

## TRATAMIENTO POR FERMENTACION ANAEROBIA DE LAS VINAZAS PRODUCIDAS EN LA FABRICACION DE ALCOHOL

A.M., Belalcázar de Galvis<sup>\*</sup>; Hurtado, O.; Tofiño, C.; Plazas, S.; Pérez, M.; Ramos, F.; Monroy, A.; Rodríguez, J.

<sup>\*</sup> Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, A.A 14490, Santafé de Bogotá, Colombia.

**Keywords:** Anaerobic treatment, Distillery wastewater, Vinasse, Anaerobic Filters.

### RESUMEN

Con el fin de disminuir su carga contaminante, las vinazas se sometieron a tratamiento en cuatro reactores tipo filtro anaerobio de flujo ascendente, los cuales se evaluaron bajo diferentes condiciones de tiempo de retención hidráulico TRH y de carga orgánica. Para una Demanda Química de Oxígeno DQO, afluente de 5000 a 30000 mg/l y TRH de 3.0 días o más, se obtuvieron eficiencias de remoción superiores a 90% en términos de DQO. Para una DQO afluente constante de 20000 mg/l y TRH de 1.3 días, se alcanzaron eficiencias entre 75-80%.

### ABSTRACT

In order to reduce the pollutional levels from vinasse, it was treated in a four up flow anaerobic filter reactors which were evaluated at different hydraulic retention time HRT and organic loading. When influent chemical oxygen demand COD, was 5000 to 30000 mg/l and HRT was at least 3.0 days, removal efficiencies were over 90% in terms of COD. For a constant COD of 20000 mg/l and HRT of 1.3 days efficiencies of 75-80% were attained.

### INTRODUCCION

La vinaza es el principal efluente residual obtenido en los procesos de producción de alcohol por fermentación. Sus componentes principales son: etanol, glicerol, glucosa, ácido láctico y acético, almidón, pectina, aminoácidos y proteínas (1)(2). Para las destilerías, la disposición de estos residuos representa un agudo problema por sus altas cargas orgánicas que al vertirse directamente ocasionan grave contaminación de las fuentes receptoras. La necesidad de disminuir el contenido orgánico de estos efluentes ha llevado a considerar la fermentación anaerobia como alternativa de tratamiento (3). En estos procesos se degrada la materia orgánica mediante la acción de bacterias acidogénicas y metanogénicas que hidrolizan los compuestos complejos, los convierten en ácidos orgánicos, principalmente

acético y finalmente generan biogas cuyo componente primordial es el metano. La estabilidad del proceso depende del correcto equilibrio entre la metanogénesis y las etapas precedentes, para lo cual se deben suministrar las condiciones ambientales requeridas por los microorganismos, en cuanto a temperatura, pH y nutrientes.

El filtro anaerobio estudiado por Young y McCarty (4) y recientemente impulsado por Anderson(5), Van den Berg (6), Muller y Mancini (7), Pawlowsky (8) entre otros, se utiliza para el tratamiento de residuos con materia orgánica soluble. Consiste en una columna rellena con un material inerte sobre el cual se desarrolla la biomasa, formando una película de microorganismos que se alimentan de la materia orgánica presente en el líquido residual en contacto con ellos. Presenta algunas ventajas sobre otros tipos de tratamiento biológico: posibilidad de manejar cargas volumétricas altas, baja producción y mayor estabilidad de lodos, relativa estabilidad frente a cambios en la carga, menor requerimiento de nutrientes y energía. Por otra parte, generalmente constituye un tratamiento parcial, presenta posibilidad de obstrucción del reactor por acumulación de biomasa, se forman canales preferenciales de flujo y disminuye el volumen efectivo del reactor por el empleo del soporte.

Dadas las características específicas de los diferentes residuos industriales, al aplicar un tratamiento biológico es indispensable investigar las condiciones óptimas que promuevan la aclimatación de un inóculo microbiano al residuo con la formación de suficiente biomasa dentro del reactor, etapa crítica y lenta como resultado de la baja tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas, (5)(9) y el establecimiento del mínimo tiempo de retención hidráulica TRH y máxima carga orgánica  $C_v$ , admisibles por el reactor para responder con una eficiente remoción en el contenido de materia orgánica del líquido residual.

En este trabajo se presentan los resultados de la metodología aplicada durante las etapas de aclimatación, puesta en marcha y funcionamiento normal de un sistema de cuatro reactores tipo filtro anaerobio y la evaluación del mismo bajo diferentes condiciones operacionales de tiempo de retención y carga orgánica.

## PARTE EXPERIMENTAL

La miel utilizada como materia prima por la destilería en estudio, es sometida a procesos de dilución, homogenización y fermentación. El vino producido en la fermentación pasa a la primera destilación cuyas colas o productos de fondo son las vinazas. El estudio de tratamiento de las vinazas se inició con la aclimatación de una simiente bacteriana constituida por lodos extraídos de un reactor tipo UASB experimental, en condiciones anaerobias con el fin de producir biomasa suficiente para inocular los filtros con los cuales se haría el tratamiento. Se colocó 1 l de lodo en un balón de vidrio de 6 l. de capacidad, reactor 1, se alimentó por cochedas con vinaza diluida neutralizada con bicarbonato de sodio y adicionando fosfato de amonio dibásico como fuente de los nutrientes. Se controló el proceso por medición de temperatura, pH, DQO, en el afluente, licor mezclado y efluente, y producción de biogas. Gradualmente se disminuyó el TRH desde 5 hasta 3 días, para cargas orgánicas  $C_v$ , de 0.55 a 1.75 KgDQO/m<sup>3</sup>d. Se trasladaron 1.5 l de lodo a otro reactor de 20 l de capacidad, reactor 2, operado en forma similar con el propósito de aumentar la cantidad de biomasa aclimatada a la vinaza. Una vez comprobada la posibilidad de degradar

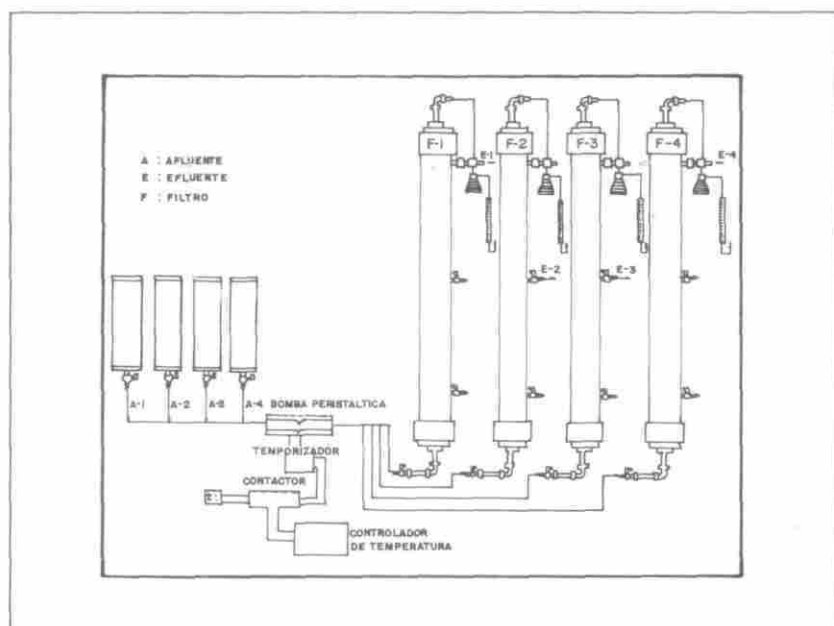


Fig. 1 Montaje del sistema de filtración anaerobia

la vinaza en forma anaerobia, se procedió al diseño, fabricación e instalación de un sistema de 4 filtros construidos en tubería de cloruro de polivinilo comercial, de 8 cm de diámetro interno y 95 cm de altura con un volumen total de 4.90 l. En ellos se utilizó como empaque anillos raschig de cerámica y de CPVC en los otros dos, para un volumen útil de 3.28 y 3.54 l. El montaje de los filtros se muestra en la figura 1. Cada reactor se acondicionó con una platina circular de acero perforada para una mejor distribución de flujo de entrada, dos válvulas de muestreo, sistema de medición de gas por desplazamiento de una columna de agua, un dispositivo para medir la temperatura interna y un visor o mirilla. La temperatura se mantuvo entre 33 y 35 °C por medio de resistencias eléctricas enrolladas alrededor de cada reactor. Para el "arranque" de los filtros, se inocularon los reactores con la simiente previamente aclimatada, se alimentaron con vinaza diluida a una concentración de 5000 mg/l de DQO, y se dejaron 15 días en reposo para lograr la adhesión de los microorganismos al empaque. Al cabo de este tiempo, se inició el tratamiento suministrando la vinaza por medio de una bomba peristáltica, en flujo ascendente y continuo, controlado para TRH comprendidos entre dos y seis días. La DQO de la vinaza aplicada a cada filtro se incrementó en la siguiente forma, a través de un tiempo de experimentación de 8 meses:

filtro	1:5000	10000	34000	DQO (mg/l)
	2:5000	8000	20000	
	3:5000	10000	15000	
	4:5000	20000	30000	

Debido a la importancia que tiene el tiempo de retención hidráulica, TRH, en el dimensionamiento del sistema de tratamiento a mayor escala, en la parte final del estudio se determinaron las mejores condiciones de operación del sistema de filtración anaerobia con relación a ese parámetro. Se alimentaron los filtros con vinaza de concentración 20000 mg/l de DQO y cada filtro se ajustó a los TRH que se indican a continuación:

filtro	1:3.50	3.00	2.50	2.00	días de TRH
	2:1.88	1.66	1.33	1.06	
	3:1.82	1.56	1.30	1.04	
	4:3.25	3.25	2.80	1.86	

Durante los ensayos de tratamiento se controló el sistema mediante los siguientes análisis: temperatura, pH, DQO afluente y efluente, alcalinidad, acidez volátil, producción de biogas y sólidos volátiles aplicando los métodos establecidos por la APHA y AWVA (10). El biogas producido se hizo circular a través de una solución de NaOH con el fin de retener el CO<sub>2</sub> acompañante.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Al iniciar el trabajo, la industria licorera utilizó miel virgen cambiando posteriormente a miel de características HTM, High Test Molasse como materia prima. La composición de las vinazas producidas por estas clases de mieles, se indica en la tabla 1.

La miel HTM produce vinazas con menor concentración de materia orgánica, DQO y mayor contenido de fósforo. Ninguna de las mieles contenía sulfitos. Al emplear la vinaza de miel HTM para el estudio de tratamiento, se supendió la adición de fosfato de amonio sin que se observara alteración en el sistema, a pesar de tener una relación entre DQOaf, nitrógeno, fósforo de 300:1,90:1,34, diferente a la recomendada por algunos investigadores, de 300:5:1. (5)(8), aspecto que permitiría una economía en el proceso.

Durante los ensayos de aclimatación de la simiente bacteriana en los reactores de 6 y 20 l. la remoción de materia orgánica, con respecto al TRH y Cv aplicada, presentó en promedio los resultados que se indican en la tabla 2.

**Tabla 1. Caracterización parcial de las vinazas según el empleo de miel virgen o miel HTM**

Parámetro	vinazas m. virgen	Vinazas m. HTM
Temperatura (°C)	87	82
pH	3,7	2,4
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> )	3.878	3.750
DQO (mg/l)	57.000	32.500
N total (mg N/l)	220	206
P total (mg P/l)	31	145

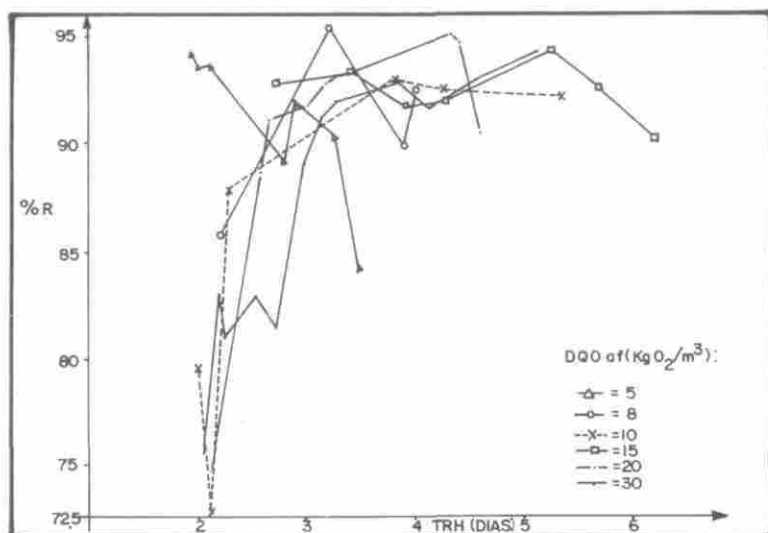


Fig. 2. Porcentajes de remoción de acuerdo al TRH, para valores constantes de DQO en afluentes de diferente concentración.

El pH del medio se mantuvo entre 6.8 y 7.2. El sistema alcanzó los valores promedio de remoción de DQO para el Cv de 0.55 a partir de la octava semana de iniciado el tratamiento. Al incrementar la temperatura hasta valores propios para un desarrollo microbiano mesofílico, se observó mayor remoción de DQO. No se presentaron señales de inhibición durante la etapa de aclimatación.

Después de transferir la biomasa de los reactores de aclimatación a los cuatro filtros, durante la etapa de inoculación y arranque, se mantuvo una remoción entre 81.5 y 87.8% para una DQOaf. de 5000 mg/l, indicando una aclimatación satisfactoria del inóculo en los filtros. El pH se mantuvo neutro, mostrando la capacidad amortiguadora del sistema.

Al iniciar la operación de los filtros en flujo continuo, variando la concentración de la vinaza afluente entre 5000 y 30000 mg/l de DQO, se obtuvieron los resultados resumidos en la Figura 2. En general, para TRH mayores de tres días, la remoción de DQO presentó valores superiores al 90% independientemente de la concentración de vinaza afluente. Disminuyó a valores de 70 a 85% para TRH entre dos y tres días y DQOaf de 10000, 20000 o 30000 mg/l.

Al aplicar a los filtros vinaza de concentración constante, con DQO de 20000 mg/l, para diferentes TRH, se obtuvieron los resultados cuyos promedios se muestran en la tabla 3.

Se observó una remoción de DQO entre 75 y 80% para TRH de 3.5 a 1.86 d. en los filtros 1 y 4; para los filtros 2 y 3, estuvo entre 74 y 82% para TRH de 1.3 a 1.88d. La remoción disminuyó hasta valores de 57 y 61% para TRH de 1.06 y 1.04d. La relación entre ácidos grasos volátiles y la alcalinidad total, se mantuvo entre 0.48 y 0.62 indicando el equilibrio y estabilidad alcanzados por el sistema en sus fases de degradación metabólica: acidogénica

**Tabla 2. Remoción de materia orgánica, DQO, durante la aclimatación de la simiente microbiana a la vinaza**

REACTOR	TRH (d)	Cv KgDQO/m <sup>3</sup> d	Temp (°C)	Rem.DQO (%)	Prod.biogas (l/KgDQOaf)
1	5	0.55	19.7	66.5	233.5
1	4	1.00	20.5	55.9	170.2
1	3	1.50	33.8	74.2	111.2
1	3	1.75	35.4	66.1	119.8
2	3	0.55	35.2	74.4	252.0
2	4	1.25	32.6	62.6	219.0
2	4	1.50	32.4	72.2	207.0

**Tabla 3. Remoción de DQO, acidez volátil, alcalinidad y producción de metano presentada por los filtros anaerobios para diferentes TRH y Cv aplicadas manteniendo DQOaf en 20000 mg/l.**

Filtro	TBR (d)	Cv (KgDQO/m <sup>3</sup> )	Rem.DQO (%)	Ac.Volátil (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Alc. total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Ac./Alc	Metano (m <sup>3</sup> /KgDQOrem)
1	3.50	5.71	86.9	5755	11188	0.51	0.041
4	3.25	6.20	88.5	6489	12344	0.52	0.040
1	3.00	6.67	84.3	7250	11850	0.61	0.102
4	2.80	7.14	83.4	6593	11135	0.59	0.101
1	2.50	8.00	79.0	7479	12371	0.60	0.086
4	2.32	8.60	74.8	7264	11950	0.61	0.096
1	2.00	10.00	74.9	7037	11479	0.61	0.193
2	1.88	10.64	77.5	5803	12049	0.48	0.041
4	1.86	10.80	80.5	7536	11670	0.64	0.117
3	1.82	11.00	82.0	5793	10312	0.56	0.031
2	1.66	12.50	80.7	6614	11112	0.59	0.072
3	1.56	12.82	78.0	6750	10815	0.62	0.040
2	1.33	15.00	73.9	7027	12969	0.54	0.021
3	1.30	15.40	78.7	7657	12900	0.59	0.078
2	1.06	18.90	57.1	7161	10234	0.70	0.039
3	1.04	19.20	61.2	7173	10505	0.68	0.064

y metanogénica. (5)(7). Para TRH de 1.06 y 1.04 d con Cv de 18.9 y 19.20 KgDQO/m<sup>3</sup>d se observó inestabilidad en estos parámetros, dando una relación acidez/alc. superior a los casos anteriores. En cuanto al biogas producido no se logró evitar fugas esporádicas del mismo junto con el efluente, por lo cual los volúmenes observados de metano son en general bajos y no muestran una tendencia definida con relación a la variación de la carga volumétrica. El TRH de 1.3d con una Cv de 15.4 KgDQO/m<sup>3</sup>d correspondió al menor tiempo en que se obtuvo un funcionamiento y eficiencia adecuados del sistema, con remoción de DQO entre 75 y 80%. Los resultados se consideran satisfactorios teniendo en cuenta los reportados por Borjes et.al. (12), de 71-74% para Cv de 11.4 y de 65% para Cv de 20 KgDQO/m<sup>3</sup>d y por Pipyn et.al. (13) quienes alcanzaron remoción de 45-50% para Cv de 18 KgDQO/m<sup>3</sup>d.

### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Biotecnología, al Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia y a la empresa de Licores de Cundinamarca por dar lugar a la planeación y ejecución del presente trabajo; en forma especial al Doctor Ivan García, por su colaboración.

### REFERENCIAS

1. Robertiello, A., *Agr. Wastes*. **1982**, *4*, 387-395.
2. Stover, E. L. et.al. "Use of the methane gas from the anaerobic treatment of stillage for fuel alcohol production" *Proc. Purdue Ind. Waste*. **1984**, Conf 39.
3. Craveiro, A. M.; Rocha, B. B. "Anaerobic treatment: A grown up technology" Wastewater treatment conference. Amsterdam. **1986**, 307-320.
4. Young, J. C.; McCarty, P. L., *J. Water Pollut. Control Fed.* **1969**, *41*, 160.
5. Anderson, G. K.; Donnelly, T., "The application of anaerobic packed bed reactors to industrial wastewater treatment" Proc. International Conf of CEBEDEAU. Belgium **1982**, 651.
6. Van der Berg, L; Lentz, C. P., "Comparison between up and down flow anaerobic fixed film reactors" *Proc. Purdue Ind. Waste*. **1980**, Conf 34.
7. Müller, J.; Mancini, J. L., "Anaerobic filter kinetics and applications" Symposium on biological waste treatment., Chicago. **1970**.
8. Pawlowsky, U. "Tratamiento anaerobio de vinhoto de mandioca por filtro fijo" Proc. Congreso Brasileiro de Engenharia e Ambiental. Santa Catarina. **1983**.
9. Van der Meer, R.; Vletter, R. *J. Water Pollut. Control Fed.* **1982**, *11*, 1482-1492.
10. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16<sup>th</sup> Ed., APHA,AWWA,WPCF. **1985**.

11. Lombana, D. A.; Parra, B. "Estudio fisicoquimico de la vinaza obtenida en la producción de alcohol E.L.C." Tesis de grado, Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. **1986.**
12. Bories, A. et.al. "Etude des performance de la fermentation metanique des eaux residuaires de melasses a sucre". Seminaire Ministere Environmental. ONU. Guadalupe **1986**
13. Pipyn P. et. al. "Anaerobic treatment of brewery effluents" Proc. of the European Symposium. Noordwykehout, Netherland. **1983.**