

Artículo Original

***EVALUACIÓN DE LOS RESIDUALES DE LA EMPRESA
REFINADORA DE ACEITES ERASOL DE SANTIAGO DE CUBA***

***EVALUATION OF WASTEWATERS FROM ERASOL OIL REFINING COMPANY
OF SANTIAGO DE CUBA***

Dunia Rodríguez Heredia ^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4676-7314>
Valdivina Córdova Rodríguez ² <https://orcid.org/0000-0002-6192-9898>
Telvia Arias Lafargue ¹ <https://orcid.org/0000-0003-2610-1451>
Daria Tito Ferro ² <https://orcid.org/0000-0002-5276-8017>
Plácida Salazar Arrastre ¹ <https://orcid.org/0000-0002-7965-5127>

¹ Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente.
Ave. de las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente.
Ave. de las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: Marzo 5, 2021; Revisado: Mayo 14, 2021; Aceptado: Junio 9, 2021

RESUMEN

Introducción:

Uno de los ecosistemas cubanos más contaminados lo constituye la bahía de Santiago de Cuba, la cual recibe la descarga de aguas residuales provenientes de varias industrias como la Empresa Refinadora de Aceites ERASOL, por lo que se hace necesario conocer la contaminación generada por esta industria y si se cumplen los parámetros establecidos por la (NC 521, 2007).

Objetivo:

Evaluar los residuales líquidos de la Empresa Refinadora de Aceites ERASOL de Santiago de Cuba, para conocer si cumplen o no con la norma de vertimiento vigente.

Materiales y Métodos:

Se tomaron muestras del residual en el periodo comprendido entre marzo y agosto de 2020. Las muestras fueron analizadas en el Departamento de Calidad del Laboratorio “Elio Trincado” de la Empresa Geominera Oriente y en la Empresa Nacional de Asistencia y Servicios Técnicos (ENAST) de Santiago de Cuba. Se determinaron los parámetros pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitrógeno total, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y grasas y aceites.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Dunia Rodríguez, Email: duniarh@uo.edu.cu



Resultados y Discusión:

Los valores obtenidos fueron comparados con la (NC 521, 2007), encontrándose que los parámetros pH, sólidos sedimentables y nitrógeno total se presentaron dentro de lo normado, mientras los indicadores sólidos suspendidos, DBO₅, DQO, fósforo total y grasas y aceites se presentaron por encima de lo establecido por la normativa cubana.

Conclusiones:

La Empresa Refinadora de Aceites ERASOL contribuye con la carga orgánica que llega a la bahía de Santiago de Cuba, constituyendo una de las fuentes contaminantes del ecosistema.

Palabras clave: aguas residuales; bahía de Santiago de Cuba; ERASOL.

ABSTRACT

Introduction:

One of the most contaminated Cuban ecosystems is Santiago de Cuba's bay, which receives wastewater discharges from various industries such as ERASOL Oil Refining Company, for this reason it is necessary to know the generated pollution by this industry and if the NC 521, 2007 established parameters are fulfilled.

Objective:

To evaluate the wastewaters from ERASOL Oil Refining Company of Santiago de Cuba, for knowing whether or not they comply with the current discharge standard.

Materials and Methods:

Residual samples were taken between march and august 2020. The samples were analyzed at the Quality Department of the "Elio Trincado" Laboratory of the Geominera Oriente Company and at the National Company of Assistance and Technical Services (ENAST, by its acronymic in Spanish) in Santiago de Cuba. The parameters, pH, suspended solids, settleable solids, total nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD) and fats and oils were determined.

Results and Discussion:

The obtained values were compared with the (NC 521, 2007), finding that the parameters, pH, settleable solids and total nitrogen were presented within the norm, while the indicators suspended solids, BOD₅, COD, total phosphorus and fats and oils were presented above what is established by Cuban regulations.

Conclusions:

The ERASOL oil refining industry contributes with the organic load that reaches to Santiago de Cuba's bay, being one of the ecosystem pollutants sources.

Keywords: wastewaters; Santiago de Cuba's bay; ERASOL.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los ecosistemas cubanos más contaminados lo constituye la bahía de Santiago de Cuba, pues recibe la descarga de varias fuentes contaminantes. El sector industrial mantiene el mayor número de fuentes terrestres incidentes en el deterioro de la calidad de las aguas de la bahía y no se aprecian cambios significativos en la gestión de

desechos. Dentro de las principales dificultades se pueden destacar sistemas de tratamiento de residuales líquidos sin rehabilitar, no se monitorean las aguas residuales y se aprecia un manejo inadecuado de los residuales líquidos (Pérez-Hernández y col., 2017); (CITMA, 2018).

A esta bahía descargan aguas residuales provenientes de un total de 22 industrias e instalaciones, estas tienen un componente orgánico importante, por lo que debe dársele prioridad al manejo de los desechos en las industrias que puedan generar este tipo de contaminación orgánica (Pérez-Hernández y col., 2017). Dentro de las industrias que tienen la prioridad uno para el monitoreo y manejo de sus residuales se encuentra la Empresa Refinadora de Aceites (ERASOL), (Pérez-Hernández y col., 2017); (CITMA, 2018).

La Empresa Refinadora de Aceites, ubicada al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba produce y comercializa aceites vegetales comestibles. Las materias primas fundamentales son el aceite crudo de soya proveniente de la Procesadora de Soya de Santiago de Cuba, el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de sodio (NaOH). El proceso consta de tres etapas fundamentales: neutralización, decoloración/filtración y desodorización. En la etapa de neutralización se emplean el H_3PO_4 y el NaOH y se obtienen por una parte el aceite neutro y por otra, el jaboncillo. El producto final del proceso es el aceite de soya refino. Entre los principales desechos están el jaboncillo (resultante del acondicionamiento ácido y neutralización del aceite crudo) y derrames de aceite crudo, de ácido fosfórico, de hidróxido de sodio y de aceite refino.

Como resultado del proceso de refinación del aceite, esta industria genera un volumen de $283\text{ m}^3/\text{día}$ de residuales líquidos, que son vertidos directamente al área de los manglares de la bahía sin ningún tratamiento (Geomínera, 2020). Estas aguas residuales proceden de las etapas de neutralización y desodorización, así como de la limpieza de las instalaciones (Ábalos y col., 2007); (Dinza-Tejera y col., 2015). En general, las refinadoras de aceites comestibles son altamente consumidoras de agua y consecuentemente grandes generadoras de aguas residuales (Khouni y col., 2020).

La empresa ERASOL descarga sus residuales a la bahía, los cuales afectan al bosque de mangles ubicado en la parte posterior de dicha entidad (González-Pérez y col., 2015); (Dinza-Tejera y col., 2015). El vertimiento de estos provoca la muerte del mangle, el deterioro de la calidad del agua de la bahía de Miradero y los ríos que desembocan en la zona, trayendo consigo la aparición de procesos de eutrofización, contribuyendo a la reducción de oxígeno en el agua; el destino final del 100% de sus residuales líquidos va a parar al manglar (Cruz-Portorreal y col., 2010).

El objetivo del trabajo es evaluar los residuales líquidos de la Empresa Refinadora de Aceites ERASOL de Santiago de Cuba, para conocer si cumplen o no con la norma de vertimiento vigente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras del residual en el periodo comprendido entre marzo y agosto de 2020, para determinar los parámetros ambientales pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y grasas y aceites. Estos indicadores fueron seleccionados según la (NC 521, 2007).

En la Figura 1 se presenta el punto de muestreo, ubicado en la parte trasera de la fábrica. El residual sale a través de una tubería y descarga directamente al medio, formando un área de acumulación del mismo. Este residual presenta un color blancuzco o amarillento.



Figura 1. Zona de descarga de los residuales líquidos

Los muestreos se realizaron en el horario de la mañana, siempre a la misma hora. Se muestreó el residual durante 13 días: tres veces en los meses de marzo, abril y mayo; una vez en junio; dos veces en julio y una vez en agosto, teniendo en cuenta las posibilidades de acceso a la industria. Las muestras tomadas fueron simples.

Para la determinación de pH, NT, PT, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y grasas y aceites se emplearon recipientes plásticos de 1 L. Para determinar DQO y DBO₅ se emplearon frascos de vidrio con tapa esmerilada de 500 mL y 1 L, respectivamente.

Las muestras fueron entregadas a los laboratorios inmediatamente después de su recolección, conservadas en neveras refrigeradas y analizadas entre las 24 y 36 horas posteriores en el Departamento de Calidad del Laboratorio “Elio Trincado” de la Empresa Geominera Oriente y en la Empresa Nacional de Asistencia y Servicios Técnicos (ENAST) de Santiago de Cuba.

El estudio de evaluación de estas aguas residuales se realizó utilizando las técnicas descritas en el Estándar Métodos (APHA, 2017).

Para el graficado de los datos obtenidos y el procesamiento de los mismos mediante estadística descriptiva se empleó el programa profesional *Microsoft Excel* 2016.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la discusión de los resultados se tomaron como referencia los límites máximos permitidos (LMP) por la (NC 521, 2007) para la clasificación del cuerpo receptor como Clase E (Áreas marinas en bahías donde se desarrolle la actividad marítimo-portuaria). En las gráficas se han destacado estos límites con una línea roja.

En la Figura 2 se muestran los resultados de la determinación de pH en el residual. Nótese que estos se encuentran dentro de lo establecido por la norma, entre 5,5 y 9 unidades (figura 2a), por lo que, relacionado con el pH, este residual no afecta al ecosistema.

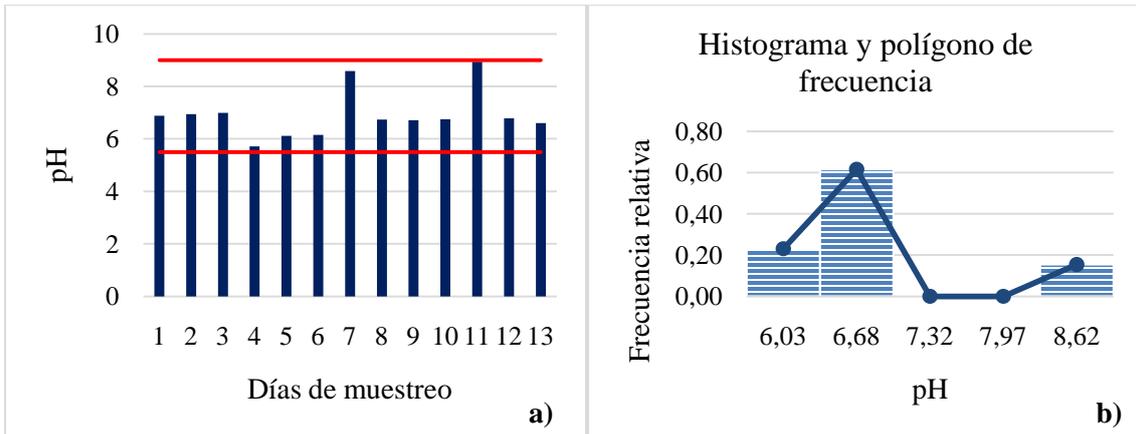


Figura 2. Resultados del pH

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma y polígono de frecuencia

El mínimo valor de pH fue 5,71 y el máximo 8,94, el valor medio fue de 6,92, cercano a la neutralidad. El rango fue 3,23, la varianza 0,82 y la desviación estándar 0,90, lo que demuestra la poca variabilidad de los datos. El análisis del histograma de frecuencia (figura 2b) revela que el 80 % de los valores de pH se encuentran entre 5,71 y 7,0, por debajo de la neutralidad.

Los sólidos suspendidos se graficaron en la figura 3. Para estos, la (NC 521, 2007) establece un LMP de 75 mg/L. Los días 2, 3, 7 y 10 de la campaña de muestreo no se determinaron los sólidos suspendidos. Luego, de la figura 3a se observa que todos los días (excepto uno) en que sí pudo determinarse este parámetro, los valores estuvieron muy por encima de lo normado. Lo anterior puede deberse a la presencia de jaboncillo en el agua residual, el cual queda en la fracción suspendida de la misma. La presencia de este contaminante es, además, causante de la turbidez del residual. El día 12 de la campaña de muestreo se obtuvo el único valor por debajo de lo establecido y fue de 28 mg/L. Los sólidos suspendidos dan lugar a depósitos de lodos y por tanto condiciones anaerobias cuando el agua residual sin tratar se descarga a un ambiente acuático.

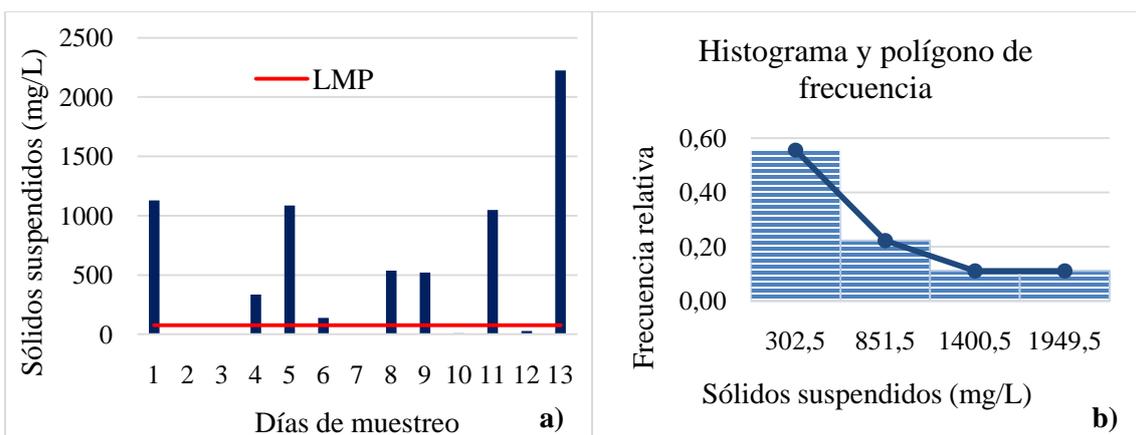


Figura 3. Resultados de los sólidos suspendidos,

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma y polígono de frecuencia

El histograma de frecuencia (figura 3b), confeccionado con los datos obtenidos de los 9 días en que se determinó este parámetro, demuestra que más del 50% de los datos corresponden a la marca de clase 302,5 mg/L, valores comprendidos entre 28 y 577

mg/L. La media de los datos fue 783 mg/L. Las medidas de dispersión, rango (2 196 mg/L), varianza ($459\,479\text{ mg}^2/\text{L}^2$) y desviación estándar (678 mg/L) indican gran variabilidad entre los datos, pues el recorrido es (28 mg/L; 2 224 mg/L).

Los resultados de la determinación de los sólidos sedimentables se presentan en la figura 4. Todos los valores están dentro de lo normado (figura 4a), encontrándose el valor correspondiente al último día de muestreo en el límite, 10 mg/L (LMP). El análisis estadístico develó que el rango fue de 10 mg/L, la varianza de $11,1\text{ mg}^2/\text{L}^2$ y la desviación estándar de 3,3 mg/L, por lo que existe poca variabilidad entre los datos. El histograma de frecuencia (figura 4b) revela que más del 70% de los datos se encuentra entre 0 y 2 mg/L.

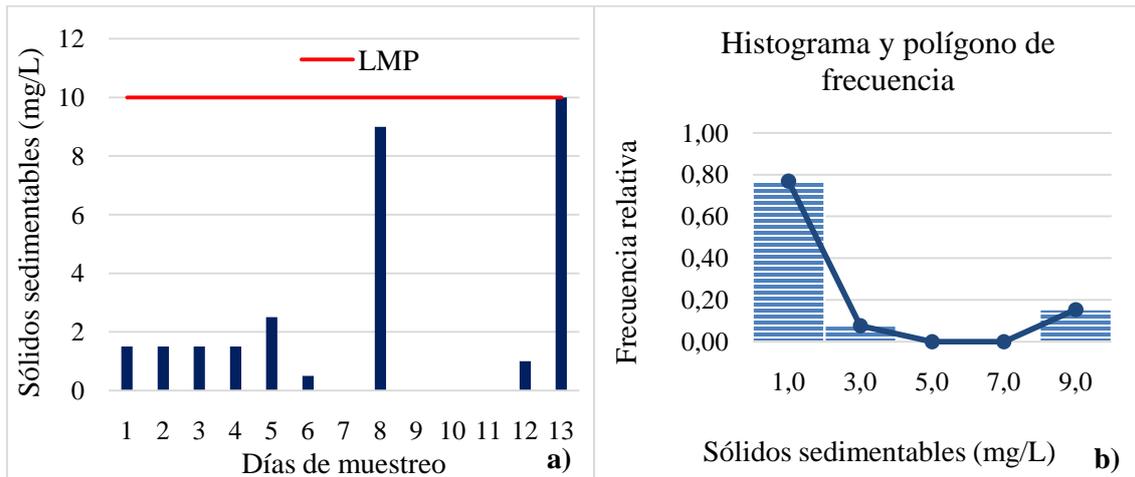


Figura 4. Resultados de los sólidos sedimentables

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma y polígono de frecuencia

La Figura 5 muestra los resultados de la determinación de DQO y DBO₅. Los valores establecidos por la norma son de 190 y 75 mg/L, respectivamente.

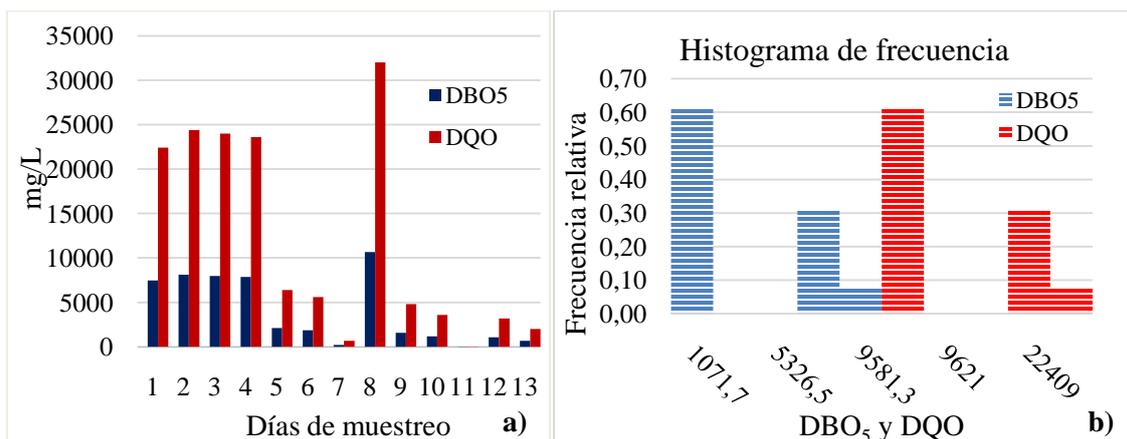


Figura 5. Resultados de la DBO₅ y DQO

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma de frecuencia

Como se observa (figura 5a), el día 11 se obtuvo el menor valor de ambos parámetros, en el caso de la DBO₅ de 8 mg/L y para la DQO de 30 mg/L, encontrándose este único día por debajo del LMP para ambos indicadores. El resto de los días muestreados se

presentaron valores por encima de los límites en ambos casos. Lo anterior coincide con lo obtenido por Sánchez-Rivera y Arias-Lafargue, (2018), trabajo realizado en esta misma empresa y en el cual se obtuvo que en el 75% de los puntos muestreados la DBO₅ estuvo por encima de los límites. En el trabajo de Ábalos y col., (2007) la media de los valores de DQO y DBO₅ fue de 40 232,50 ± 370,97 mg/L y 16 629,00 ± 86,91 mg/L, respectivamente.

Estos elevados valores de DQO y DBO₅ se deben a que la materia orgánica es el principal constituyente de estos residuales, en particular son compuestos de naturaleza lipídica como el jaboncillo (con alto contenido de ácidos grasos libres), terpenos, fosfolípidos, glicolípidos, así como derrames en el proceso tanto de aceite crudo como refino, los responsables de las alzas en estos parámetros.

Resultados similares se obtuvieron en los trabajos de Yu y col., (2017), y Khouni y col., (2020) realizados en refinadoras de aceite de soya en China y Túnez, respectivamente. En el primero se obtuvo que el agua residual presentó una elevada DQO, entre 40 000 y 60 000 mg/L. En el trabajo de Shahriari y col., (2018) se obtuvieron valores de DQO de 170 000 mg/L.

En el análisis del histograma de frecuencia (figura 5b) se observa que, para la DQO, más del 60% de los datos está comprendido en el intervalo de 30 a 6 424 mg/L, correspondiente a la marca de clase 3 227 mg/L. Para este parámetro la media de los valores fue de 11 746,3 mg/L. El rango fue de 31 970 mg/L, la varianza 131 950 650,6 mg²/L² y la desviación estándar de 11 486,9 mg/L, indicando que existe gran variabilidad entre los datos, presentándose grandes fluctuaciones en sus valores. Lo anterior debe corroborarse con otras evaluaciones de estos residuales y analizarse a profundidad para entender y explicar las posibles causas de estas fluctuaciones de la DQO.

Para la DBO₅, más del 60% de los datos obtenidos pertenecen a la marca de clase 1071,7 mg/L, intervalo entre 8 y 2 135,4 mg/L (figura 5b). El valor medio fue de 3905,4 mg/L. El rango, varianza y desviación estándar fueron de 10 637 mg/L, 14 615 706,9 mg²/L² y 3 823 mg/L, respectivamente, lo que indica la gran fluctuación entre los datos. El análisis estadístico arrojó que, aunque los resultados de este trabajo concuerdan con los de otros investigadores, deben realizarse otras campañas de muestreo para determinar exactamente en esta empresa, en qué orden de magnitud se encuentran los valores obtenidos de DQO y DBO₅. No obstante, se obtuvo que el 92,3% de los datos para ambos indicadores, están por encima del LMP.

En la Figura 6 se muestran los resultados de la determinación de NT. El valor de 20 mg/L es el LMP establecido por la norma para el NT presente en los residuales industriales. Todos los valores de NT están dentro de lo normado (figura 6a). En el histograma de frecuencia (figura 6b) se observa que el 90% de los datos pertenecen a la marca de clase 0,35 mg/L. El rango, 3,73 mg/L, la varianza, 0,96 mg²/L² y la desviación estándar, 0,98 mg/L, demuestran la poca variabilidad existente entre los datos.

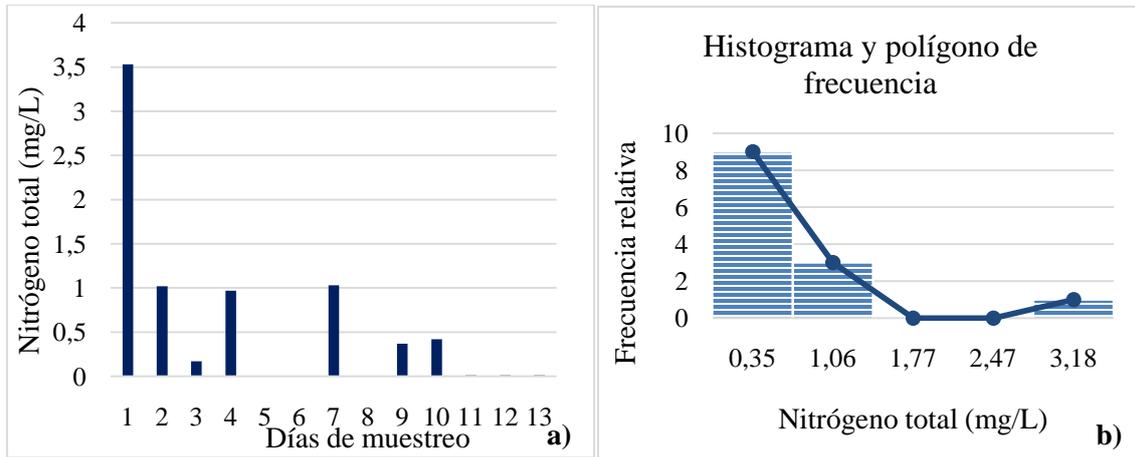


Figura 6. Resultados del nitrógeno total

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma y polígono de frecuencia

Para el PT, figura 7, el LMP es de 5 mg/L. El análisis de la gráfica de la figura 7a permite apreciar que en 8 de los 13 días este límite se sobrepasó. Ello pudo deberse a que en la etapa de neutralización y dentro de esta en la operación de desgomado o acondicionamiento ácido del aceite crudo se emplea el ácido fosfórico para hacer insolubles los fosfolípidos (gomas) presentes y lograr su posterior separación. Cuanto mayor es el contenido de gommas, mayor cantidad de ácido fosfórico se emplea en la refinación y más fosfatadas serán las aguas residuales. Resultados similares se obtuvieron por Ábalos y col., (2007), reportando estos autores un valor medio de PT de 48,27 mg/L. La media de los valores obtenidos en este trabajo fue de 18,32 mg/L.

En el histograma de frecuencia (figura 7b) se observa que el 70% de los datos obtenidos pertenecen a la marca de clase 7,96 mg/L. La determinación del rango, 79,63 mg/L, de la varianza, 603,33 mg²/L² y de la desviación estándar, 24,56 mg/L demuestran la existencia de variabilidad entre los datos.

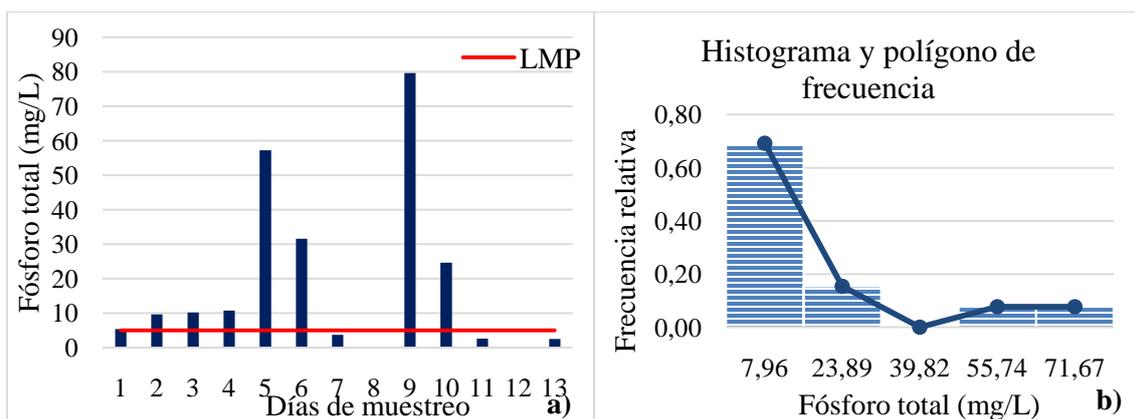


Figura 7. Resultados del fósforo total

a) comportamiento durante el periodo de muestreo, b) histograma y polígono de frecuencia

En general, el fósforo presente en las aguas residuales procede principalmente de los vertidos de residuos alimenticios y de fosfatos inorgánicos contenidos en los detergentes y productos de limpieza. En las empresas refinadoras de aceite, debido a los constantes derrames de aceite crudo, aceite refino y jaboncillo, se emplean gran cantidad de agua,

desengrasantes y detergentes. Los fosfatos (PO_4^{3-}) son la forma más común en la que llega el fósforo a las aguas residuales. El fósforo es un componente esencial en la proliferación de algas. El exceso de este nutriente en las aguas residuales provoca eutrofización.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de las grasas y aceites en el residual analizado. El límite máximo establecido por la norma es de 30 mg/L.

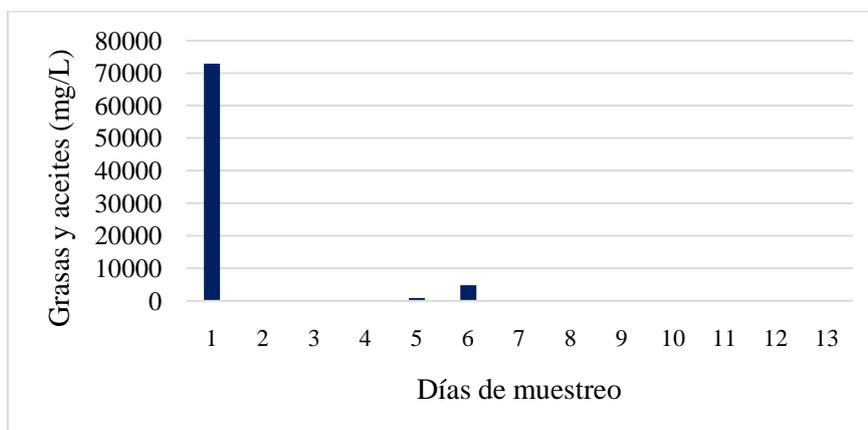


Figura 8. Resultados de la determinación de grasas y aceites en el residual

Este indicador de contaminación química solo fue determinado 4 de los 13 días de muestreo y en todos los casos estuvo muy por encima de lo normado. Lo anterior, aunque no debe suceder, puede estar justificado por la propia naturaleza del proceso productivo, en el que se emplean como materia prima compuestos de naturaleza lipídica como el aceite crudo de soya y en el que se generan residuales conteniendo gran cantidad de lípidos, como se ha comentado.

Los valores de grasas y aceites obtenidos los cuatro días muestreados fueron 72 894 mg/L, 832,4 mg/L, 4 832,8 mg/L y 74,4 mg/L, muy por encima de lo establecido, lo que constituye una problemática a resolver por la empresa por cuanto esos elevados valores repercuten negativamente en el ecosistema. Sánchez-Rivera y Arias-Lafargue, (2018) expresan que este es un resultado a esperar y que se debe principalmente a los derrames que ocurren en la línea de llenado de los pomos de aceite.

Para este indicador no se presenta el histograma de frecuencia ya que solo se determinó cuatro días. No obstante, el rango fue de 72 819,6 mg/L, indicando gran fluctuación de estos datos en el tiempo, lo que puede deberse a inestabilidades en la evacuación de jaboncillo, o en el proceso en general.

3.1. Consideraciones finales

Dinza-Tejera y col., (2015) plantean que la DBO_5 está normalmente ligada a las grasas y sólidos suspendidos, también puede verse afectada por el contenido de jabones y gomas. Esto está en concordancia con lo obtenido en este trabajo pues se han presentado valores de sólidos suspendidos, DBO_5 , y grasas y aceites por encima de lo normado. También plantean que el principal efluente líquido de la industria aceitera es el jaboncillo (se produce un vertimiento de este durante las etapas de neutralización y desodorización), el cual presenta como principales contaminantes: aceites y grasas, sólidos suspendidos y otros contaminantes que en su conjunto elevan la DQO y DBO_5 .

Esto constituye otra coincidencia a notar con los resultados de este trabajo.

En la investigación de Khouni y col., (2020) realizada en una refinadora de aceite de soya en Túnez, se plantea que el principal contaminante presente en las aguas residuales de refinadoras de aceites vegetales comestibles lo constituye la materia orgánica, responsable de los elevados valores de DQO y DBO₅, turbidez, sólidos suspendidos totales y fósforo total. En este trabajo, todos estos parámetros excedían los estándares nacionales. Resultados similares fueron reportados por Yu y col., (2017), en un trabajo realizado en una refinadora de aceite comestible de soya, en China. Al decir de estos autores, durante el proceso de refinación de aceite de soya se descargan grandes volúmenes de aguas residuales conteniendo gran cantidad de compuestos orgánicos. El residual analizado en este trabajo tuvo una DQO elevada, entre 40 000 y 60 000 mg/L, un pH de 9, el nitrógeno total y el fósforo total fueron de 50 mg/L y 250 mg/L, respectivamente. Hay que destacar que estos trabajos se realizaron en refinadoras de aceite crudo de soya, que transcurren por las etapas de neutralización, decoloración/filtración y desodorización, procesos similares al de la empresa ERASOL. Los trabajos de Ábalos y col., (2007), Dinza-Tejera y col., (2015), Sánchez-Rivera y Arias-Lafargue, (2018) y este trabajo investigativo, todos realizados en esta empresa, coinciden en que los principales contaminantes provenientes de este residual industrial son las grasas y aceites y en general compuestos orgánicos, de los que dan cuenta los elevados valores de DQO y DBO₅. Con lo anterior, como ha sido tratado, concuerdan los resultados de investigaciones llevadas a cabo en otros países.

El análisis estadístico de los datos reveló que existen parámetros en los que se presentan fluctuaciones en sus valores, tales como los sólidos suspendidos, DQO, DBO₅ y grasas y aceites, todos relacionados con las características orgánicas del residual, por lo que es necesario realizar otras evaluaciones de los residuales líquidos de esta empresa para determinar en qué orden de magnitud se encuentran los indicadores anteriores y si estas fluctuaciones reflejan la existencia de inestabilidades en el proceso productivo.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de los residuales provenientes de la Empresa refinadora de aceites ERASOL de Santiago de Cuba arrojó que:

1. El pH, los sólidos sedimentables y el nitrógeno total se encuentran dentro de lo establecido por la (NC 521, 2007).
2. Los parámetros sólidos suspendidos, DBO₅, DQO, fósforo total y grasas y aceites se presentan por encima de lo establecido por la (NC 521, 2007), indicando, por una parte, contaminación de origen orgánico, y, por otra parte, que la empresa requiere un adecuado sistema de tratamiento que minimice la carga orgánica que llega a la bahía de Santiago de Cuba.

REFERENCIAS

- Ábalos, A., Marañón, A., Fernández, JM., Aguilera, I., & Despaigne, MF., Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL., Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 38, No. 3, septiembre-diciembre, 2007, pp. 220-223.

- <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/view/1048/813>
- APHA., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 23 edition, Washington D.C. USA, 2017. ISBN/ISSN/DL: 68879.
- CITMA., Bahía de Santiago de Cuba: situación ambiental, diagnóstico y propuestas., Delegación Territorial. Unidad de Medio Ambiente Santiago de Cuba, 2018, pp. 1-13.
- Cruz-Portorreal, Y., García-Pozo, R., Lafargue-Hechavarría, S., & Reyes-Yola, O., Análisis de los conflictos uso-recursos en el humedal de San Miguel de Parada., 2010, pp. 1-9. Disponible en: <https://www.oceandocs.org/handle/1834/3621>. Consultado en noviembre de 2019.
- Dinza-Tejera, D., Recio-Recio, A.A., Pacheco-Torres, L., & Martínez-Salazar, J., Aprovechamiento energético del biogás a partir de los residuales de la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba “ERASOL”., Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 46, No. Especial, septiembre-diciembre, 2015, pp. 324-331. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181259521025.pdf>
- Geominera., Informe de las industrias que vierten a la bahía de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, 2020, pp. 1-26.
- González-Pérez, Y., Rodríguez-Leblanch, E., Fernández-Rodríguez, I., & Argota-Pérez, G., Evaluación ecotoxicológica de las aguas del refugio de fauna “San Miguel de Parada” mediante los biomodelos *Lactuca sativa L.* y *Artemia sp.* en Santiago de Cuba, Cuba., Cátedra Villareal, Vol. 3, No. 2, 2015. pp. 133-142. <https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/51/51>
- Khouni, I., Louhichi, G., Ghrabi, A., & Moulin, P., Efficiency of a coagulation/flocculation–membrane filtration hybrid process for the treatment of vegetable oil refinery wastewater for safe reuse and recovery., Process Safety and Environmental Protection, Vol. 135, 2020, pp. 323-341. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019322293>. Consultado en mayo de 2021.
- NC 521:2007., Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2007, pp. 1-14.
- Pérez-Hernández, M., Valdés-Martínez, M., & Peña-Cossío, R., Resumen ejecutivo del Proyecto “Monitoreo de la Calidad Ambiental del ecosistema de la bahía de Santiago de Cuba”., Cimab, 2017, pp. 1-12.
- Sánchez-Rivera, W., & Arias-Lafargue, T., Propuestas de mejora en sistemas de tratamiento de residuales en la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba., Tecnología Química, Vol. 38, No. 1, 2018, pp. 103-120. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq07118.pdf>
- Shahriari, T., Karbassi, A., & Reyhani, M., Treatment of oil refinery wastewater by electrocoagulation–flocculation (Case Study: Shazand Oil Refinery of Arak)., International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 16, No. 8, 2018, pp. 4159-4166. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1810-z>. Consultado en mayo de 2021.
- Yu, N., Xing, D., Li, W., Yang, Y., Li, Z., Li, Y., Ren, N., Electricity and methane

production from soybean edible oil refinery wastewater using microbial electrochemical systems., *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 1, 2017, pp. 96-102.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319916334048>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Dunia Rodríguez Heredia. Realizó investigación en la industria, procesamiento de los datos experimentales, análisis de los resultados y escritura del artículo.
- Dra.C. Valdivina Córdova Rodríguez. Realizó investigación en la industria, colaboró con el análisis de los resultados y revisión del artículo.
- M.Sc. Telvia Arias Lafargue. Colaboró con el análisis de los resultados y revisión del artículo.
- M.Sc. Daria Tito Ferro. Colaboró con el análisis de los resultados y revisión del artículo.
- Ing. Plácida Salazar Arrastre. Colaboró con el análisis de los resultados y revisión del artículo.