

## EMPLEO DE FILTROS ANAEROBIOS PARA REDUCIR LA CONTAMINACION DE LAS INDUSTRIAS LICORERAS

Anamaria Belalcazar de Galvis\*

Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 14490  
Santafé de Bogotá, Colombia.

Keywords: Anaerobic Treatment, Vinasse, Biological filters, Anaerobic filters.

### RESUMEN

Se consideran los aspectos básicos y la metodología empleada durante la utilización de filtros anaerobios para el tratamiento de vinazas, residuos de la industria licorera con alta carga orgánica. La eficiencia obtenida en la remoción de la materia orgánica, 80 - 90% en términos de DQO, disminuye en forma apreciable el grado de contaminación de tales residuos.

### ABSTRACT

The basic aspects and the methodology used during the utilization of anaerobic filters for the treatment of vinasse, (distillery wastes with high organic loading) have been studied. COD removal efficiencies of 80 - 90 % reduced the pollution levels of vinasse.

### INTRODUCCION

La necesidad de proteger los recursos hídricos, afectados por la descarga de efluentes domésticos e industriales y de cumplir con la reglamentación establecida por el Estado para este fin (1), ha llevado al desarrollo de procesos de tratamiento biológico, dentro de los cuales se ha considerado la digestión anaerobia como una alternativa para reducir la carga contaminante de los desechos industriales con alto contenido de materia orgánica soluble, como es el caso de las vinazas producidas por las industrias licoreras.

El presente trabajo pretende suministrar información básica acerca de la filtración anaerobia y de su aplicación como sistema de tratamiento de las vinazas, incluyendo una revisión bibliográfica sobre la metodología empleada para la iniciación, evaluación y control del sistema, y resultados sobre su eficiencia en la remoción del contenido de la materia orgánica.

### LAS VINAZAS

La producción de alcohol por fermentación da origen a las vinazas. Son consideradas como el residuo de mayor influencia contaminante del efluente total. Representan el 45% del caudal, el 92% de la demanda química de oxígeno DQO y el 94,5% de los sólidos totales (2). En la figura 1 se observan las diferentes etapas del proceso y el origen de estos residuos.

Los principales componentes orgánicos de las vinazas son: etanol, glicerol glucosa, ácido láctico, y acético, almidón, pectina, aminoácidos y proteínas. (4)(5). Su composición exacta depende de la materia prima utilizada y de las variaciones introducidas en el proceso. La tabla 1 muestra la composición de las vinazas resultantes del empleo de melazas de caña de azúcar, melazas de remolacha y residuos de maíz y papa.



Figura 1 : Diagrama del proceso de obtención de alcohol (3).

El alto contenido de materia orgánica de las vinazas, representado por la concentración de DQO entre 15 y 102 Kg/m<sup>3</sup> supera apreciablemente el valor promedio encontrado en desechos domésticos: 0,3-0,4 Kg/m<sup>3</sup> (8). La elevada temperatura, el contenido de sólidos y el pH ácido, constituyen igualmente factores contaminantes.

#### LA DIGESTION ANAEROBIA

Las investigaciones recientes en el campo de los tratamientos biológicos anaerobios están orientadas al estudio de factores que afectan el metabolismo de degradación de la materia orgánica y al diseño, evaluación y control de reactores capaces de operar con altas cargas orgánicas CV, respondiendo con una eficiente remoción de DQO.

La digestión anaerobia es una fermentación que se efectúa en ausencia de oxígeno, con la participación de una población bacteriana que utiliza la materia orgánica para su crecimiento y actividad metabólica, produciendo una mezcla gaseosa o biogas compuesta principalmente de metano, y gas carbónico. Según los trabajos efectuados por Barker (9) y Bryant (10), y posteriormente por Zinder (11), Zeikus (12) Zehnder (13) y Klass (14) entre otros, se admite el siguiente esquema metabólico para la digestión anaerobia:

**Hidrólisis:** Los compuestos de alto peso molecular como carbohidratos, proteínas y lípidos son fraccionados en compuestos de menor peso molecular: azúcares, aminoácidos, alcoholes y péptidos por la acción de exoenzimas de las bacterias fermentativas. Cuando el sustrato está constituido por carbohidratos la degradación se hace por glucólisis y llega hasta la formación de piruvato. (15)(11).

**Acidogénesis:** Los compuestos generados en la primera etapa son asimilados por las bacterias y transformados en ácidos orgánicos saturados: acético, propiónico y butírico. En esta fase se produce hidrógeno cuya presencia y concentración influye en la clase de productos finales; a presiones inferiores a 10<sup>-3</sup> at. se obtiene preferencialmente ácido acético a partir de piruvato y a presiones mayores se obtiene ácido propiónico, butirato, etanol y lactato. La presencia de lípidos da lugar a la formación de estos últimos aunque la concentración de hidrógeno sea baja. (11)

Tabla 1 Características de las vinazas resultantes, según la utilización de diferentes materias primas

Parámetro	Melaza de Caña (6)	Jugo de Caña (6)	Melaza de Remolacha (7)	Residuos de papa (7)	Residuos de Maíz (7)
pH	4.2-5.0	3.7-4.6	4.8-5.2	4.7-5.3	4.7-5.3
Temp. (°C)	80-100	80-100	-----	-----	-----
DQO (Kg/m <sup>3</sup> ) *	65	15-33	45-50	57,3	102
Sólidos Totales (mg/l)	81500	23700	48000-63000	50000	63500
Sól. Volátiles (mg/l)	60000	20000	40000-49000	41000	60000
Sólidos Fijos (mg/l)	21500	3700	8000-14000	9000	3500
Nitrógeno (mg/l N)	450-1610	150-700	790-940	830	1000
Fósforo (mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	100-290	10-210	275	1145	1374
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> )	6400	600-760	-----	-----	-----
Relación C/N	16-16.3	19.7-21.1	6	6.1	9.1

\* DQO = Demanda Química de Oxígeno

Acetogénesis: En esta etapa participan las bacterias anaerobias acetogénicas, tanto productoras como consumidoras de hidrógeno, llevando a cabo la oxidación de los ácidos grasos volátiles y alcoholes hasta ácido acético e hidrógeno, precursores del metano. Gracias a la acción sintrópica de estas bacterias, la presión del hidrógeno permanece en concentraciones inferiores a  $10^{-3}$  at. sin causar autoinhibición. (10) (15).

Metanogénesis: Constituye la principal etapa del proceso, por efectuarse en ella una remoción significativa de la materia orgánica, permitiendo recuperar energía en forma de metano. Las transformaciones son realizadas por dos clases de bacterias anaerobias estrictas: metanogénicas acetoclásticas o productoras de metano a partir de ácido acético y metanogénicas hidrogenoclasticas o productoras de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. La mayor parte del residuo orgánico se transforma en metano y sólo una pequeña fracción biodegradable da lugar a síntesis de nuevas células.

#### FILTROS ANAEROBIOS

Su estudio fue impulsado por Young y McCarty desde 1969 (16). Son reactores de contacto donde se retiene la biomasa para alcanzar un alto tiempo de retención de sólidos TRS, simultáneamente con bajos tiempos de retención hidráulica TRH. Están provistos en su interior de un material de relleno o medio soporte que puede ser de diferente naturaleza: piedra, plástico, cerámica, carbón, madera u otro (17). El diseño y tamaño del medio soporte afectan el funcionamiento del filtro (18). La biomasa crece tanto entre los

intersticios del soporte como adherida a su superficie formando una biopelícula. Los microorganismos se alimentan con la materia orgánica presente en el agua residual disminuyendo así su poder contaminante. El flujo del residuo dentro del reactor puede ser ascendente o descendente; el sistema soporta modificaciones bruscas en la carga orgánica ( $Cv=KgDQO/m^3.d$ ) y presenta baja producción de sólidos biológicos facilitando su posterior tratamiento. (19)(7)(20)(21). La figura 2 muestra el esquema de un Filtro Anaerobio.

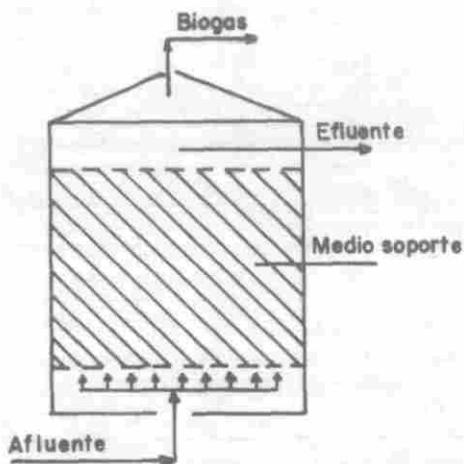


Figura 2 Esquema de un filtro anaerobio

capa de sólidos biológicos, dando lugar a un gradiente de concentración de la biopelícula en tal forma que la concentración del sustrato en contacto con ella es menor que en el seno del líquido.

El gradiente depende, además de la difusividad del sustrato, de la densidad de la biomasa activa, del espesor de la biopelícula y de la naturaleza y concentración del sustrato en el líquido.

#### METODOLOGIA DEL TRATAMIENTO

Los estudios de tratamiento por filtración anaerobia se han realizado en reactores que proveen un volumen efectivo desde 500 ml para estudios a nivel laboratorio hasta varios miles de  $m^3$  en los montajes a gran escala, empleando como medio soporte en su mayoría, material plástico de superficie rugosa para facilitar la adhesión de la biomasa. (7)(20)(21)(3).

La puesta en marcha del sistema de filtración requiere de una fuente de microorganismos o inóculo que se adapte al residuo particular. Debido a la variedad y complejidad de los residuos industriales, se utilizan muestras mixtas de microorganismos y se aclimatan al residuo específico; dichas poblaciones se obtienen de diferentes fuentes: sobrenadante de estiércol de bovinos, agua residual doméstica, rumen o lodos digeridos obtenidos de otro sistema de tratamiento anaerobio que se encuentre en funcionamiento (24)(22)(3)(17). La aclimatación se puede realizar permitiendo el desarrollo de los microorganismos en recipientes independientes del reactor con

La compleja distribución y características variables de los sólidos biológicos dentro de un filtro anaerobio y la dificultad de definir el régimen hidráulico dentro de los espacios intersticiales, no permiten establecer con precisión los mecanismos y la cinética sobre la remoción del sustrato.

Investigaciones desarrolladas por Rittman y McCarty (22) y Williamson y McCarty (23), revelan que la tasa de aprovechamiento del sustrato por biopelículas y grandes flocs está gobernada principalmente por la tasa de difusión del sustrato en la

alimentación discontinua y trasladando posteriormente la biomasa formada hasta el filtro. Se considera lograda la aclimatación cuando el sistema de filtración muestra relativa estabilidad en las medidas fisicoquímicas con las que se controla el proceso: pH dentro del reactor, remoción de DQO al comparar efluente y efluente del filtro, relación Acidez Volátil/ Alcalinidad, producción de sólidos y producción de biogas. Una vez alcanzado el estado estable, se investiga la carga máxima  $Cv=DQO/TRH$ , que admite el sistema: la mayor concentración de DQO efluente que en el menor tiempo de retención posible presenta remoción satisfactoria.

#### CONDICIONES RECOMENDADAS PARA EL TRATAMIENTO

Para lograr la apropiada estabilización de un residuo orgánico mediante un sistema de tratamiento anaerobio, los microorganismos que intervienen en las diversas etapas deben mantenerse en equilibrio dinámico, para lo cual es preciso suministrar las condiciones ambientales requeridas: ausencia de oxígeno disuelto en el contenido del reactor; pH de 6.6 a 7.6 con un valor máximo de 8.5; la alcalinidad: suficiente para evitar la inhibición de las bacterias metanogénicas que se presenta para valores de pH inferiores a 6.0 (25)(26). Los valores promedio de alcalinidad se encuentran de 1000 a 5000 mg  $CaCO_3/L$  y los máximos, de 9000 a 10000. A su vez, se recomienda una concentración máxima de AGV alrededor de los 10000 mg de  $CH_3COOH/L$ . Según sus características específicas, cada sistema presentará una relación AGV/Alcalinidad para la cual su funcionamiento es satisfactorio.

La baja tasa de crecimiento bacteriana en sistemas anaerobios exige nutrientes en pequeñas cantidades; según la literatura la relación Carbono expresado como DQO/Nitrógeno/Fósforo admite valores de 250/5/1 a 500/5/1 (27)(21)(26). La presencia de micronutrientes Ni, Co, Mo, estimula el crecimiento bacteriano. (28)(29).

La influencia de la temperatura en los procesos de digestión anaerobia ha sido estudiada en los intervalos psicrófilico, mesófilico y termófilico, presentando mejores resultados para temperaturas mayores de 25 °C, principalmente entre 30 y 37 °C (30)(20)(31)(32).

#### RESULTADOS Y APLICACIONES

Para ilustrar la aplicación de la filtración anaerobia se presentan los resultados alcanzados por diferentes investigadores al emplear este sistema para el tratamiento de vinazas.

Tofiño y Plazas (3) en ensayos a escala de laboratorio, estudiaron las etapas preliminares del tratamiento de vinazas de una industria licorera que emplea miel virgen como materia prima para la obtención de alcohol. La figura 3 muestra los resultados obtenidos en reactores de régimen discontinuo, durante la aclimatación a la vinaza, de un inóculo constituido por lodos biológicos extraídos de un sistema anaerobio en funcionamiento estable.

La concentración, DQO, de la vinaza afluente a los reactores se incrementa gradualmente a medida que avanza la aclimatación. Inicialmente la diferencia entre la DQO afluente y efluente es relativamente baja, indicando la escasa degradación de la materia orgánica por los microorganismos presentes, pero a medida que éstos se adaptan al nuevo residuo, mejora la eficiencia en la remoción del contenido orgánico suministrando un efluente con baja DQO, no obstante los altos valores de DQO afluente. Como lo deducen Pawlowsky (21) y Tofiño (3), este método reduce el periodo de aclimatación, aspecto problemático de estos tratamientos.

Pérez y Ramos (33) emplearon un sistema de filtros anaerobios para determinar la remoción del contenido orgánico de vinazas afluentes con concentración de 10 y 30 Kg/m<sup>3</sup> de DQO en cada caso, en función de la carga orgánica y del tiempo de retención correspondiente, parámetros fundamentales para el dimensionamiento del sistema. Los resultados se muestran en la tabla 2

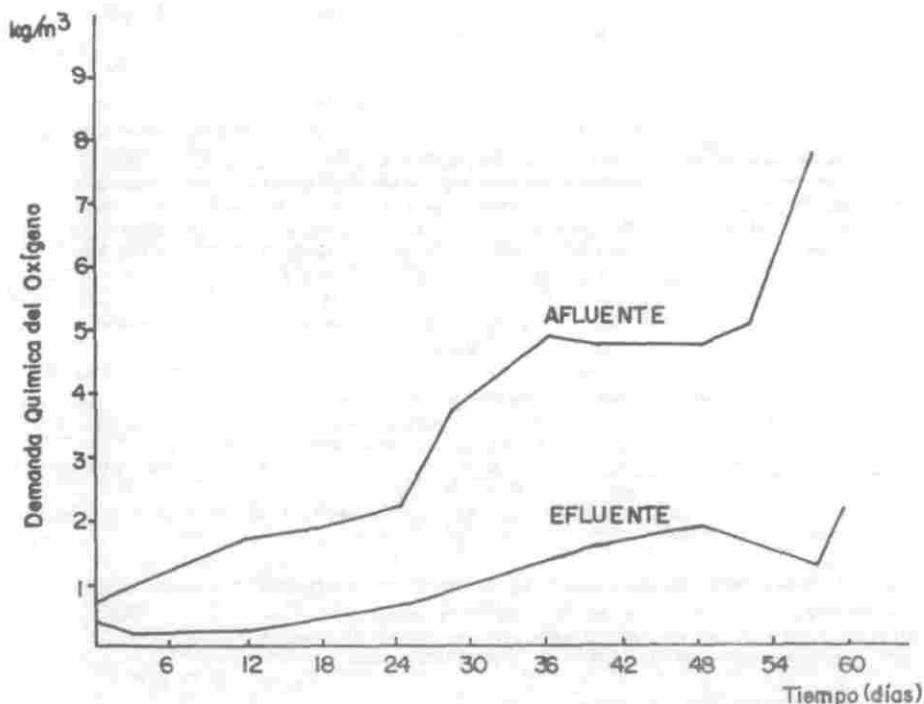


Figura 3 Variación en la DQO de la vinaza afluente y efluente durante la aclimatación (31)

Se observa la tendencia a una disminución en la remoción de DQO a medida que disminuye el tiempo de retención y aumenta la carga orgánica. Se obtienen porcentajes de remoción entre 77 y 92% al aplicar vinaza con DQO de 10 Kg/m<sup>3</sup> y de 76 a 93% para DQO de 30 Kg/m<sup>3</sup>. El menor valor: 75.6% corresponde a una carga orgánica alta de 14.6 KgDQO/m<sup>3</sup>.d y supera los resultados obtenidos por Henry (34) y Szendrey (35), quienes alcanzaron 65% de remoción para cargas de 14 y 13 KgDQO/m<sup>3</sup>.d respectivamente, en tratamientos similares.

Resultados de los tratamientos de vinazas de diferente origen, desarrollados por diversos investigadores en la última década y algunas características de los filtros anaerobios empleados, se resumen en la tabla 3

Tabla 2 Remoción de DQO obtenida con un filtro anaerobio para diferentes cargas y tiempos de retención al aplicar afluentes con DQO constante de 10 y 30 Kg/m<sup>3</sup>. (33)

DQO afluente = 10 Kg/m <sup>3</sup>			DQO afluente = 30 Kg/m <sup>3</sup>		
TRH (d)	Cv Kg DQO/m <sup>3</sup> .d	% Rem (DQO)	TRH (d)	Cv Kg DQO/m <sup>3</sup> .d	% Rem (DQO)
5,34	1,87	92,1	6,58	4,6	92,9
4,24	2,36	92,4	5,12	5,9	91,0
3,80	2,63	91,5	4,15	7,2	91,6
2,28	4,38	87,8	3,86	7,8	91,8
2,00	5,00	79,6	3,12	9,6	91,2
1,95	5,12	77,4	2,73	11,0	81,5
			2,25	13,3	76,8
			2,05	14,6	75,6

Tabla 3: Características básicas de algunos sistemas de filtración Anaerobia aplicados al tratamiento de vinazas de diferente origen.

Origen de las vinazas	Año	Vol. de Reactor (m <sup>3</sup> )	TRH (d)	Cv Kg <sub>3</sub> DQO/m <sup>3</sup> . d	% Rem DQO	Biogas m <sup>3</sup> /Kg DQO Rem	Referencia
Miel Virgen	1988	5x10 <sup>-3</sup>	1.3	15	75-80	0.25	36
Almidon de Yuca	1983	29x10 <sup>-2</sup>	2	12	90	0.39	21
Destilería de Vino	1985	----	--	11.8	90	0.32	37
Destilería de Vino	1985	----	--	11	90	0.30	37
Melaza de Caña	1986	----	3	14	65	0.31	34
Residuos de Maíz	1982	0.5	21	2.8 *	40 **	1.5 +	7
Residuos Papa	1982	0.5	10	4.2 *	40	2.3 +	7
Melaza de Remolacha	1982	0.5	1.2-2	18-38 *	45-50	6-14.2 *	7
Melaza de Caña	1986	1500	2.7-4	11.4	71-74	22 ++	24
Destilería de Ron	1983	13.250	3	13	65	----	35

\* Cv eq Kg S.V/m<sup>3</sup>. d  
+ m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de reactor. d

\*\* Con base en DQO  
++ m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de Vinaza

Se observa diferencias apreciables en los filtros empleados: reactores a gran escala de 1500 y 13250 m<sup>3</sup>, a escala de planta piloto: 0,5 m<sup>3</sup> y a nivel de laboratorio: 5 y 29 litros. Los tiempos de retención están comprendidos entre 1,2 y 21 días, las cargas orgánicas entre 11 y 15 KgDQO/m<sup>3</sup>.d con remoción entre 65 y 90% correspondiendo el menor de ellos a una planta a escala real.

Se observa además, la producción de biogas, que puede constituirse en una fuente potencial de energía para la misma industria.

#### CONCLUSIONES

En los últimos veinte años han avanzado los conocimientos acerca de los aspectos fisicoquímicos y microbiológicos de los filtros anaerobios: metabolismo de la digestión anaerobia, factores ambientales que favorecen el desarrollo de bacterias metanogénicas, aclimatación del inóculo, respuesta a variaciones en la carga orgánica, etc., motivando su aplicación para tratar residuos con alta carga orgánica, como las vinazas.

El empleo de filtros anaerobios para el tratamiento de vinazas reporta resultados satisfactorios: eficiencia entre 80 y 90% de remoción de materia orgánica, para cargas de 12 a 15 KgDQO/m<sup>3</sup>.d, se han alcanzado en ensayos a nivel de laboratorio; para plantas a escala real, con cargas de 11 a 15 Kg DQO/m<sup>3</sup> se ha obtenido 65% de remoción. (Tabla 3)

Los elevados valores en DQO de las vinazas: 15 a 102 KgDQO/m<sup>3</sup>.d (tabla 1) requieren de pre y/o postratamiento, complementario al de los filtros anaerobios, para alcanzar los niveles de DQO establecidos en la legislación para desechos industriales (1).

#### BIBLIOGRAFIA

1. Decreto Reglamentario 1594 de 1984, Código Sanitario Nacional, República de Colombia.
2. Lombana, D.A.; Parra, B., "Estudio Fisicoquímico de la vinaza obtenida en la producción de alcohol ELC" Tesis de grado, Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1986.
3. Tofiño, C.; Plazas, S. "Etapas preliminares en el tratamiento de vinazas utilizando filtros anaerobios". Tesis de grado. Departamento de Ing. Quím. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. (1987).
4. Robertiello, A. Agr. Wastes Conf., 1982, 4, 387-395.
5. Stover, E.L. et.al. , Proc. Purdue, Ind.Waste Conf, 39, 1984
6. Costa, . et.al. Mat.Sci.Tech., 1986, vol 18,12, 135-141.
7. Braun, M.P. Huss,S."Process Biochemistry, 1982 July/Aug, 25-27.
8. Botiva, S.; Fajardo, E.; Mora,M., "Evaluación de parámetros de calidad de aguas residuales domésticas", Tesis de grado. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. (1977).
9. Barker. H.A. CIBA lectures, in Microbial Biochemistry, Inst.of microbiology, Rutgers. New Jersey, USA 1956.
10. Bryant, M.P. et.al. J. of Animal Science, 1979, 48,1.
11. Zinder, S. ASM News, 1984, 50, 2.

12. Zeikus, J.G. En anaerobic Elsevier Biomedical Press, Hughes et.al., 1982.
13. Zehnder, A.; Koch M. Proc of the European Symposium, Nv 1983.
14. Klass, D., Science, 1984, 9, 233, 4640.
15. Zehnder, A. et.al. En anaerobic Digestion Elsevier Biomedical Press, Hughes et.al. 1982.
16. Young, J.C.; McCarty, P.L. J. Water Poll. Control. Fed., 1969, 41, R160-171.
17. Wilkie, A.; Collerman, E. Biotechnology letters, 1984, 6 (11), 735-740.
18. Young, J.C.; Dahab, M.F., Proc. IAWPR Specialized Seminar on anaerobic Treatment., Copenhagen 1982, 321-335.
19. Anderson, G.K.; Donnelly, T.; McKeown, K.; Conf. of CEBEDEAU, Belgium, 1982, 651
20. De Galvis, A.M., Rubio, E., Revista ACCODAL Asoc. Col. de Ing. Sanitaria y ambiental, 1989, 138.
21. Pawlowky, U. et.al. 12<sup>a</sup> Congreso Brasileiro de Engenharia Sant. e Ambiental, Santa Catarina, Brasil, Nov. 1983.
22. Rittman, B.E.; McCarty, P.L. J. of the Envir. Engrg Div. ASCE., 1978 104, 889-900.
23. Williamson, K.; McCarty, P.L. J. Water Poll Control, Fed., 1976, 48, 9-24
24. Borier, A. et.al, Seminaire: Traitement et valorisation des vinasses, Ministere Environmental, ONU, Guadalupe. (1986)
25. Metcalf, & Eddy, Inc. "Waste water engineering collection: treatment, disposal", Mc Graw Hill 1972.
26. Técnicas disponibles para el tratamiento y la valoración de las vinazas de destilería de ron/azucarearas" Ministere de l'Environnement. Foundation de l'Eau.Paris (1986)
27. Lettinga, G., 1er Taller Nacional sobre tecnología anaerobia para aguas residuales, Cali, Colombia 1984.
28. Murray, W.; Van Der Berg, L. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 42, 3, 502-505.
29. Thauer, R.K. en: Anaerobic Digestion, Elsevier Biomedical Press, Hughnes et.al. Eds. 1982.
30. Cooney, C.L.; Wise, D.L., Biotechnology and Bioengineering, 1975, 17, 1119.
31. Flores, R; Zapata N. "Estudio de la influencia de la temperatura en el tratamiento de aguas residuales de una industria láctea por filtración anaerobia", Tesis de grado, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1988.

32. Oleszkiewicz, J.A.; Koziarski, S., *J. of Water Pollution control*, Fed. 1982, 54, 11
33. Perez, M.; Ramos, F., "Tratamiento biológico de vinazas utilizando filtros anaeróbios" Tesis de grado. Dept de Ing. Química. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1988.
34. Henry, M.; Arnoux, M., 7eme Symposium International sur les carburants alcoholises. Paris Oct. 1986.
35. Szendrey, L.M. Proc. Eight annual symposium on energy from Biomass and Wastes. Orlando, Florida. 1983.
36. Moroy, A.; Rodriguez, J., "Influencia del tiempo de retención en el tratamiento de vinazas por filtración anaerobia" Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1989.
37. Camilleri, C., *Ind. Alimentaires et Agricoles*, 1985, June.