

INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUALES LÍQUIDOS INDUSTRIALES EN LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO MÁS ADECUADO

Xiomara Cabrera Bermúdez,* Ana M. Contreras Moya y Zenaida Herrera Rodríguez,

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

Recibido:

Aceptado:

Los recursos hídricos en nuestro país están afectados en cierta medida por las descargas de residuales procedentes de los asentamientos humanos y las actividades agropecuarias e industriales con tratamientos deficientes. Las aguas residuales industriales en general, poseen por sí mismas propiedades ofensivas que pueden transmitirse al cuerpo receptor donde son descargadas. Se hace necesario estudiar las propiedades físico-químicas y biológicas de estas aguas, no sólo para poder conocer su poder contaminante y así estimar los problemas ambientales que pudiera generar su vertimiento inadecuado sino también para poder diseñar, controlar y operar los distintos procesos de tratamiento o depuración de estas aguas. En este trabajo se presenta una metodología para la selección del sistema de tratamiento de residuales líquidos industriales a partir de su caracterización químico-física y biológica. Se ejemplifica con la caracterización de residuos líquidos de la industria azucarera a partir de la revisión de trabajos realizados durante más de 20 años por estudiantes en trabajos de diploma y tesis de maestría en nuestra institución docente. Finalmente, se concluye que la selección debe basarse tanto en el Análisis Técnico como en el Análisis Económico, para seleccionar la mejor alternativa y se particulariza en el caso en que por las características del residual se aconseje realizar tratamiento químico-físico. Esta metodología sirve de base para el desarrollo de modelos y redes neuronales de gran uso en las técnicas de inteligencia artificial.

Palabras clave: Aguas residuales industriales, caracterización, tratamiento, selección

THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL WASTEWATER ON THE SELECTION OF THE MOST ADEQUATE TREATMENT SYSTEM

In our country, the aqueous resources have being affected in some way for the wastewater discharges from human slums or population centres, the agriculture and industry activities some of them with deficient treatments. The industrial wastewaters have for their self offensive properties that can be transmitted to the receptor being where they are discharged. The study of physical, chemical and biological properties of wastewaters is important not only for estimating the environmental problems that they could cause if they are spilled inadequately in some receiving water body but for designing, control-

* qfx@uclv.edu.cu, Telef.: 53 42 211825 (6) Ext. 105

ling and operating the different wastewaters treatment processes too. In this paper a methodology for the selection of the industrial wastewaters treatment system in dependence of the physical-chemical and biological characterization of this wastewater appears. This methodology is exemplified with the wastewaters characterization results of Cuban sugar industries, through the revision of diploma and master thesis works carried out during more than 20 years by students of our educational institution. This methodology is important to develop models and neuronal nets that are used in artificial intelligent techniques. Finally, it is recommended that the selection of the industrial wastewaters treatment system must be based on the technical analysis combined with economic analysis, in order to select the best alternative and it is distinguished in the case in which the wastewater characteristics advise to make physical and chemical treatment.

Key words: Sugar Industry wastewaters, characterization, treatment system, selection

INTRODUCCIÓN

Es conocida la afectación que produce al medio ambiente y en especial a los recursos hídricos de un territorio la descarga sin previo tratamiento o con tratamientos deficientes de las aguas residuales industriales, las procedentes de asentamientos humanos o de las actividades agropecuarias, constructivas, etc.

Estos efectos negativos sobre los cuerpos receptores o contaminación de las aguas, según Bueno³, traen aparejados de por sí otros efectos como son la destrucción de los limitados recursos hídricos, la disminución de la calidad del agua para abastecimiento de la población o uso para riego o la industria, así como la supresión del poder auto depurador de cauces receptores con afectación de la flora y la fauna. Se afectan además los asentamientos urbanos e industriales, y es de por sí un peligro potencial que atañe directamente a la salud pública, pues influye sobre la economía de la sociedad, sobre el recreo y el esparcimiento. Se exige por ello un control riguroso y un tratamiento adecuado de las aguas para los diversos usos.

Para poder conocer el poder contaminante de las aguas residuales se hace necesario estudiar sus propiedades físico-químicas y biológicas y de esta forma estimar los problemas ambientales que pudieran causar si son vertidas inadecuadamente en algún cuerpo receptor. Por otra parte para poder diseñar, controlar y operar los distintos procesos de depuración de aguas residuales se hace necesario también la determinación de dichos parámetros.

Entre los parámetros más comunes para realizar una adecuada caracterización se encuentran según Díaz⁶, la temperatura, el pH, la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que es la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación (oxidación) biológica de la materia orgánica presente en un residual. La determinación de la DBO está basada en medir el oxígeno disuelto antes y después de un período de incubación de 5 días durante el cual los microorganismos usan el oxígeno disuelto en convertir la materia orgánica en material celular y se denota como DBO₅.

Además, se acostumbra a determinar los sólidos pues su determinación es de gran utilidad al trazarse la línea tecnológica de depuración de un residual. Los sólidos totales (ST) son aquellos sólidos que constituyen el residuo después de evaporar una muestra a sequedad a una temperatura entre 103-105 °C. En la literatura aparecen diferentes formas de clasificarlos. Díaz,⁶ los divide en suspendidos (STS) y filtrables (STF). Los suspendidos a su vez se dividen en sedimentables y no sedimentables y los filtrables en coloidales y disueltos (SD). Todos estos tipos pueden a su vez clasificarse en sólidos fijos (SF) y volátiles (SV). Los fijos son aquellos que no se volatilizan al ser incinerados a 550 °C durante una hora y los que sí lo hacen a esas condiciones son los volátiles.

También se determinan el contenido de nitrógeno (N) y de fósforo (P), así como los aceites, grasas, cloruros, coliformes totales, metales pesados y compuestos tóxicos, en dependencia de la naturaleza

del residual. Las técnicas específicas para los diferentes tipos de análisis aparecen referidas en los Métodos Standard de Análisis¹ (APHA WAPA) para controlar calidad del agua y agua residual.

En un trabajo anterior Herrera y otros⁸ abordaron la problemática de la contaminación ambiental por residuales de la industria azucarera cubana a partir de la aplicación del Análisis Complejo de Procesos (ACP) que emplea las herramientas de los diagramas heurísticos en el análisis y métodos de tratamiento a emplear, particularmente en el caso de los tratamientos químico-físicos de coagulación floculación y su aplicación en específico a las aguas residuales de una refinería de azúcar de caña. El presente trabajo puede considerarse como continuación del anterior pero en este caso se emplea la metodología de análisis a otros residuales líquidos industriales cubanos y, a su vez, sirve de base para realizar una primera aproximación a la construcción de modelos híbridos CBR-ANN, donde se combina el razonamiento basado en casos (CBR) con redes artificiales neuronales (ANN).

En los últimos años, las redes artificiales neuronales (ANN) se han utilizado en la descripción y el modelado de procesos del tratamiento de aguas residuales. Estos modelos potencialmente pueden contener una gran cantidad de información sobre el sistema que se modelará, incluyendo el mismo tipo de información contenido en los métodos determinísticos convencionales. Una revisión exhaustiva del uso de los modelos de este tipo en problemas ambientales fue hecha por Gamal.⁶ En el campo de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), los modelos CBR se han utilizado para diseñar la mayoría de las operaciones convenientes para un tipo de contaminantes determinados a la entrada de la planta.^{2,11,12}

El objetivo del trabajo es proponer una metodología para la selección del sistema de tratamiento de residuales líquidos industriales más adecuada a partir de conocer la caracterización químico-física y biológica de dicho residual y que además pueda servir para la aplicación de las técnicas de inteligencia artificial al proceso de depuración de aguas residuales.

Se recopilan los resultados de la caracterización de residuos líquidos de diferentes tipos de industrias

cubanas como los de la industria azucarera, industria papelera, química, alimenticia y agropecuaria, entre otras, a partir de la revisión de los trabajos realizados durante más de 20 años por estudiantes de trabajos de curso, de Diploma y Tesis de Maestría en nuestra institución docente, lo que permite llegar a establecer la metodología analizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Tabla 1 se presenta la caracterización químico-física de las aguas residuales de diferentes industrias cubanas.^{8,10,13} En ella aparecen reportados los parámetros anteriormente mencionados.

Durante muchos años la Industria Azucarera fue la más importante del país, y cuenta con centrales azucareros, destilerías de alcohol, fábricas de levadura panadera y torula, dextrana, madera artificial y otros. Esta industria es de las más contaminantes de nuestro país, no sólo por su gran concentración de carga contaminante sino por los volúmenes tan elevados que genera, a pesar de los numerosos esfuerzos realizados por disminuir esta contaminación tratando de aprovechar sus residuales dentro del mismo sector, como en el fertirriego de las áreas cañeras, alimentación animal, producción de biogás, etc.

Los volúmenes aportados y las propiedades y composición de las aguas residuales de esta industria, dependerán no solo de su origen y procedencia, sino del grado de eficiencia logrado en el proceso de fabricación y de la disciplina tecnológica mantenida en las diferentes operaciones industriales. En este caso, sólo las aguas con la incorporación de detergentes, germicidas o ácidos empleados en la limpieza de los equipos y estructuras de fabricación dan origen a las aguas residuales.

Esto queda plasmado en la Tabla 1a, donde puede observarse que los valores de flujos de aguas residuales son elevados para los diferentes centrales azucareros analizados y aunque la norma establecida para este sector en el país es de 0,5 m³ de agua residual por tonelada de caña procesada, este índice no se cumple en la mayoría de los casos (NC-27 1997).⁴

Los valores de DBO y DQO son bastante elevados, superando los valores reportados por la bibliografía especializada del ICIDCA⁹ y la relación entre estos parámetros (DBO/DQO) en el caso de los centrales se encuentra por encima de 0,4, lo que según Hernández⁷ es característico de un residual biodegradable, donde el tratamiento biológico juega un papel fundamental.

Los residuales son ligeramente ácidos, agravados en algunos casos por el vertido indiscriminado de los residuales ácidos de las limpiezas de los equipos de evaporación.

Los valores de N y P son relativamente altos, aunque

inferiores a lo predicho por la literatura para las aguas residuales de centrales azucareros, no obstante estos residuales pueden ser utilizados para fertirriego por el alto contenido de nutrientes. Los sólidos totales fijos son en todos los casos superiores que los volátiles, mientras que en el caso de los sólidos disueltos y suspendidos no se observa esta regularidad.

El elevado poder contaminante de estos residuales unido a otros problemas de eficiencia en sus procesos productivos provocó que a finales de la década de los noventa se reanalizara esta industria y muchos de estos centrales se cerraran o se reconvirtieran para otras producciones.

Tabla 1. Resumen de la caracterización químico-física de las aguas residuales de diferentes industrias cubanas

Industria	Flujo residuales (m ³ /d)	Temp. (°C)	DQO total (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO/DQO	pH	N total (mg/L)	Fósforo (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	SDT (mg/L)	SDV (mg/L)	SS (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE AZUCAR CRUDO																
Literatura		38	5000			6.1	50	75	4360	3330	1120	3750	3060	220		
CAI 1	2718		6187	4712	0.8	5.6	37	13	6005	2873	3053		2494	964	635	383
CAI 2			7400	3130	0.4	5.8	42	2.5	4406	1196	3210		956		1510	2995
CAI 3	1727		2770	1386	0.5		21	32								
CAI 4			9603	3779	0.4	5.6	14	18	4984	990	3974		494	1370	874	496
CAI 5	2203		6746	4349	0.6	4.6	85	13	16655	6934	9720		8034	3301	1262	2038
CAI 6	927		3254	1627	0.5		25	38								
CAI 7			11120			7.6	9.1	8.3	3750			1620	1010			
CAI 8	1409		3901	1949	0.5		30	45								
CAI 9	1250		6500	3250	0.5		50	75								
RESIDUALES DE REFINERIAS DE AZUCAR																
CAI 1	3000		1787			6.6	38	2.1	22493	9323	13164	19889	8251	2718	1621	1097
CAI 5	740	45	4331			7.5	17	14	5747	4038	1824					
CAI 7			45000			7.7	54	1.36	391	357.6		223.2	222.4			
RESIDUALES DE DESTILERIAS DE ALCOHOL																
CAI 11			48019	29914	0.6		2104		47704	35039	10020					
CAI 9	184		62500	18125	0.3		0.92	0.33								
CAI 12			43065			4.6			525	182	344	470.59	294	55	3	50
CAI 13	1750	77	60000	29000	0.5	4.5	690	350	53060	58560	14500	43460		9600		
RESIDUALES DE TORULA																
CAI 14		38	5389			3.8	169	76	6583					102		
CAI 15	1076		48			4.8	7570	320	8764	4980	3784					

En el caso de los complejos agroindustriales con refinería y las destilerías alcoholeras presentan una mayor carga contaminante que los centrales de crudo, sobre todo en las destilerías, donde las variaciones o irregularidades diarias en el caudal y carga orgánica de sus residuales, surgen fundamentalmente en los períodos de limpieza de los fermentadores, tanques de batición y cremas, que se realizan en intervalos aproximados de 8 horas.

Por otra parte, en el caso de las fábricas de torula se destacan los valores tan elevados de nitrógeno, esto denota un residual con alto contenido de nutrientes, que es equivalente a un residual con alto valor agregado.

Lógicamente antes de realizar cualquier tratamiento externo a los residuales es necesario tomar en cuenta dónde van a ser vertidos estos residuales tratados,

las normas de vertido y un análisis del proceso en general que permita minimizar corrientes de residuales y reutilizar las mismas en diferentes partes dentro de la misma industria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Metodología propuesta

En el caso que sea inminente la necesidad de hacer tratamiento externo, deberá partirse del análisis de las características del residual, en especial tomar en consideración la magnitud de la carga contaminante, el pH de la corriente residual, la relación DBO/DQO, así como la cantidad de los sólidos y su calidad, es decir, su posibilidad de sedimentar o no. De las características del residual, se parte para decidir la secuencia de procesos o etapas que garanticen el tratamiento requerido antes de verter estos residuales al medio.

En la Figura 1 se presenta el diagrama heurístico que permite valorar la metodología que se propone en el presente trabajo para el tratamiento de residuales líquidos. El análisis comienza con la caracterización químico-física y biológica del residual y se continúa con la evaluación de la relación de DBO/DQO. Si esta relación es superior a 0,4 se recomienda incluir tratamiento biológico y si esta relación es inferior a 0,4 el residual es no biodegradable, por lo que los procesos de tratamiento químico-físicos serán indispensables para garantizar

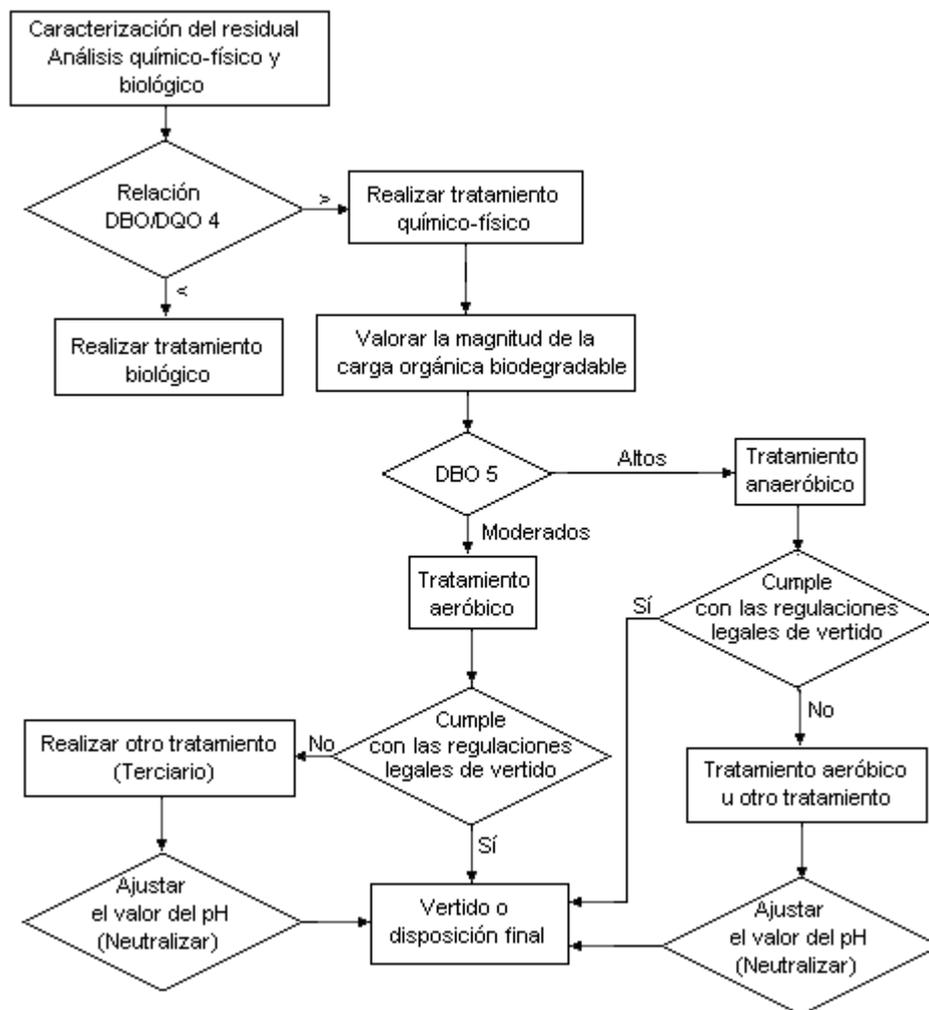


Figura 1 Diagrama heurístico que muestra la metodología de análisis propuesta para el tratamiento de residuales líquidos

un adecuado tratamiento previo al vertido final. En ese caso se continuaría con la metodología propuesta por Herrera y otros.⁸

De igual manera, para el caso en que se haya seleccionado el tratamiento biológico de residuales como el principal (Relación DBO/DQO > 0,4) se acostumbra a valorar además la magnitud de la carga orgánica biodegradable para decidir, dentro de los diferentes tratamientos biológicos, cuál es el idóneo a seguir. De manera que es residuales con elevados valores de DBO₅ es recomendable utilizar tratamiento anaeróbico en la mayoría de los casos, seguido de tratamientos aeróbicos u otros específicos. En este caso también es necesario considerar el valor del pH, porque si este parámetro es bajo, indicando residual ácido requiere previamente una neutralización, para garantizar el funcionamiento exitoso del tratamiento seleccionado.

Para residuales con valores moderados de DBO₅ se recomienda utilizar tratamiento aeróbico u otros en dependencia de las características específicas del residual. Los contenidos de nutrientes constituyen un elemento importante para el desarrollo de cualquiera de los tratamientos biológicos.

Es importante señalar que resulta fundamental tomar en consideración los criterios de expertos a la hora de decidir la secuencia de tratamientos óptima, no obstante a continuación se exponen algunas secuencias de tratamiento propuestas para la industria objeto de estudio.

Industria azucarera y sus derivados

· Azúcar crudo

- Homogenización y neutralización.
- Laguna anaeróbica.
- Laguna facultativa.
- Laguna aeróbica.
- Fertirrigación.

· Azúcar refinado

- Homogenización y neutralización.
- Coagulación floculación.
- Sedimentación
- Laguna anaeróbica.
- Laguna facultativa.
- Laguna aeróbica.
- Fertirrigación.

· Destilería

- Se recomienda el reuso en fábricas de Torula o alguna otra recuperación del contenido proteico
- Tratamiento anaeróbico. (Biogás)
- Laguna aeróbica.
- Sedimentación.
- Tratamiento anaeróbico (UASB)

CONCLUSIONES

1. Se propone una metodología para la selección adecuada de tratamiento de residuales líquidos industriales.
2. Esta metodología depende fundamentalmente de la caracterización químico-física y biológica realizada al residual líquido.
3. Junto a la metodología propuesta se plantea que el análisis técnico o estudio de tratabilidad y factibilidad deben ser combinados con el análisis económico, para seleccionar la mejor alternativa.
4. Esta metodología puede ser empleada de manera satisfactoria en la aplicación de inteligencia artificial mediante la combinación de modelos híbridos al tratamiento de residuales líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA WAPA: *Standard Methods for Examination of water and waste water*, WPCF, 14th. Edition, New York, 1986.
2. BRUNS, R.: "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using ANN and principal component analysis", *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 4(4): 365-370, 2002.
3. BUENO, J. L.: "Contaminación e Ingeniería Ambiental. V III, Contaminación de las aguas. FICYT, 1997.
4. CITMA: Norma Cubana de Vertimiento de Aguas Residuales. Especificaciones. NC-27/1997.

5. DÍAZ, R.: *Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales*, Edit. ISPJAE, 1986.
6. GAMAL, A.: "Application of artificial neural networks in wastewater treatment". *Journal of Environmental Engineering and Science*, supplement S1, S45-S48, 2004.
7. HERNÁNDEZ, A.: *Depuración de aguas residuales*, 3ra. Ed. Editora Paramimbo, España, 1994.
8. HERRERA, R. Z. Y OTROS: Vías para enfrentar la contaminación por residuales líquidos en la industria azucarera," *AFINIDAD LIX*, 499, mayo-junio, pp. 257-261, 2002.
9. ICIDCA: *La industria de los derivados de la caña de azúcar*, (XIX): 496-507, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1986.
10. LÓPEZ, L. G.: Actualización y control de diferentes focos contaminantes. Trabajo de Diploma. Facultad de Química Farmacia, UCLV, 1997.
11. MIREIS, F.: "Enhancing biological nitrogen removal in a small WWTP by regulating the air supply". *Water Science Technology* (48): 11-12, 2003. ISSN: 0273-1223.
12. Oliveira-Esquerre, K.P.; MMori and R.E. Bruns: "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks and principal components analysis," *BRAZ J CHEM ENG* 19(4): 365-370, 2002.
13. TORRES, R. F. ET. AL: "Características de las aguas residuales del CAI Ramón Ponciano. evaluación de las cualidades para riego". *Rev. ICIDCA*, XXVI(2), 1992.

Nomenclatura empleada

CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

ICIDCA: Instituto Científico de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar.

CAI: Complejo Agroindustrial.