

EVALUACION DE LA DISMINUCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LA VINAZA DE DESTILERÍA POR TRATAMIENTO ANAEROBIO

Rosa Catalina BERMÚDEZ-SAVÓN, Juan Alberto HOYOS-HERNÁNDEZ y Suyén RODRÍGUEZ-PÉREZ

Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, Patricio Lumumba s/n, Santiago de Cuba 90500, Cuba.

(Recibido septiembre 1997, aceptado mayo 2000)

Palabras claves: vinaza, fermentación, biodegradación, contaminación

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la biodegradación, por vía anaerobia, de uno de los principales contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba: la vinaza de la destilería "Hatuey" de esta ciudad. Las pruebas de biodegradabilidad fueron hechas en biorreactores discontinuos (batch) de 1 litro de capacidad, midiéndose la producción de metano por un método de desplazamiento líquido y la remoción de DQO. Se estudia la influencia que tienen sobre el proceso de digestión, factores como la neutralización del sustrato con sosa cáustica y cal viva y la adición de nutrimentos nitrogenados y fosfatados. Los resultados muestran una buena biodegradabilidad de este residual, empleando como neutralizantes ambos agentes, y una baja influencia en el proceso por la adición de nutrientes al medio de digestión.

Key words: vinasses, fermentation, biodegradation, pollution

ABSTRACT

This research deals with the biodegradation of one of the main pollutants of Santiago de Cuba bay: the wastewaters from "Hatuey" distillery. The tests were performed in batch anaerobic digesters at laboratory scale and the measurement of methane production was done by liquid displacement. The influences of sodium hydroxide and lime as neutralizers, and the addition of fertilizers as urea and simple superphosphate were studied. The results show a good degradability using both neutralizers and the fertilizers had a low influence in fermentation.

INTRODUCCIÓN

Las características de las vinazas obtenidas como efluentes de la producción de alcohol a partir de la fermentación de las mieles finales de la caña de azúcar, en las destilerías de nuestro país, varían muy poco, independientemente del tratamiento de las mieles finales, del sistema de fermentación o de la recuperación o no de las levaduras (Valdés *et al.* 1986).

La vinaza es un líquido con partículas en suspensión, de color marrón, olor característico a mieles finales y sabor a

malta. Debido a algunas de sus características como pH bajo, materias en suspensión, elevada DQO, se considera un residuo líquido muy agresivo que provoca serios problemas ambientales en los recursos hídricos en los que se descarga. Para su tratamiento se han ensayado métodos físico-químicos, químicos y biológicos; siendo estos últimos los más apropiados por la gran cantidad de compuestos orgánicos biodegradables que presentan en su composición (Sheehan y Greenfield 1980).

Como resultado de la dificultad de tratar vinazas y debido a la presencia de numerosos compuestos aún de interés,

se han propuesto diferentes alternativas de tratamiento o de reutilización: reciclaje de volúmenes del efluente (Cedeño 1995), ferti-riego (Montalvo 1983), combustión y aprovechamiento como alimento animal (Bermúdez 1994), entre otros. Sin embargo, por su elevados valores de carga orgánica, por los volúmenes que se generan y muchas veces por no contar con suficiente espacio disponible, resulta viable la aplicación de la digestión anaerobia con la construcción de reactores de tasa alta, principalmente UASB ("upflow anaerobic sludge blanket").

La digestión anaerobia es altamente aplicable para el tratamiento de vinazas, básicamente debido a las concentraciones en DQO y DBO. Las ventajas conocidas del tratamiento anaerobio se incrementan cuando la DQO en el agua residual aumenta. Así es que su aplicación en vinazas está particularmente bien justificada. Además, la biomasa anaerobia puede dejarse sin alimentar por semanas y hasta meses, sin perder actividad metabólica, lo que significa ventaja única e interesante en el caso de las industrias estacionales, como son la mayoría de las destilerías. Debido a lo anteriormente expuesto, la digestión anaerobia se ha consolidado como una de las opciones más utilizadas para el tratamiento de las vinazas.

En nuestro Centro se estudia la digestión anaerobia de este residuo líquido, con el objeto de disminuir la contaminación que causa su disposición final en la bahía de Santiago de Cuba y producir biogas, que puede ser utilizado como fuente de energía (Brock *et al.* 1994). Para que se lleve a cabo este proceso de forma eficiente se deben estudiar parámetros como: calidad del inóculo, presencia de compuestos tóxicos o recalcitrantes, comportamiento de los parámetros de estabilidad del proceso y suplementación de nutrientes en los casos en que los requiera (Ilangoan y Noyola 1993, Valdés *et al.* 1998).

Como parte de la búsqueda de las condiciones óptimas de digestión, en este trabajo se estudia el efecto de la utilización de sosa cáustica y cal viva como neutralizantes de la vinaza; así como, la complementación con nutrimentos nitrogenados y fosfatados (urea y superfosfato simple).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

En el trabajo experimental se abordan dos aspectos: el pre-tratamiento y la biodegradación anaerobia posterior de la vinaza. En el pre-tratamiento se estudian dos factores fundamentales: el ajuste del pH con el neutralizante escogido (sosa cáustica o cal) y la complementación con urea y superfosfato simple. Se concibieron seis variantes experimentales, como se observa en la **tabla I**.

Metodología

Para la adición del neutralizante, se toma un volumen

TABLA I. VARIANTES EXPERIMENTALES EN EL ESTUDIO DEL PRE-TRATAMIENTO

Agentes neutralizantes	Con nutrimentos	Sin nutrimentos
sosa cáustica	variante 1	variante 2
cal viva	variante 3	variante 4
sin neutralizar	variante 5	variante 6

determinado de vinaza (a la que se le ha medio previamente el pH) y se añade aquel bajo agitación y poco a poco hasta llegar a pH 7. Se anotan los volúmenes consumidos en la neutralización. En la neutralización con cal, se recomienda mantener en agitación durante 2 horas para lograr una completa disolución.

Para la adición del nutrimento se tuvieron en cuenta las relaciones óptimas reportadas para el proceso de digestión, según Ward (1991) y los cálculos se realizaron manteniendo la relación DQO:N:P ensayadas en otros trabajos con vinaza (Bermúdez 1991). Para ello se pesaron 2.59 g de superfosfato simple y 5.48 g de urea, que se adicionaron a 1L de vinaza y mantuvieron en agitación durante 15 minutos.

En el montaje de los biorreactores se inocularon 150 g de un lodo proveniente de estiércol vacuno que presentaba cierta adaptación al residuo líquido y 100 mL de vinaza pre-tratada. Se completa a un volumen de 1L con agua. Los biorreactores fueron mantenidos en un baño termostático para lograr el control de la temperatura a 30 °C durante todo el desarrollo de la experiencia.

Control del proceso de digestión

Como variables de control se midieron la producción diaria de metano y la remoción de la DQO. La medición de metano se hizo a través de un método de desplazamiento líquido, precedido de un lavado del biogas producido, a través de una solución de sosa (NaOH 1N). La determinación de la DQO se realizó por oxidación con reflujo cerrado según Standard Methods (APHA 1995).

A partir de los datos obtenidos se calculó la velocidad de producción de metano y el % de remoción del proceso. La remoción se calculó según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{DQO}_i - \text{DQO}_f}{\text{DQO}_i} * 100$$

donde:

DQO_i : Demanda química de oxígeno inicial

DQO_f : Demanda química de oxígeno final

Los resultados obtenidos en la producción de metano se sometieron a un análisis estadístico de varianza de clasificación simple y una prueba de Duncan, empleando para ello el MICROSTAT™.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la caracterización de la vinaza mostrada en la **tabla II**, se corrobora que este residuo líquido resulta agresivo por los elevados valores de carga orgánica que contiene (DQO) y su pH tan ácido. Sin embargo, debido a su relación DBO/DQO (0.29-0.65) se puede inferir que este residuo es fácilmente degradable por métodos biológicos y en especial, por un proceso anaerobio.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LA VINAZA DE LA DESTILERIA “HATUEY”

Parámetros	Valores		
pH	4.2	-	4.6
Humedad	92	-	95 %
Densidad			1.0263 g/mL
DQO	45000	-	73600 mg/L
DBO	13000	-	48200 mg/L
Sólidos totales	38600	-	80900 mg/mL
Sólidos volátiles	29144	-	60000 mg/L
Cenizas	1.32	-	5.68 %
Calcio			106 mg/L
Magnesio	480	-	500 mg/L
Proteínas	11.6	-	16 %
Fósforo			41 mg/L
Cloruro			810 mg/L
Nitrógeno total (base seca)	1	-	2 %

El fósforo presente en el residuo resulta bajo, por lo que la adición de este nutrimento puede ser favorable para el desarrollo de la digestión anaerobia. El fósforo constituye uno de los elementos fundamentales para el desarrollo de procesos metabólicos esenciales como el crecimiento, la división celular, la síntesis de energía y de componentes de la membrana. Los valores de calcio y de magnesio presentes en la vinaza (**Tabla II**) están por debajo de los valores reportados como inhibidores que son: 2500 a 4500 mg/L para Ca y 1000 a 1500 mg/L para Mg (Ilangovan y Noyola 1993).

En la **figura 1** se muestran los resultados de la medición de metano producido en un período de tiempo de 21 días. Como puede apreciarse hay una mayor producción de metano en los tratamientos del 1 al 4 que fueron neutralizados, lográndose mejor ambiente para el crecimiento de bacterias metanogénicas que resultan sensibles a los valores de pH. La digestión anaerobia se lleva a cabo, de forma eficiente, en un rango estrecho de pH que comprende valores entre 6.8 y 7.8, pudiéndose desarrollar a valores por encima o por debajo de esto, pero con dificultad, por lo que se requiere de una previa neutralización de aquellos efluentes cuyos pH se encuentran alejados de la neutralidad y que serían tratados por vía anaerobia.

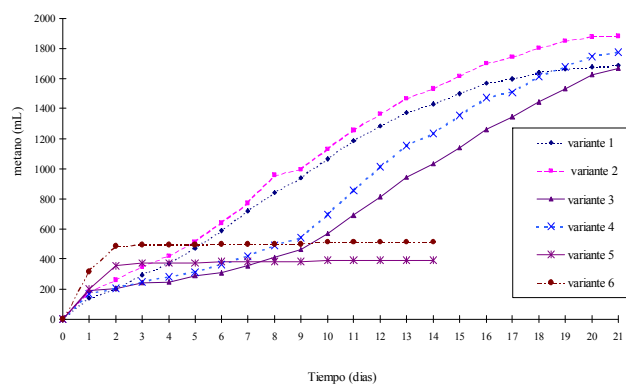


Fig. 1. Producción acumulada de metano para las distintas variantes

Las diferencias obtenidas en la producción de metano, entre estas cuatro variantes, no resultan significativas según el análisis estadístico realizado y mostrado en la **tabla III**. Esto permite inferir que la adición de nutrimentos tiene una escasa influencia en el incremento de este proceso, lo que puede deberse a que las concentraciones de estos compuestos en la vinaza pueden ser suficientes para suplementar las necesidades propias de la microflora que se desarrolla. Hay que recordar que estas vinazas provienen de melazas, las cuales se reportan como un subproducto rico en micronutrientes.

TABLA III. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DUNCAN PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

VARIANTE	Diferencia	LSR	Significación
1 y 2	243.0	701.16	ns
1 y 3	13.0	701.16	ns
1 y 4	115.5	727.50	ns
1 y 5	1108.0	727.50	*
2 y 3	256.0	727.50	ns
2 y 4	358.5	739.66	ns
2 y 5	865.0	701.16	*
3 y 4	102.5	701.16	ns
3 y 5	1121.0	739.66	*
4 y 5	1223.5	745.74	*
5 y 6	2.5	701.16	ns

LSR, regresión lineal simple

ns, no significativo

*significativo

Aunque el análisis estadístico permite considerar que tanto la sosa cáustica, como la cal viva pueden ser empleadas como agentes neutralizantes, al evaluar las velocidades de producción obtenidas (**Fig. 2**), los tratamientos neutralizados con sosa cáustica (variantes 1 y 2) mantuvieron mayor velocidad de producción de metano. Esto

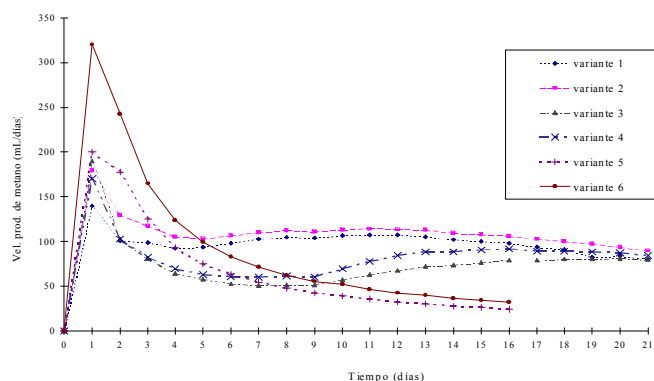


Fig. 2. Velocidades de producción de metano durante la experimentación para las diferentes variantes

se puede atribuir a que a este valor de pH ensayado y con la interacción de la vinaza, que presenta numerosas sales en su composición, se forman sales de calcio poco solubles que pueden resultar inhibitorias del proceso (Koster 1987) o no lograr una adecuada capacidad amortiguadora del medio de ensayo.

A partir de los volúmenes diarios de metano producido, se calcularon las velocidades de producción de metano expresados en mL/días (**Fig. 2**). Los incrementos iniciales de las velocidades de producción de metano en todas las experiencias se logran porque se parte de vinazas que están neutralizadas, pero a medida que avanza el proceso la producción decrece. Como producto de la fermentación de los compuestos simples o fácilmente acidificables, que se presentan en cantidades apreciables en la vinaza, se generan ácidos grasos volátiles durante la fase de acidogénesis que provocan el agotamiento de la capacidad amortiguadora presente, provocando desbalances en los valores de pH y equilibrio de producción/consumo de iones H^+ , cuyos efectos redundan en la producción de metano por las bacterias metanogénicas. Sin embargo, se logran valores sostenidos mayores de estas velocidades, para el caso de los tratamientos neutralizados con sosa, durante toda la experiencia después del cuarto día.

No obstante, se debe hacer una valoración desde el punto de vista económico del empleo de uno u otro neutralizante, a la hora de su valoración para procesos a mayor escala; puesto que aunque se emplearon menores cantidades de sosa cáustica que de cal (4.98 g y 10 g, respectivamente), los valores en el mercado de ambos agentes pueden favorecer el empleo de esta última.

En la **tabla IV** se muestran los resultados de las determinaciones de DQO (al inicio y al final), las eficiencias de remoción obtenidas y los valores de pH finales de los diferentes biorreactores, para los tratamientos que fueron neutralizados y que reportaron mayor producción de metano. Como se observa, en todos los casos se lo-

TABLA IV. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS CON NEUTRALIZACIÓN

Variante	DQO _i (mg/L)	DQO _f (mg/L)	pH de salida	Remoción DQO (%)
1	59500	25585	7.6	57
2	59500	25290	7.7	57.5
3	59500	28560	7.5	52
4	59500	27965	7.5	53

gran remociones de la DQO por encima de 50 % y los mayores valores en los tratamientos neutralizados con sosa; lo que confirma lo anteriormente planteado. Se han reportado en otros trabajos mayores eficiencias, pero con el empleo de sistemas continuos o con previas diluciones de la vinaza a tratar (Driessen *et al.* 1994, Noyola 1996).

Los valores de pH se mantuvieron apropiados para el desarrollo de la metanogénesis y por ello no se requirieron de nuevas neutralizaciones.

CONCLUSIONES

La neutralización de la vinaza previa al tratamiento anaerobio, favorece el proceso de digestión; lográndose mantener los valores de pH en rangos óptimos, durante toda la experiencia.

La adición de los nutrimentos ensayados, bajo estas condiciones, no tuvo ninguna incidencia en la digestión anaerobia.

El tratamiento anaerobio es capaz de reducir a más de la mitad la carga orgánica contaminante.

REFERENCIAS

- APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19 ed. Washington D.C.
- Bermúdez R.C. (1991). Aprovechamiento de la vinaza de destilería en la alimentación. X Foro de Ciencia y Técnica, Cuba.
- Bermúdez R.C. (1994). Una variante alternativa para la alimentación animal: vinaza de destilería. Rev. Cubana de Veterinaria 4.
- Brock T. D. (1994). *Biology of Microorganisms*, Prentice-Hall Nueva Jersey.
- Cedeño C. M. (1995). Tequila Production. Crit. Rev. Biotechnol. 15, 1-11.
- Driessen W., Tielbarrd M. y Vereijken T. (1994). Experience on anaerobic treatment of distillery effluent with the UASB process. Oral Papers Preprints, VII International Symposium on Anaerobic Digestion, 23-27 January, Cape Town R.S.A. pp. 253-262.
- Ilangovan K. y Noyola A. (1993). Availability of micronutrients

- during anaerobic digestion of molasses stillage using an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Environ. Technol. *14*, 795-799.
- Koster I.W. (1987). Abatement of long-chains fatty acids inhibition of methanogenesis by calcium addition. Biol. Wastes *22*.
- Montalvo S. (1983). Utilización de los residuales líquidos como biofertilizantes. Conferencias impartidas en el CNIC, Ciudad Habana, Cuba.
- Noyola A. (1996). Tratamiento de aguas residuales de destilería. IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre Tratamiento de Aguas Residuales. 19-22 Nov., Bucaramanga, Colombia.
- Sheehan G. y Greenfield P. (1980). Utilisation, treatment and disposal of distillery wastewater. Wat. Res. *14*, 257-277.
- Valdés M.E., Ramos J. y Obaya M. (1986). Estudio del tratamiento anaerobio de los residuales de la industria alcoholera. Rev. ICIDCA, *20*, 12.
- Valdés M.E., Ramos J. y Obaya M. (1992). Definición de parámetros para el tratamiento de vinazas de destilería. Rev. ICIDCA *26*, 23-27.
- Valdés W., Rodríguez S., Pérez R. y Bermúdez C. (1998). Choice of an appropriate inoculum to anaerobic digestion of vinasse. En: V Taller y Seminario Latinoamericano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Valparaíso, Chile.
- Ward O.P. (1991). *Biotechnología de la fermentación*. Acribia, Zaragoza, España.