

DISEÑO Y EVALUACION DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BIOTECNOLOGICAS

C. Ramos, M.C. Espinosa, M. López, E. Sánchez y R. Pérez*

División de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Apartado Postal 6990,*Centro de Investigaciones del Ozono, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Calle 230, No. 1313 esquina a 15, Siboney, Apartado Postal 6880, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 5 de noviembre de 1996.

RESUMEN. Se abordó la caracterización de las aguas residuales de una planta piloto de procesos biotecnológicos, la evaluación a escalas de laboratorio y banco de las operaciones para la depuración de las aguas residuales en cuestión y la determinación de la tecnología adecuada. Se desarrolló la tarea técnica, el proyecto, la construcción, la instalación y la evaluación de una planta piloto, la cual está preparada para operar a una capacidad máxima de 23 m³/d y cuenta con un tanque de homogeneización, una operación de neutralización, filtros anaerobios y torres para la desinfección por ozono.

ABSTRACT. The characterization of a waste water from the biological-chemical process of a pilot plant, the evaluation at laboratory scale of different waste water treatment processes and the definition of the pilot plant technology, project, construction and its evaluation was carried out. The treatment capacity is 23 m³/d. This plant is composed of equalization tank, neutralization operation, anaerobic digestion (filter) and disinfection by ozone.

INTRODUCCION

Es de suma importancia conocer las características y las posibilidades de tratamiento de las aguas residuales producidas en distintos procesos biotecnológicos, con vistas a la definición de los tratamientos más eficientes y así disponer los efluentes finales sin peligro de contaminación de la fuente hídrica o el suelo. Los procesos biotecnológicos en una planta piloto son variables de acuerdo con la producción y las operaciones, de ahí que las aguas residuales presenten a los componentes que la constituyen en diversas composiciones y concentraciones. En su composición, estas aguas residuales pueden presentar productos tóxicos, disolventes, restos de medios de cultivo, disoluciones amortiguadoras, entre otros.^{1,2}

Los procesos biológicos de tratamiento de biopelícula fija constituyen tratamientos seguros aún cuando se empleen en aguas residuales con presencia de productos tóxicos y/o inhibidores del crecimiento microbiano. La filtración anaerobia como método de tratamiento es eficaz, a pesar de los largos tiempos de residencia requeridos por algunos residuos. Sin embargo, con el desarrollo de procesos con tiempo de residencia reducidos y la compensación económica del proceso por el metano producido hace que este tratamiento se haga más competitivo y atrayente.³ Para un buen funcionamiento de un digestor anaerobio se necesita de un balance adecuado de los nutrientes. Sobre todo, el nitrógeno es uno de los más importantes, ya que es el nutriente que limita el crecimiento de las bacterias y por tanto, la eficiencia de producción de biogás.⁴

Las propiedades de la zeolita como absorbente e intercambiador iónico, son empleadas en diferentes procesos. Esta última propiedad contribuye a la regulación de la emisión y remoción de nitrógeno amoniacal del medio, en los procesos de compostado y tratamiento anaerobio, como consecuencia de la transformación parcial del nitrógeno orgánico en

estos procesos. Por lo anterior, la zeolita se emplea como soporte en filtros anaerobios. Su efecto en la purificación de las aguas residuales ha sido comparado con el de otros materiales.⁵

El tratamiento de las aguas con ozono no sólo se limita a la desinfección sino también rinde múltiples beneficios, dado su elevado poder oxidante. Remueve color, olores y sabores, elimina las algas, oxida contaminantes orgánicos, promueve la floculación de sustancias húmicas, oxida cianuros, sulfuros y nitratos, remueve turbidez o sólidos en suspensión.^{6,7} El empleo del ozono en las aguas residuales, fundamentalmente como tratamiento terciario permite que estos efluentes puedan ser empleados como aguas de reuso, dado que el ozono es capaz de eliminar un importante grupo de organismos contaminantes de ellas (virus, quistes, esporas).⁸

El trabajo tuvo como objetivos llevar a cabo la caracterización de las aguas residuales de una planta piloto de procesos biotecnológicos; la evaluación de las operaciones para la depuración de las aguas residuales en cuestión y la determinación de una tecnología de tratamiento adecuada a las características de esas aguas residuales y desarrollar la tarea técnica, el proyecto, la construcción, la instalación y la evaluación de una planta piloto.

MATERIALES Y METODOS

En la planta piloto de procesos biotecnológicos se realizan operaciones biológicas y químicas.

Las aguas residuales de esta planta contenían: sólidos disueltos, trazas de antibióticos, disolventes y otros productos posiblemente tóxicos propios del lavado o fregado de los equipos y/o materiales, así como medios de cultivo agotados o no, centrifugados y posiblemente contaminados.

En la caracterización físico-química de estas aguas se emplearon los métodos estándar,⁹ así como adaptaciones de ellos.¹⁰ Durante toda la etapa de evaluación, las muestras se tomaron diariamente del tanque de homogeneización de la planta de tratamiento.

En la evaluación de las condiciones de estabilización anaerobia se emplearon reactores anaerobios de película fija, a escala de banco (filtro anaerobio) con las características siguientes: volumen de 7 L, soportes de anillos *rasching* de cerámica y zeolitas en piedras, con tiempos de residencia (t_r) de 1 a 5 d, aplicando recirculación o no.

Con vistas a evaluar la estabilidad de los efluentes anaerobios se emplearon reactores aerobios de biopelícula fija, a escala de banco (filtros biológicos) con las características siguientes: 3,6 L de capacidad y con soporte de anillos de cerámica.

Cada una de las condiciones operacionales se mantuvieron estables por más de 1 mes en cada caso. Tres veces por semana se muestreó tanto la entrada como la salida del reactor.

El tratamiento con ozono se efectuó en un reactor a escala de laboratorio. Se operó a templa, con un flujo de gas (mezcla de oxígeno y ozono) de 3,6 L/h, a 25 °C. Las muestras correspondieron a los efluentes del tratamiento anaerobio, la concentración de la materia orgánica varió de 471 a 837 mg DQO/L (DQO: demanda química de oxígeno) y el pH de 6 a 8, ambos se ajustaron en todos los casos a diferentes valores.

Se aplicaron diferentes dosis de ozono gaseoso (18-100 mg O₃/L agua residual) en dependencia de la concentración de materia orgánica del agua residual, durante 5, 10 y 15 min. Se determinó la concentración de la materia orgánica (DQO) y el pH en las muestras antes y después de la ozonización.

Durante el tratamiento en cada una de las experiencias se midió la absorbancia del gas a la salida del reactor ($\lambda = 256$ nm) en cubeta de flujo de 1 cm de paso óptico.

El procedimiento llevado a cabo en la planta piloto de tratamiento¹¹ consistió de la homogeneización de las aguas residuales, seguido del ajuste del pH a valores entre 7 y 8, mediante la adición de NaOH o HCl, el sobrenadante se trató en los filtros anaerobios. Los efluentes provenientes de estos filtros se trataron con ozono en torres de contacto a contracorriente, para la depuración final del proceso.

RESULTADOS

La tabla I muestra los resultados correspondientes a la caracterización de las corrientes de las aguas residuales provenientes de la planta piloto de procesos biotecnológicos.

En la Tabla I se observa la variación de la concentración de los distintos parámetros medidos en dependencia de las características de la corriente de agua residual que llega diariamente a la planta de tratamiento. De ahí la necesidad de tratamientos factibles de admitir variaciones de la carga orgánica y el pH y la necesidad de una primera operación de homogeneización y posteriormente, de neutralización. Las características y las altas concentraciones de la materia orgánica indicaron la necesidad del empleo de un tratamiento biológico anaerobio.

Se observó una mayor eficiencia en el filtro con los anillos *rasching* de cerámica (Fig. 1), así como un mejor balance referido al pH, lo cual influye en una mayor producción de biogás (Fig. 2).

El aumento de la carga orgánica ratifica un mejor comportamiento del filtro anaerobio de cerámica, en relación con los de zeolita.

TABLA I
Caracterización de las aguas residuales de la planta de procesos biotecnológicos

Indicadores (mg/L)	Valores
DQO	1 120 - 12 535
DBO	266 - 4 533
ST	2 686 - 14 908
STF	579 - 5 185
STV	2 107 - 8 600
Acidez	275 - 2 544
P (ortofosfato)	31 - 878
P total	6,8 - 1 872
pH	3 - 6
DBO/DQO	0,23 - 0,35

DQO y DBO Demandas química y bioquímica de oxígeno.

ST, STF, STV Sólidos totales, totales fijos y totales volátiles.

P Fósforo.

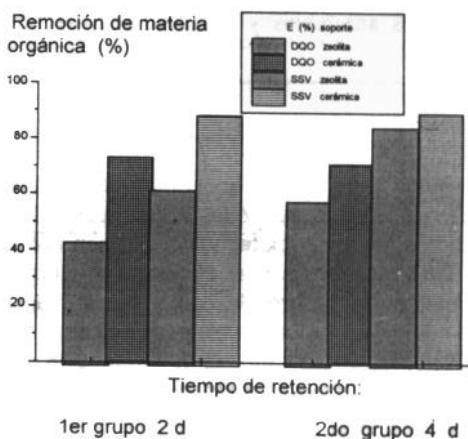


Fig. 1. Comportamiento de los filtros anaerobios ante los soportes de zeolita y cerámica.

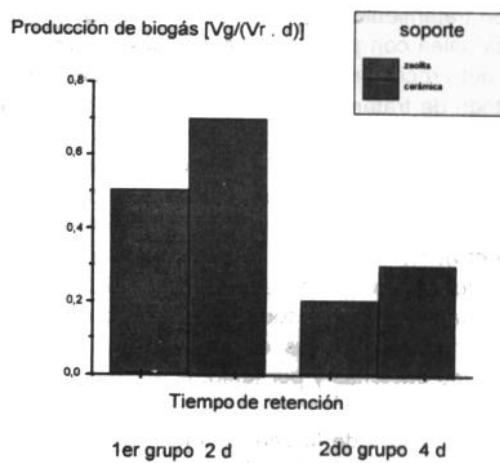


Fig. 2. Producción de biogás en filtros anaerobios con el empleo de zeolita y cerámica como soporte.
[Vg/(Vr · d) volumen de biogás/ (volumen de reactor · día)]

En el caso particular de los residuos biotecnológicos, en los que la concentración promedio de nutrientes es ligeramente inferior a la relación óptima (para el buen balance del proceso de digestión anaerobia), el intercambio de nitrógeno amoniacial entre el soporte (zeolita) y el medio, pudiera influir negativamente en la eficiencia global del sistema, en la producción de biogás, si se compara con el reactor de cerámica con un comportamiento inerte con el agua residual. Todo lo anterior justifica los resultados obtenidos con el empleo de ambos soportes.

En el filtro anaerobio con anillos *rasching* de cerámica según los resultados, puede trabajar con la carga orgánica de

$0,8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, DQO de $2,2 \text{ g/L}$, t_r de 2dyB_H (carga hidráulica) de $0,43 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. Aunque puede aceptar cargas aún mayores, ya que la eficiencia no se alteró significativamente al disminuir el tiempo de estancia a 4a2d .

Una baja carga orgánica inicial (S_0) permitió la obtención de mejores resultados en cuanto a la eficiencia del filtro biológico tanto en la reducción del contenido de la materia orgánica expresada en términos de DBO o con respecto a los nutrientes, digase ortofosfato y nitrógeno amoniacial, trabajando a cargas orgánicas de 16 hasta $220 \text{ g DQO}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ y B_H de $0,2$ a $0,3 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (Tabla II).

TABLA II
Resultados de la evaluación de un filtro biológico

S_0 DQO (mg/L)	B_v [g/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]	B_H [m ³ /(\text{m}^3 \cdot \text{d})]	Recirculación	Remoción		N amoniacial
				DBO	Ortofosfato (%)	
732	220	0,3	No	40	44	38
92	18	0,2	1:1	44	76	*
79	16	0,2	1:1	85	79	11
75	22	0,3	1:1	*	78	*
715	215	0,3	1:1	*	66	*

* Mediciones no realizadas.

DQO y DBO Demandas química y bioquímica de oxígeno. S_0 Concentración inicial de materia orgánica. B_v Carga orgánica. B_H Carga hidráulica.

El tratamiento aerobio mediante filtro biológico no se incluyó en el diseño de la planta piloto por las características del lugar seleccionado y por la falta de espacio para la ubicación de la planta, prevista para su construcción, aunque se mantuvo en la tarea técnica de una planta industrial, ya que disminuye la carga orgánica a tratar por las torres de ozono, lo que favorece la economía del proceso.

Al tratar los efluentes anaerobios con ozono se obtuvo una remoción de la materia orgánica (DQO) con valores variables y mayoritariamente en el intervalo entre 10 y 20%, para tiempos de tratamientos máximos de 15 min.

Se observó una relación lineal entre la concentración de la materia orgánica y la dosis aplicada de ozono (471-837 mg DQO/L agua residual) en dependencia del tiempo de tratamiento sin diferencias significativas del efecto del pH inicial del agua residual.

Se observó que para la mayor concentración de la materia orgánica en las muestras se hace necesario la aplicación de una dosis mayor del ozono/L del agua residual. Las experiencias realizadas a las cargas orgánicas entre 471 y 837 DQOmg/L, a $\text{pH} = 7$ y tiempo de tratamiento de 15 min, se diferenciaron del resto de las corridas. No hubo diferencias significativas en las demás condiciones evaluadas de pH y tiempo de tratamiento para el intervalo de concentraciones de materia orgánica estudiado. Las dosis de ozono por debajo de 50mg / L agua residual resultaron insuficientes para lograr una reducción significativa de la materia orgánica a tiempos de tratamientos menores de 15 min. El valor de $\text{pH} = 6$ fue el más significativo, en comparación con los otros valores (7 y 8), en lograr una mayor efectividad en el tratamiento con el ozono. Los resultados permitieron diseñar las torres a escala piloto para el tratamiento del efluente anaerobio con ozono. Se consideró que el proceso a contracorriente resultaría eficiente.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los distintos procesos a escala de laboratorio y de banco, se diseñó una tecnología compacta a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales de la planta piloto de procesos biotecnológicos. Dicha tecnología incluyó las operaciones de: homogeneización de las corrientes, el ajuste del pH, la digestión mediante filtro biológico anaerobio y el tratamiento con ozono en columnas.¹⁰

En el tratamiento anaerobio se emplearon celosías de barro hexagonales factibles de emplear.

Se observó lo efectivo que resulta el tratamiento, aún con aumentos considerables de la carga orgánica del residual con el tiempo de operación (Fig. 3).

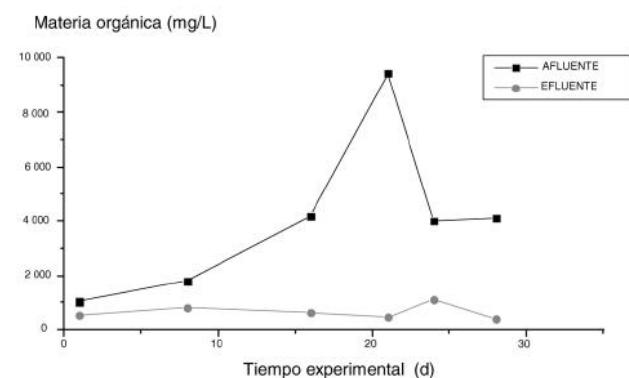


Fig. 3. Comportamiento de la concentración de la materia orgánica en los afluentes y efluentes anaerobios en el filtro anaerobio a escala piloto en función del tiempo de funcionamiento.

La planta piloto operó a cargas orgánicas entre 0,1 y $15,6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, con tiempo de retención de 4 a 2 d, y una eficiencia

ciencia de remoción del 70 al 85 % de la DQO y del 75 al 90 % de la DBO, con una producción de biogás de 3 a 5 vg/(vr · d), con un contenido de metano superior al 90% .

Los resultados correspondientes a la evaluación de la estabilidad del residual a escala piloto (Tabla III) indicaron la factibilidad de la concepción de la tecnología, la cual presenta eficiencias de tratamiento satisfactorias y altas concentraciones de metano en el biogás obtenido. Se pudo observar además, la disminución del color del agua residual tratada.

TABLA III
Evaluación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de procesos biotecnológicos

Indicador evaluado	Eficiencia (\bar{X}) (%)
DQO	81,0
DBO	94,6
P ortofosfato	90,9
P total	87,7
Composición del biogás (% en metano)	>90

CONCLUSIONES

Se caracterizaron las aguas residuales de una planta piloto de procesos biotecnológicos. Las variaciones en la concentración y en la composición de la materia orgánica indicaron que se debían aplicar tratamientos que admiten esas características.

Los altos valores de la concentración de la materia orgánica indicaron la necesidad de un tratamiento secundario biológico anaerobio.

El empleo de los filtros anaerobios de biopelícula fija, de los filtros biológicos y el empleo del ozono resultan factibles para el tratamiento de las aguas residuales de los procesos biotecnológicos y los efluentes anaerobios, ya que garantizan la remoción de la materia orgánica y los nutrientes.

Los resultados permitieron diseñar una tecnología que consta de las operaciones de homogeneización, neutraliza-

ción, digestión anaerobia y tratamiento con ozono. La evaluación de una planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales de una planta de procesos biotecnológicos fue satisfactoria. El procedimiento resulta factible de aplicar a otras instalaciones de procesos similares.

BIBLIOGRAFIA

- Carmaichel J.B. Environmental Pollution Control in the Pharmaceutical Industry, **ONUDI**, 1978.
- División de Estudios Industriales Práctica de utilización del agua y de tratamiento en la fabricación de los 26 medicamentos esenciales, **ONUDI**, 1983.
- Montalvo S. y Araujo J. Tendencias actuales en los estudios sobre tratamientos anaerobios. II Taller Regional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina, 20 al 22 de noviembre, Ciudad de La Habana, Cuba, 1992.
- Borja R., Sánchez E., Weiland P. and Travieso L. Effect of ionic exchanger addition on the anaerobic digestion of cow manure. **Environmental technology**, 14, 891, 1993.
- Borja R., Sánchez E., Weiland O., Travieso L. and Martín A. Kinetics of anaerobic digestion of cow manure with biomass immobilized on zeolite. **The Chemical Engineering Journal**, 54, B 9, 1994.
- Tavares Gasi T.M., Do Amaral L.A.V., Pacheco C.E.M., Gallacci Filho A., García A.D.Jr., Manso Vieira S.M., Junior R.F., Orth P.D., Scoparo M., De Souza Dias M.S. e Magri M.L. Aplicacao de ozonio para a melhoria do efluente de reatores abaerobios de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB), Ed. ABES, Rio de Janeiro, 1989.
- Martin G. and Elmghari-Tabib M. The use of ozone in wastewater treatment. Ozonation manual for water and wastewater treatment, Ed. M.J. Masschelein, A. Wiley, Interscience Publication, New York, 1982.
- Légeron J.P. Comparative study of ozonation conditions in water tertiary treatment. **Ozone: Science and Engineering**, 2, 123, 1980.
- APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition. American Public Health Association, Washington, D.C., 1990.
- Espinosa, M.C. y Ruiz M. Establecimiento de condiciones analíticas adecuadas para la realización de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales de medicamentos. Memorias del XI Seminario Científico, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, **Revista CENIC**, 21, 1990.
- Ramos C., Espinosa M.C. y Sánchez E. Patente RPI 8/90, Oficina Nacional de Innovaciones, Información Técnica y Marcas, Cuba, 1990.