adicional a lo que se tiene actualmente. Los equipos de generación de energía eléctrica a partir de biogás operan con una eficiencia en el entorno del 35%. Mediante esta tecnología se podría contar con una potencia de unos 1.93 MW durante la zafra en la opción A o de unos 0.66 MW durante todo el año en la opción B. Aún en esta opción de generación eléctrica independiente la energía calórica de los humos y de la refrigeración de los motores puede usarse para variados usos, Parte de esta energía se utiliza normalmente para mantener la temperatura de los reactores.

Observemos que el contenido energético del biogás no es despreciable si lo comparamos por ejemplo con el bioetanol producido. Los 18.000 m³ de etanol al año (PCI 21.1 MJ/L) tienen un contenido energético de 380 TJ, por lo que el biogás del tratamiento de la vinaza representaría casi un 20% de la energía del bioetanol.

Por otra parte, actualmente el bagazo de la caña se quema en para alimentar un turbogenerador de 12 MW, 4 de los cuales se consumen en el proceso industrial, y 8 pueden ser vendidos al mercado eléctrico. Si se utilizara el biogás para generar electricidad en un motogenerador se podría incrementar casi en un 25% la venta de electricidad.

Retornos

Dejando de lado las necesidades de tratamiento para minimizar los impactos ambientales del vertido la alternativa planteada (tratamiento anaerobio y posterior fertirriego) permite determinados retornos, básicamente por los siguientes dos aspectos:

Ahorro de fertilizantes:

Este se lograría en virtud del aporte de potasio, nitrógeno, fósforo y micronutrientes que se haría con el líquido resultante del tratamiento de la vinaza. El tratamiento anaerobio no genera modificaciones importantes en el contenido de nutrientes, pero al haber reducido la materia carbonosa el líquido a regar es mucho más inocuo.

Generación de Energía Eléctrica:

Esta generación podría generar un ahorro, por reducción en el consumo de energía eléctrica en el caso de consumir la energía generada, o ingresos por la venta de la energía a la UTE. A un precio de, por

ejemplo, U\$S 0.09 el kWh se tendría un ingreso anual de unos U\$S 620.000 en la opción A y de unos U\$S 500.000 en la opción B.

CONCLUSIONES

La producción de bioetanol genera un efluente altamente concentrado denominado vinaza que es necesario tratar para reducir los impactos en el ambiente, aún en la opción de que se utilice el fertirriego para recuperar nutrientes. La opción del tratamiento anaerobio en sistemas de alta tasa es particularmente atractiva en este caso debido a la alta concentración de materia orgánica (30 a 50 gDQO/L). Para el tratamiento se requiere un volumen de reactor de unos 4200 m³ si se trata solamente durante la zafra o de unos 1500 m³ si se realiza en forma continuada durante todo el año, con un almacenamiento intermedio. Adicionalmente se recupera el potencial energético de la vinaza, nada despreciable comparada con la producción de bioetanol o la generación de energía eléctrica que se vierte a la red. El potencial energético del biogás es aproximadamente un 20% del de el bioetanol y se podría aumentar en un 25% la venta de electricidad. En otro orden se mantiene la recuperación de nutrientes que, pueden devolverse al suelo mediante el riego, sin los perjuicios derivados de la alta concentración de materia orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acharya, B.K., Mohana, S., Madamwar, D. (2008) Anaerobic treatment of distillery spent wash – A study on upflow anaerobic fixed film bioreactor, *Bioresource Technology*, **99**, p.4621-4626.
- Akarsubasi, A.T., Ince, O., Oz, N.A., Kirdar, B., Ince, B.K. (2006) Evaluation of performance, acetoclastic methanogenic activity and archaeal composition of full-scale UASB reactors treating alcohol distillery wastewaters, *Process Biochemistry*, **41**, p.28-35.
- Chamy, R., Pizarro, C., Vivanco, E., Schiappacasse, M.C., Jeison, D., Poirrer, P, Ruiz-Filippi, G. (2007) Selected experiences in Chile for the application of UASB technology for vinasse treatment, *Water Science and Technology*, **56** (2), p. 39-48.
- Driessen, W.J.B.M., Tielbaard, M.H., Vereijken, T.L.F.M. (1994) Experience on anaerobic treatment of distillery effluent with the UASB process, *Wat. Sci. Tech.*, **30** (12), p-193-201.
- Fernández, N., Montalvo, S., Borja, R., Guerrero, L., Sánchez, E., Cortés, I., Colmenarejo, M.F., Travieso, L., Raposo, F. (2008) Performance evaluation of an anaerobic fluidized bed reactor with natural zeolite as support material when treating high-strength distillery wastewater, *Renewable Energy*, **33**, p. 2458-2466.
- Goodwin, J.A.S., Finlayson, J.M., Low, E.W. (2001) A further study of the anaerobic biotreatment of malt whisky distillery pot ale using an UASB system, *Bioresource Technology*, **78**, p. 155-160.
- Harada, H., Uemura, S., Chen, A.C., Jayadevan, J. (1996) Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor, *Bioresource Technology*, **55**, p. 215-221.
- Hashemian, S.J., Torkian, A., Hakimjavadi, M., Azimi, E. (2005) Anaerobic degradation of molasses stillage in a pilot UASB reactor, *Scientia Iranica*, **12** (3), p.255-261.
- Kaparaju, P., Serrano, M., Angelidaki, I. (2010) Optimization of biogas production from wheat straw stillage in UASB reactor, *Applied Energy*, **87**, p.3779-3783.
- Mijaylova, P., Moeller, G., Matías, J., Canul, A. (2009) Treatment of cane sugar industry wastewater in an upflow anaerobic sludge bed reactor, *Wat. Sci. Tech.*, **60** (5), p.1347-1352.
- Satyawali, Y., Balakrishnan, M. (2008) Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review, *J. of Environmental Management*, **86**, p. 481-497.
- Shivayogimath, C.B., Ramanujan, T.K. (1999) Treatment of distillery spentwash by hybrid UASB reactor, *Bioprocess Engineering*, **21**, p. 255-259.
- Wolmarans, B., de Villiers, G.H. (2002) Start-up of a UASB effluent treatment plant on distillery wastewater, *Water SA*, **28** (1), p. 63-68.
- Zhang, B., Zhao, H., Zhou, S., Shi, C. Wang, C., Ni, J. (2009) A novel UASB–MFC–BAF integrated system for high strength molasses wastewater treatment and bioelectricity generation, *Bioresource Technology*, **100**, p. 5687-5693.
- Wilkie, A.C., Riedesel, K.J., Owens, J.M. (2000) Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks, *Biomass and Bioenergy*, **19**, p. 63-102.