



## BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA DE EFLUENTES CERVECEROS

W.A. Tejerina<sup>1</sup>, C.S. Carmona, M.J. Lasci, L. Seghezzi y C.M. Cuevas.

Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales,  
A4402FDC Salta. Tel.: 0387-4255516; Fax: 0387-4255483; Email: [lucas@unsa.edu.ar](mailto:lucas@unsa.edu.ar)

### RESUMEN:

Se estudia la degradación anaeróbica de efluentes cerveceros mediante un ensayo de biodegradabilidad, con miras a su tratamiento mediante tecnología anaeróbica UASB. Se mide la biodegradabilidad de los efluentes mediante una adaptación de las técnicas de Shelton y Tiedje (1984) y Young (1991). Los ensayos se realizaron a 20 y 30 °C. Se cuantifica la degradación por medio de la remoción de DQO del sistema y la generación de gas metano. Se evalúa la degradabilidad de las distintas fracciones (suspendida, coloidal y disuelta) del efluente. Los resultados muestran que la degradación de la materia orgánica disuelta en los efluentes ocurre en aproximadamente 40 días para las dos temperaturas ensayadas. La degradación completa del sustrato (materia orgánica suspendida, coloidal y disuelta) requiere 60 días a 30°C y 90 días a 20 °C. La elevada concentración de materia orgánica hace muy atractivo el tratamiento anaeróbico de los efluentes cerveceros en escala industrial.

**Palabras claves:** biodegradabilidad anaeróbica, aguas residuales, reactores anaeróbicos, efluentes cerveceros

### INTRODUCCIÓN:

Dado que en nuestra sociedad actual es imperioso restaurar la calidad del agua usada y descargada por la industria a los requerimientos de descarga legislados, todas las posibilidades para tratamientos prácticos y económicos deben ser considerados (Speece, 1996).

En los últimos años, el tratamiento anaeróbico de efluentes ha mejorado considerablemente; el mayor progreso se realizó en el entendimiento de los fundamentos y la tecnología de los procesos. Dicho tratamiento ha encontrado una amplia aplicación en varios sectores de la industria de algunos países donde actualmente es aceptado como la tecnología estándar. Desafortunadamente, en muchos otros países éste no es el caso. Mediante el uso de reactores de alta eficiencia, el procesamiento anaeróbico de efluentes puede ahora desafiar el costo de los tratamientos aeróbicos en muchas aplicaciones industriales. Como resultado de sus costos competitivos, el tratamiento anaeróbico ha evolucionado a una tecnología madura y está siendo ampliamente usado para efluentes municipales e industriales; no obstante, los procedimientos adecuados de selección, diseño y operación de procesos anaeróbicos deben ser adaptados a las condiciones locales de cada caso (Hall, 1997).

La tecnología de tratamiento anaeróbica está enfocada a la conversión de la materia orgánica biodegradable en biogas. En general pueden distinguirse cuatro etapas diferentes en todo el proceso: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Efluentes con distintas características pueden ser introducidos en diferentes etapas de ese mecanismo de degradación. Si el efluente de interés está compuesto de material orgánico particulado, éste debe ser primero solubilizado por acción de enzimas exocelulares producidas y excretadas por bacterias hidrolíticas. Esta reacción biológica de solubilización del material particulado es relativamente lenta. No obstante, si el efluente tiene muchos sólidos suspendidos, el tratamiento anaeróbico puede ser logrado permitiendo mayores períodos de contacto entre el sustrato y el consorcio de microorganismos anaeróbicos para permitir que la reacción de solubilización sea efectiva. Por el contrario, la cinética de reacción de las bacterias acidogénicas y metanogénicas es relativamente rápida.

La biodegradabilidad anaeróbica permite determinar la fracción del efluente que puede ser degradada bajo condiciones anaeróbicas y permite determinar la máxima eficiencia que puede alcanzar un reactor anaeróbico a una temperatura y tiempo de residencia determinados, por lo que se convierte en un factor crucial para ser considerado en la aplicación de sistemas de tratamiento biológicos. El ensayo de biodegradabilidad, en muchos aspectos, es un análogo anaeróbico del ensayo de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), en los que se establecen condiciones estandarizadas para facilitar la comparación relativa entre los materiales que se están evaluando. Al comparar la Degradabilidad Anaeróbica con la DBO podemos establecer la conveniencia del tipo de tratamiento a aplicar (anaeróbico o aeróbico).

La fabricación de cerveza consiste de tres procesos: preparación del mosto de cerveza, fermentación y envasado. La descripción tradicional de la fermentación cervecera se ha expresado como el proceso anaeróbico, mediante el cual la

<sup>1</sup> Autor a quien debe enviarse la correspondencia.

levadura convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono. En la descripción actual de la fermentación cervecera, no sólo se contempla la glucosa sino también todo el extracto o carbohidratos fermentables presentes en el mosto.

En este trabajo se analiza el proceso de degradación anaeróbica de efluentes cerveceros mediante un ensayo de biodegradabilidad anaeróbica con miras a la probable aplicación de la tecnología anaeróbica empleando reactores de manto de lodo y flujo ascendente (reactores UASB). Los ensayos se realizaron en botellas a dos temperaturas (20 y 30 °C) y se cuantifica la degradación por medio de parámetros globales como son la reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del sistema y la generación de gas metano. Se compara la degradabilidad de las distintas fracciones (suspendida, coloidal y disuelta) del efluente en estudio.

## MATERIALES Y METODOS

Para el estudio de la biodegradabilidad anaeróbica de los efluentes cerveceros se emplearon como inóculo lodos extraídos de un reactor UASB a escala piloto ubicada en la planta depuradora de líquidos cloacales (PDLC) de la ciudad de Salta. La cantidad de lodo agregado a cada botella con efluente cervecero fue la requerida para la conversión total de la DQO del líquido, de acuerdo a la Actividad Metanogénica Específica (AME), el contenido de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), la constante de hidrólisis ( $K_h$ ) estimada y la fracción biodegradable ( $f_b$ ) de un ensayo previo. El lodo utilizado fue previamente lavado con agua destilada para eliminar remanentes de DQO disuelta, coloidal y suspendida de la fase líquida. El lodo fue aclimatado a la temperatura de operación (20 o 30 °C) durante 48 h antes de iniciar el ensayo.

Se utiliza como sustrato efluente industrial diluido hasta una DQO del orden de 1100 mg/l. Las muestras compuestas de efluentes cerveceros fueron extraídas de la corriente integral de salida de planta de producción de la Compañía Industrial Cervecera (CICSA – Salta). Los análisis físicos y químicos del líquido residual utilizado como sustrato en los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo al Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995). En las muestras se determinó la Demanda Química de Oxígeno total ( $DQO_t$ ), filtrada en papel de filtro Schleicher & Schuell 595½ de 4.4 µm de poro ( $DQO_{c+d}$ ) y filtrada en membrana Schleicher & Schuell ME 25 de 0.45 µm de poro ( $DQO_{d}$ ).

El método utilizado para medir la biodegradabilidad de los efluentes cerveceros es una adaptación de las técnicas propuestas por Shelton y Tiedje (1984) y Young (1991). Los mismos se realizaron a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  usando cámaras termostatzadas. Se utilizaron 14 botellas de suero 1 L incubadas a cada temperatura de operación. Para proporcionar a los microorganismos todos los nutrientes y elementos trazas necesarios se añadió medio mineral preparado de acuerdo a DET (1994). En la Tabla 1 se presenta un resumen del ensayo.

Tabla 1 Ensayo de biodegradabilidad anaeróbica

Botellas	Nombre	Sustrato	Mediciones
1 – 3	$DQO_t$	Muestra entera	Metano
4 – 5	$DQO_{c+d}$	Muestra filtrada papel	Metano
6 – 7	$DQO_d$	Muestra filtrada membrana	Metano
8 – 9	Blanco	Agua destilada	Metano
10 – 14	Controles	Muestra entera	pH, DQO, AGV

Además del sustrato, se agregó a todas las botellas lodo lavado, extracto de levaduras y solución buffer de fosfato para mantener el pH en  $7 \pm 1$ , condición indispensable para la validez del ensayo.

Los blancos se utilizaron para descontar la producción de metano proveniente de la DQO soluble presente en el lodo, y las muestras filtradas se utilizaron para establecer la producción de metano proveniente de la DQO coloidal y disuelta presente en la muestra. Paralelamente, se midió pH, Ácidos Grasos Volátiles (AGV) y la DQO residual de la fase líquida de la muestra entera a intervalos regulares, a los efectos de comparar la producción de metano con la desaparición de DQO. El gas metano producido en las botellas fue medido por desplazamiento de una solución de NaOH al 5%. La AME del lodo lavado fue medida en paralelo a las distintas temperaturas (Guerra, 2000).

## RESULTADOS

Los efluentes de la industria cervecera analizada provienen de tres fuentes principales que incluyen los líquidos de lavado de los filtros de preparación del mosto de cerveza, de los fermentadores y del lavado de las botellas. Para evitar la contaminación innecesaria de las aguas residuales, así como las alteraciones de los sistemas de purificación, los residuos de malta y lúpulo y otros sólidos son retenidos mediante filtros y separados para su utilización como alimento de animales o fertilizantes. En síntesis, los principales efluentes líquidos generados y descargados en la planta son:

- Sala de cocimientos: Los efluentes provienen fundamentalmente de lavado de equipos, siendo los principales contaminantes restos de hez de malta (principalmente material celulósico) que quedan en el filtro y macerador y el trub de malta (principalmente material proteico) que queda en el hervidor, después de la separación de los mismos como residuos sólidos.
- Tanques de fermentación y reposo: Los principales contaminantes de los efluentes son levaduras y proteínas insolubles.

- Sector envasado: Solo se eliminan los líquidos de lavado con el contenido de los envases de cerveza, los cuales en general son escasos pero diversos, restos de cerveza que se pierden en durante el llenado de botellas y el agua utilizada en el pasteurizador.
- Sector Administración y comedor: Los efluentes de este sector corresponden fundamentalmente a sanitarios y comedor, de características comunes a los efluentes domiciliarios.

Los efluentes diluidos utilizados en los ensayos fueron caracterizados con respecto al contenido de sus macronutrientes (Carbono, Nitrógeno y Fósforo). También se caracterizaron con respecto a la presencia de inhibidores potenciales como amoníaco y sulfuros, los cuales son inhibidores inorgánicos comunes del tratamiento anaeróbico. Se encontró que los mismos estaban por debajo de los límites de toxicidad. Los resultados de la caracterización fisico-química de los efluentes utilizados en el ensayo de biodegradabilidad anaeróbica se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización fisico-química de efluente utilizado en el ensayo

Parámetro	Resultado
pH	7.14
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	212
Sólidos totales – 105°C (mg/l)	769
Alcalinidad total (mg/l de $\text{CaCO}_3$ )	61.25
Demanda Química de Oxígeno total (mg/L)	1100
Demanda Química de Oxígeno suspendida (mg/L)	63
Demanda Química de Oxígeno coloidal (mg/L)	77
Demanda Química de Oxígeno disuelta (mg/L)	960
Demanda Bioquímica de Oxígeno- $\text{DBO}_5$ (mg/L)	860
Demanda Bioquímica de Oxígeno ultima (mg/L)	1100
Nitrato (mg/l de $\text{NO}_3^-$ )	< 0.4
Nitrito (mg/l de $\text{NO}_2^-$ )	< 0.03
Amoníaco (mg/l de $\text{NH}_3$ Nessler)	2.65
Nitrógeno total Kjeldhal (mg N /L)	11.25
Sulfuros (mg/l)	< 0.006
Fósforo total (mg/l)	13.54

La AME del lodo cloacal empleado fue de 0.0299 g COD- $\text{CH}_4/\text{g VSS.d}$  a 20 °C y 0.0574 g COD- $\text{CH}_4/\text{g VSS.d}$  a 30 °C. Si bien estos valores son bajos para ambas temperaturas de operación, su influencia en la degradación del sustrato fue atenuada debido a que el mismo se agregó en exceso respecto a la cantidad requerida para la conversión total de la DQO del efluente cervecero.

Normalmente, el período en el que se lleva a cabo el ensayo de biodegradabilidad es arbitrario. Como se desea conocer la biodegradabilidad última la medición de gas metano se realizó hasta que no hubo producción del mismo o no hubo cambios en la concentración del sustrato. El tiempo total de incubación del ensayo fue de 90 días. La evolución en el tiempo de la producción acumulada de metano expresada como mg DQO- $\text{CH}_4/\text{L}$  de las distintas fracciones de la DQO para las dos temperaturas de operación, se presentan en los Figuras 1 y 2.

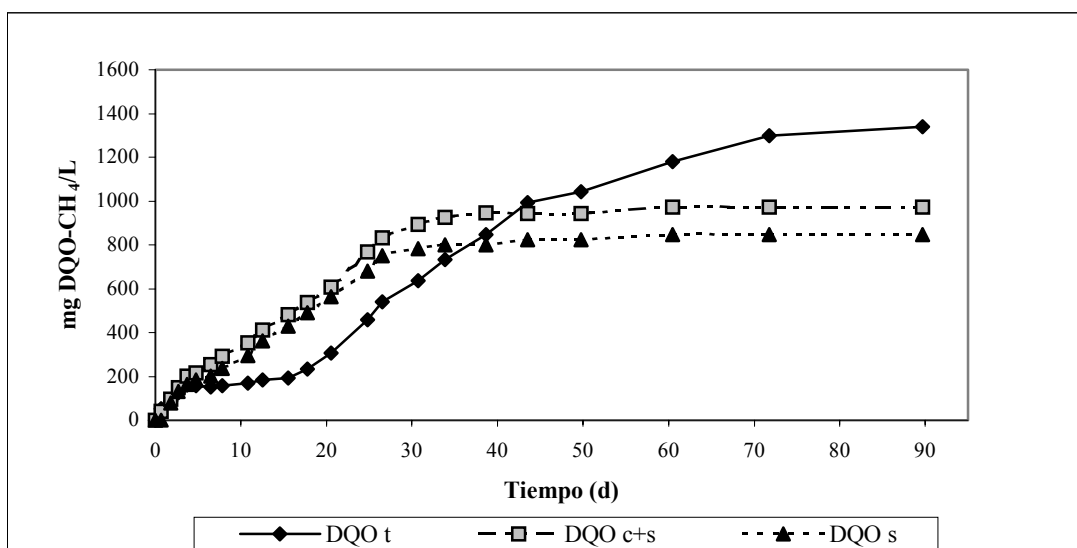


Figura 1: Evolución de la producción acumulada de metano para las distintas fracciones de DQO a 20 °C.

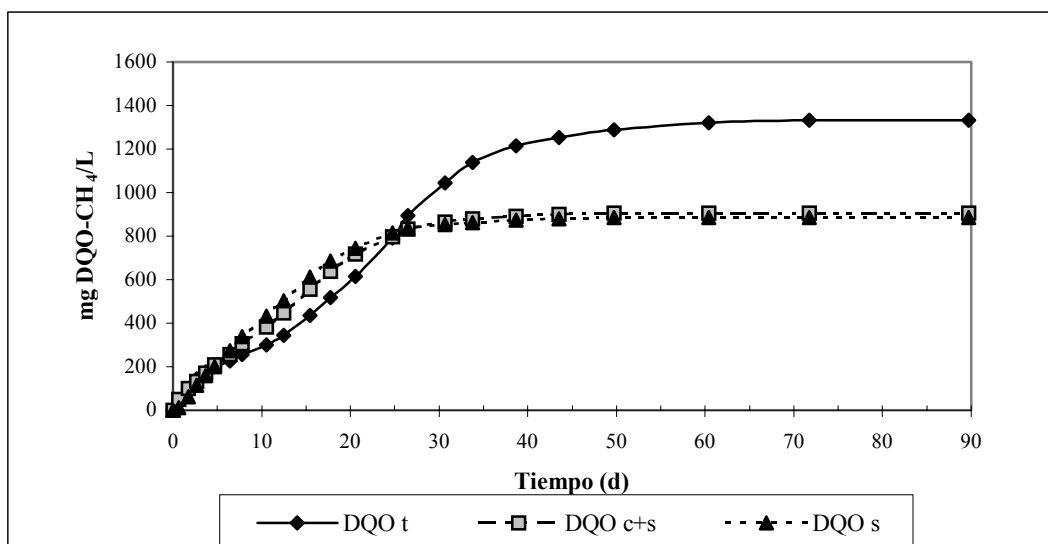


Figura 2: Evolución de la producción acumulada de metano para las distintas fracciones de DQO a 30 °C.

En ambos ensayos se observó un retardo en la producción de metano de las muestras enteras respecto a las muestras filtradas. Dado que este fenómeno sólo se presenta en las muestras enteras que contienen los sólidos suspendidos y no existen compuestos tóxicos presentes, no se puede asegurar si el retardo fue ocasionado por una competencia entre los microorganismos responsables de la degradación del sustrato y las levaduras, o a falta de adaptación de la flora microbiana utilizada al sustrato. Este hecho también se evidenció por una acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) al comienzo de la prueba, a ambas temperaturas de operación. Los AGV promedio durante los primeros 15 días fue de 178 mg/l y 224 mg/l para 20 y 30 °C y los valores promedio de AGV para todo el ensayo fueron de 129 mg/l y 178 mg/l respectivamente. La etapa limitante en este caso fue la metanogénesis. A diferencia de esto, las muestras filtradas muestran desde el principio un mayor equilibrio abatiéndose rápidamente los ácidos grasos volátiles en beneficio de la metanogénesis.

Los tiempos necesarios para lograr la degradación de la materia orgánica disuelta en los efluentes de cerveza utilizados son de aproximadamente 40 días para las dos temperaturas ensayadas. Para lograr la degradación completa del sustrato (materia orgánica suspendida, coloidal y disuelta) se necesitaron 60 días a 30°C y 90 días para la temperatura de 20 °C. Estas diferencias entre materia orgánica soluble y no soluble se puede atribuir a que la primera está constituida en su mayor parte por azúcares simples (glucosa y maltosa) de muy fácil transformación. En cambio la materia suspendida y coloidal comprende fracciones proteicas y de polisacáridos que presentan mayor dificultad para su conversión biológica.

La producción de metano final fue superior a la prevista, situación también reportada para otros efluentes industriales (Real, 1999) no habiéndose indicado si se deben a interferencias en la determinación de la DQO de las distintas fracciones o a errores en el cálculo de la DQO-CH<sub>4</sub>. Se podría pensar que en razón del prolongado tiempo del ensayo de degradabilidad, ocurre el fenómeno de desnitrificación originándose N<sub>2</sub> que eleva la producción de gas medido. Tampoco se observa una buena correlatividad entre los resultados de DQO residual del efluente problema determinada en la apertura de las botellas usadas como control a distintos tiempos, y la DQO calculada a partir de la producción de metano.

El lodo cloacal empleado como inóculo resultó adecuado para degradar el sustrato industrial cervecero. No obstante, sería útil estudiar el comportamiento de un lodo adaptado previamente al sustrato para evaluar la velocidad de degradación de la materia orgánica. La fracción biodegradable anaeróbica ( $f_b$ ) obtenida para las distintas fracciones del efluente de cerveza se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Biodegradabilidad  $f_b$  de las distintas fracciones del efluente de cerveza

Temperatura	Total	Coloidal + disuelta.	Disuelta
20 °C	1.00	0.937	0.883
30 °C	1.00	0.874	0.923

La evolución de la DBO para la muestra entera (DQO<sub>t</sub>) utilizada en el ensayo de biodegradabilidad se presenta en la Figura 3.

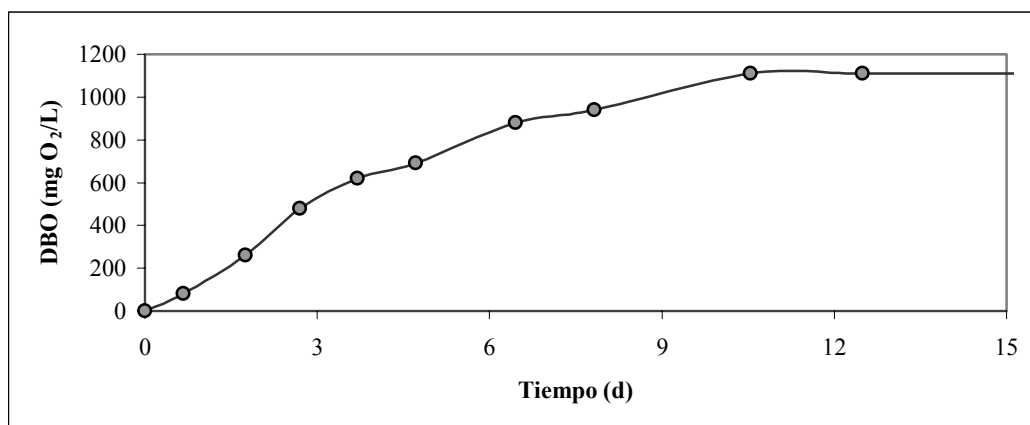


Figura 3: Evolución de la demanda bioquímica de oxígeno

Como se observa, la degradación completa del sustrato se alcanza a los 10 días aproximadamente, es decir 80 días antes que el análogo anaeróbico a 20 °C. Sin embargo, el aporte del oxígeno necesario para lograr este propósito en una aplicación industrial exigiría afrontar grandes costos de operación, lo que hace muy viable un tratamiento anaeróbico para disminuir la elevada carga orgánica de los efluentes de cervecería. En ese sentido, la alternativa más conveniente sería el empleo de reactores basados en la tecnología UASB por ser los más económicos en términos de inversión, operación y mantenimiento.

## CONCLUSIONES

Se ha medido la biodegradabilidad de efluentes de cervecería, siendo el tiempo necesario para la fracción de materia orgánica disuelta (azúcares) de aproximadamente 40 días a las temperaturas de 20 y 30 °C. Para la degradación completa del sustrato (materia orgánica suspendida, coloidal y disuelta) se requieren 60 días a 30°C y 90 días a 20 °C.

El lodo cloacal empleado como inóculo resultó adecuado para llevar a cabo el ensayo de biodegradabilidad del sustrato industrial cervecero.

Se ha determinado la relación DBO/ DQO de muestras de aguas residuales de cervecería, siendo su valor igual a uno. La alta concentración de materia orgánica hace muy atractivo su tratamiento anaeróbico en una escala industrial.

## AGRADECIMIENTO

A la Gerencia y al personal de la Compañía Industrial Cervecera (CICSA-Salta), por el apoyo brindado en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF) (1995). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition. Eaton, A.D., Clesceri, L.S. and Greenberg, A.E., Eds. APHA, AWWA, WEF. Washington.
- DET (Department of Environmental Technology) (1994). Manual laboratory methods and procedures for anaerobic wastewater treatment. Wageningen Agricultural University. 20 pp.
- Guerra, R.G., González, S.M., Trupiano, A.P., Figueroa, M.E., Seghezzi, L. y Cuevas, C.M. (2000). Perfiles de actividad metanogénica específica en un reactor UASB (reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) utilizado para el tratamiento de líquidos cloacales presedimentados. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, ASADES 2000, 4 (2):06.25-06.30.
- Hall, E. R., Anaerobic Treatment of Wastewater in Suspended Growth and Fixed Film Processes. Cap. 2. Design of Anaerobic Processes for Treatment of Industrial and Municipal Waste. Eds. J. Malina and F. Pohland.
- Real, A.F., *et al.* Biodegradabilidad anaeróbica de finos papeleros. (1999). II Congreso de Engenharia dProcessos do Mercosul. Brasil.
- Shelton, D.R and J. M. Tiedje,. (1984). General method for determining anaerobic biodegradation potential. Appl. Environmental Microbiology 47:850-857.
- Speece, R. E., Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters (1996). Vanderbilt University.
- UNSa -Universidad Nacional de Salta- (2000). Curso de Posgrado: Tratamiento anaeróbico de efluentes. Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Naturales, Salta.
- Young, L.Y.. Anaerobic Biodegradability Assay. Cap. 88. Manual of environmental microbiology (1997). Washington, ASM Press.

## ABSTRACT

Studies on anaerobic degradation of brewery waste waters by a biodegradability test in order to be treated by UASB anaerobic technology, was carried out. Biodegradability of waste waters was measured by Sheldon and Tiedje (1984) and Young (1991) adapted techniques. Tests were performed at 20 and 30 °C. Degradability was quantified by COD removal and

methane production measurements. Degradability of suspended, colloidal and dissolved fractions was assessed. Results show that dissolved organic matter degradation is finished in nearly 40 days at 20 and 30 °C. The whole degradation of substrate (suspended, colloidal and dissolved fractions) needs 60 days at 30°C and 90 days at 20°C. The high concentration of organic matter in brewing waste waters makes its large scale anaerobic treatment very attractive.

**Key words:** anaerobic biodegradation, waste waters, anaerobic reactors, brewery waste waters.