

Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL

Arelis Abalos, Alina Marañón*, José Manuel Fernández, Isabel Aguilera y María Fernanda Despaigne.**

Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente. *Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente. **Planta Refinadora de Aceites Comestibles ERASOL Santiago.

Recibido: 31 de enero de 2007. Aceptado: 20 de julio de 2007.

Palabras clave: aceite de soja, aguas residuales, carga orgánica, contaminación ambiental, caracterización de residuales.
Key words: soybean oil, wastewater, organic load, environmental pollution, wastewater characterization.

RESUMEN. La contaminación de las aguas superficiales y cuerpos receptores es un grave problema ambiental en la actualidad. La bahía de Santiago de Cuba, segunda en importancia económica del país, recibe diariamente el impacto ambiental de 27 focos contaminantes; siendo la industria alimentaria un sector socioeconómico con alta incidencia en la contaminación de sus aguas debido a la descarga sin tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales generadas en diferentes procesos de esta industria. La obtención del aceite de soja (*Glycine max*) en la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL genera aproximadamente 72 m³/d de aguas residuales que son vertidas directamente en la bahía santiaguera sin recibir un tratamiento previo. En este trabajo se presenta la caracterización de las aguas residuales del proceso de refinación de aceite de soja, teniendo en cuenta los parámetros ambientales y las regulaciones de la Norma Cubana para el vertido en cuerpos receptores marinos. Los análisis demostraron que la bahía recibe la descarga de aguas residuales de ERASOL con un pH de 9,7 unidades, 40232,50 mg/L de materia orgánica, 18537,13 mg/L de aceites y 0,2 mL/L de sólidos sedimentables. Estos resultados evidenciaron que las aguas residuales de la planta de aceites ERASOL no cumplen con las especificaciones de la norma de vertido en cuerpos marinos.

ABSTRACT. The pollution of the smattering waters and receiver bodies, is a dangerous environmental problem actually. The Santiago de Cuba bay, the second most important economic in the country, receives daily the environmental impact of the 27 pollute focus; being the food industry a sector socioeconomic with high incidence in the pollution of its waters because of the discharge of a lot of quantity of wastewaters without treatment from different process of this industry. The production of the soybean oil (*Glycine max*) in the refiner plant of eatable oils ERASOL produce approximately 72 m³/d of waste that are poured directly in the bay without any previous treatment. The aim of this work is the characterization of the wastewaters of the refined soybean oil having in mind the environmental parameters and the rules of the Cuban pattern for the drain in receptor marine bodies. The analysis showed that the bay receives a lot of wastewater from ERASOL with 9,7 pH, 40232,50 mg/L of organic loads, 18537,13 mg/L of oils and 0,2 mL/L of sedimentable solids. These results showed that wastewaters of the ERASOL plant don't fulfil with the specifications of the Cuban standard in marine bodies.

INTRODUCCION

La principal fuente de contaminación de ríos, bahías, lagunas y acuíferos es el vertido incontrolado de residuales, los cuales proceden en su mayoría del sector industrial.^{1,2}

La industria alimentaria es un sector socioeconómico con alta incidencia en la contaminación de las aguas a nivel nacional; siendo las industrias láctea, cárnica y productora de aceites vegetales, las de mayor influencia debido al excesivo volumen de aguas residuales que generan. Por otra parte, el contenido oleoso de las aguas residuales de la industria alimentaria acentúan el deterioro de los ecosistemas donde impactan.^{3,4}

El aceite de soja es el aceite vegetal más importante que se produce en el mundo debido a su alta calidad y bajo costo.⁵ El proceso de obtención del aceite de soja en la planta ERASOL de Santiago de Cuba, a partir de la refinación química del crudo (Fig 1) genera aproximadamente 72 m³ de aguas residuales diarias, las cuales se descargan directamente en la bahía sin recibir tratamiento para su vertido. Estas aguas residuales proceden de las etapas de desgoma-do, neutralización y desodorización

Correspondencia:

Dra. Arelis Abalos Rodríguez. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente. Correo electrónico: abalos@cebi.uo.edu.cu

(Fig 1); así como de la limpieza de las instalaciones.

El objetivo de este trabajo es caracterizar y evaluar las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL y calcular la carga orgánica que recibe el cuerpo receptor.

MATERIALES Y METODOS

Localización de la estación de muestreo y toma de muestra

La estación de muestreo se ubicó en el punto de evacuación de los residuales hacia el cuerpo receptor ya que no existe segregación de corrientes residuales en la planta ERASOL. Este punto de muestreo contiene las aguas residuales de la producción, cocina-comedor albañales y aguas de limpieza de las instalaciones. La toma de muestras se realizó en el período diciembre-mayo, con frecuencia quincenal y durante el horario de la mañana, a intervalos de una hora, para preparar las muestras compuestas (triplicadas).

Evaluación de parámetros ambientales

El estudio de caracterización físico-químico y microbiológico de las aguas residuales de ERASOL se realizó utilizando las técnicas descritas en el Standard Methods.⁶ Los parámetros ambientales seleccionados según la Norma Cubana de vertido en cuerpos marinos⁷ fueron: pH, temperatura (T), materia flotante, sólidos sedimentables (SS), Demanda química (DQO) y bioquímica de oxígeno (DBO₅), Aceites y grasas (AG), nitrógeno (N₂), fósforo (P) y microorganismos coliformes fecales (CF).

La carga orgánica, en base a la DQO, se calculó multiplicando este valor por el caudal de residual generado (72 m³) que informó la planta ERASOL y expresando el producto en kg/d.

Los resultados se procesaron utilizando el programa estadístico SPSS 12.0 para Windows y se compararon con la Norma Cubana de Vertido en cuerpos marinos.⁷

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características de los vertidos de la industria alimentaria son muy variables ya que, dependen del proceso específico y de la calidad de la materia prima.⁸ Se conoce que el efluente de aceite de oliva tiene una DQO de 24 000 mg/L^{9,4} mientras que, las vinazas de destilería contienen 73 000 mg/L¹⁰ y las aguas de la industria cárnica pueden tener hasta 2 160 mg/L de DQO.¹¹

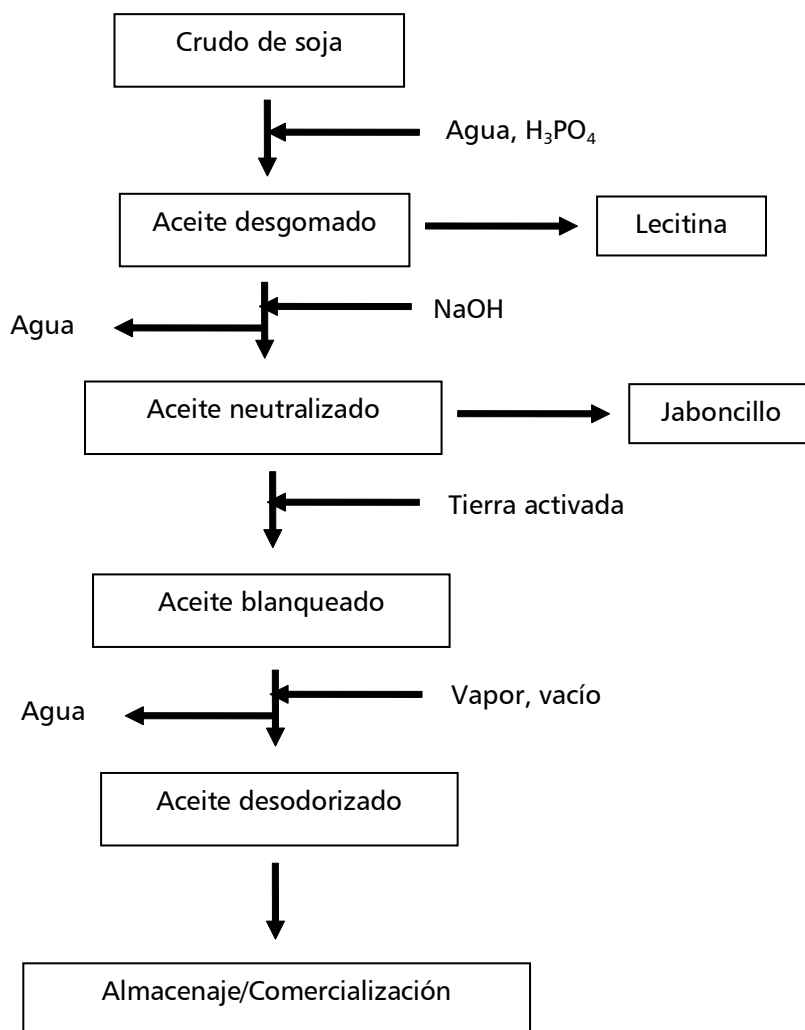


Fig. 1. Diagrama del proceso de obtención del aceite de soja en la planta ERASOL.

Se evaluaron 10 parámetros ambientales y se procesaron 36 muestras para un total de 360 determinaciones. No se evaluó el oxígeno disuelto porque no es un parámetro a considerar en los vertidos de aguas residuales de las industrias alimentarias, aunque la NC 372:2004⁷ lo regula. Por otra parte este parámetro depende en gran medida del contenido de materia orgánica presente en los residuales.

Las aguas residuales de la planta ERASOL son muy alcalinas (Tabla 1) independientemente de que el valor medio de pH detectado (9,7 unidades) no supera el límite máximo permisible (10 unidades). No se detectó material flotante en ninguna de las muestras analizadas, las cuales presentaron color amarillo, aspecto lechoso y fuerte olor a aceite rancio. El olor se debe a la fracción terpénica del aceite de soja, que aún a muy bajas concentraciones, se altera ligeramente por las altas temperaturas.⁵ El color está determinado por la tonalidad amarillina natural del aceite de soja bruto. La alcalinidad

observada está condicionada por la refinación química del aceite y que se fundamenta en el uso de hidróxido de sodio concentrado (3,2 – 3,25 mol/L) en la etapa de neutralización (Fig 1). En esta etapa también se produce el jaboncillo (Fig. 1) que a su vez absorbe otras impurezas del aceite.^{12,13} La refinación física de los aceites vegetales es más recomendable que la química, tanto por el menor consumo de agua como por la eliminación de la sosa del proceso; sin embargo, solo es viable cuando el contenido de gomas en el aceite es muy bajo, desventaja que posee el crudo de soja ya que su contenido de fosfátidos (lecitina) puede alcanzar entre 1,5-2,5 %. La concentración de sosa a utilizar en la refinación de aceites depende del contenido de ácidos grasos libres en el crudo.

La temperatura de las aguas residuales (44,6 °C) estuvo por encima de lo regulado por la Norma Cubana,⁷ 40°C, debido a la utilización del agua como refrigerante y al bombeo directo del jaboncillo hacia el tanque de aguas residuales y no al tanque

Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites ERASOL.

Parámetro	pH Unidades	T (°C)	SS (mL/L)	N ₂ (mg/L)	P (mg/L)	CF (NMP/100 mL)
$\bar{x}^1$	9,7	44,6	0,2	7,30	48,27	2000
SD	0,1	5,5	0,1	0,07	0,22	100
NC ²	10	40	5	10	2	1000

¹ Valor promedio para n = 36, ² NC 372: 2004 para cuerpo receptor clase E.

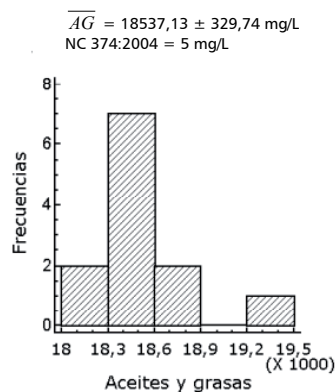


Fig. 2. Histograma de frecuencia para el contenido de aceites y grasas en las aguas residuales de la planta ERASOL.

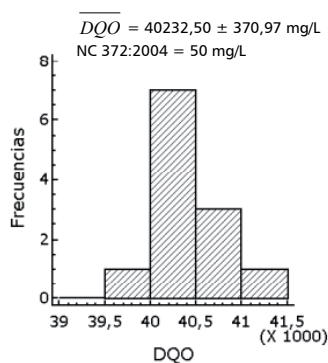


Fig. 3. Histograma de frecuencia para el contenido de materia orgánica expresada como DQO en las aguas residuales de la planta ERASOL.

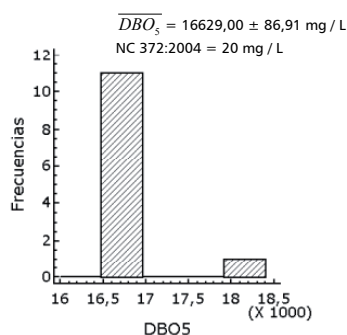


Fig. 4. Histograma de frecuencia para el contenido de materia orgánica expresada como DBO₅ en las aguas residuales de la planta ERASOL.

de jaboncillo. La contaminación térmica observada contribuye a la reducción de la solubilidad del oxígeno y la aceleración de los procesos de putrefacción.¹⁴

La presencia de microorganismos coliformes en aguas residuales industriales permite valorar contaminación por albañales y materia fecal.^{14,15} El análisis de las muestras reveló que los coliformes totales detectados (2000 NMP/100 mL) fueron del tipo fecal, principalmente *Streptococcus faecalis* (85 %) y *E. coli*, como consecuencia de la mezcla de los residuales con aguas albañales, al existir una sola vía de evacuación de residuales en la planta. La bahía de Santiago de Cuba, cuerpo receptor con actividad marítimo - portuaria, (clase E según la NC 372:2004) admite hasta 1000 NMP/100mL de coliformes⁷ y por tanto, la descarga de las aguas residuales de ERASOL requieren de un tratamiento terciario para la eliminación de estos patógenos.

La descarga de aguas residuales con un alto contenido de sales inorgánicas y otros compuestos químicos en ecosistemas acuáticos favorece la pérdida de la calidad y su rápido deterioro.^{17,18} La concentración de fósforo que arrastran las aguas residuales de ERASOL (48,27 mg/L) estuvo muy por encima del valor que exige la Norma Cubana (Tabla 1), 2 mg/L,⁷ situación determinada por la operación de desgomado del aceite de soja crudo (Fig. 1), el cual contiene hasta 2,5 % de gomas y compuestos mucilaginosos.⁵ Cuanto mayor es el contenido de gomas mayor cantidad de ácido fosfórico se emplea en la refinación y más fosfatadas serán las aguas residuales. Usualmente se utiliza ácido fosfórico al 75 %.⁵ La concentración de nitrógeno (7,70 mg/L) estuvo por debajo del límite máximo permisible que regula la NC 372:2004⁷ (Tabla 1); aunque superior a la detectada en residuales petroquímicos donde ha habido contaminación por albañales.² La relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ fue 1:3 aproximadamente en todas las muestras, evidencia de contaminación no

reciente. El nitrógeno presente en aguas residuales recién vertidas aparece fundamentalmente como materia proteica y urea y la transformación microbiana de estas moléculas a amoníaco permite evaluar el tiempo de vertido del residual.^{19,20}

El contenido de sólidos sedimentables (0,2 mL/L) estuvo dentro de los límites permisibles de la NC 372:2004 (Tabla 1); no obstante, el contenido de sólidos totales calculado fue bastante alto (187 a 960 mg/L), determinado fundamentalmente por el jaboncillo¹² (Fig. 1) que confiere turbiedad a los residuales. El uso de hidróxido de sodio y ácido fosfórico a altas concentraciones se reflejó en el contenido de los sólidos totales fijos (230 mg/L).

La materia orgánica en las aguas residuales de la planta ERASOL (Tabla 1) se comportó por encima de los valores normados en todos los casos, reflejando el alto grado de contaminación con compuestos orgánicos (ácidos grasos, fosfátidos, terpenos, materia insaponificable, gomas)⁵ y una operación de desengrase ineficiente. La DQO y la DBO₅ alcanzaron valores de 40 232,50 mg/L y 16 629,00 mg/L respectivamente; mientras que el contenido de aceites y grasas fue de 18 537,13 mg/L. La relación DBO₅/DQO fue de 0,41, valor que sugiere la presencia tanto de contaminantes orgánicos fácilmente biodegradables (ácidos grasos), como resistentes a la biodegradación microbiana (esteroles, escualeno, celulosa, hemicelulosa).²¹ Los ácidos grasos se transforman hasta CO₂ y H₂O a través de la β-oxidación.²² Algunas bacterias como *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus erythropolis* y *Torulopsis bombicola* utilizan los ácidos grasos en la síntesis de tensoactivos^{23,13,24} y polihidroxicanoatos.²⁵

Los histogramas de frecuencias (Figuras 2, 3 y 4) evidenciaron que la materia orgánica en algunos muestreos alcanzó valores más altos que la media. En el caso de aceites y grasas (Fig 2) en la mayoría de las muestras se obtuvieron valores entre

18 300 y 18 600 mg/L; no obstante, en el cuarto muestreo se detectaron hasta 19 279 mg/L, incremento este que se debió a la evacuación de jaboncillo (Fig 1) hacia el tanque de residuales. El jaboncillo, uno de los principales subproductos de la refinación de aceites vegetales, se emplea en la obtención de jabón líquido por el alto contenido de ácidos grasos libres los cuales son removidos del crudo durante la refinación en la etapa de neutralización y son degradados por los microorganismos vía β -oxidación.²¹ El incremento producido en el contenido de aceites y grasas se reflejó directamente en el contenido de materia orgánica que se detectó (expresada como DQO y DBO₅) en ese muestreo; alcanzándose valores de 41 350 y 18 230 mg/L para DQO (Fig 3) y DBO₅ (Fig 4) respectivamente. En el análisis de la DQO (Fig 3) se observaron otros incrementos en los valores de este parámetro, correspondiéndose con un aumento en el contenido de materia insaponificable (esteroles, tocoferoles, escualeno)⁵ en el crudo. La materia insaponificable es muy difícil de biodegradar y no se reflejó en la DBO₅ (Fig 4).

La carga orgánica que recibe la Bahía procedente de la planta ERASOL es de 2 896,74 kg/d, valor muy superior al indicador de carga orgánica estimado para las industrias de aceites comestibles en ausencia de sistema de tratamiento, 21 kg/día.²⁶

Un análisis de correlación entre los parámetros ambientales evaluados evidenció fuerte correlación ($p \leq 0,5$) para los parámetros sólidos sedimentables - DQO ($r^2 = 0,8445$), AG - DQO ($r^2 = 0,7950$), AG - DQO ($r^2 = 0,7950$) y

DQO - P ($r^2 = 0,7583$). Como se observa por los valores del coeficiente de correlación el 79,5 % de las variaciones de los indicadores de materia orgánica (DQO y DBO₅) dependen de la cantidad de aceites y grasas que arrastran las aguas residuales.

CONCLUSIONES

La caracterización de las aguas residuales de la planta ERASOL reflejó que estas no cumplen con la NC 372:2004 para el vertido en cuerpos receptores marinos, y que la bahía recibe 2 896,74 kg diarios de materia orgánica.

BIBLIOGRAFIA

- Orozco C., Pérez A., González M., Rodríguez F y Alfayate J. Contaminación ambiental: una visión desde la Química. Thomson ed. España. pp. 590, 2004.
- Pérez N., Maraño A., Bermúdez R., Aguilera I. y Abalos A. *Revista Cubana de Química*, XVI, 53-60, 2004.
- González J., García A. y Romero F. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 22, 501-510, 1982.
- Aktas E., Imre S. and Ersoy L. *Water Res.*, 35, 2336-2340, 2001.
- Bailey A. E. Edible Oil and Fat products: oils and oil seeds. Hui YH (ed), John Wiley and Sons, INC NY, USA pp 497-601, 1996.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington D.C. USA. pp 1193, 1998.
- Norma Cubana NC 372:2004. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. *Oficina Nacional de Normalización*. La Habana. Cuba. pp. 11. 2004.
- Rodier J. Análisis de las aguas, aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Omega. Barcelona, pp 250, 1995.
- Mercadé M., Manresa A., Robert M., Espuny M., de Andrés C., Guinea J. *Biores. Technol.* 43, 1-6, 1993.
- Rodríguez S., Fernández M., Bermúdez R., Morris H. *Revista Iberoamericana de Micología*, 20, 164-168, 2003.
- Wahaab R. and El awady H. *The Environmentalist*, 19, 61-65, 2001.
- Dowd M. J. *Chromatography A*, 816, 185-193, 1998.
- Benincasa M., Abalos A., Oliveira I. and Manresa A. *J. Antoine van Leevenhoek*, 58, 1-8, 2004.
- Saiz J. *Environ. Pollution*, 96, 351-359, 1997.
- Tallon P., Magajna B., Lofranco C. and Leung K. *Water, Air and Soil pollution*, 166, 139-166, 2005.
- Gauthier F. and Archival F. *Water Research*, 35, 2207-2218, 2001.
- Ramakrishna D and Viraraghavan T. *Water, Air and Soil pollution*, 166, 49-63, 2005.
- Díaz R. and Rosenberg R. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 33, 245-303, 1995.
- Paerl H. *Advances in Microbial Ecology*, 11, 305-344, 1990.
- Shrimali M. and Singh K. *Environ. Pollution*, 112, 351-359, 2001.
- Gerba C. Environmental Microbiology, Chapter 21. Academic Press. NY. USA. pp. 505-543, 2000.
- Lie Ken Jie M. Pasha M. and Syed-Rahmatullah. *Natural Products Reports*, 14, 163-189, 1997.
- Abalos A., Pinazo A., Infante M., Casals M., García F. y Manresa A. *Langmuir*, 17, 1367-1371, 2001.
- Espuny M., Ejido S., Mercadé M. y Manresa A. *Toxicol. Environ. Chem.*, 48, 83-89, 1995.
- Sudesh K. and Abe Y. *Prog. Polym. Sci.*, 25, 1503-1555, 2000.
- García J. Evaluación aproximada de la carga contaminante afluente a zonas costeras proveniente de fuentes terrestres. Informe Final. Proyecto CEPOL-Fuentes Terrestres. UCR-PNUMA-Jamaica. pp. 30, 1991.