



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO DE PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CALIDAD DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, EN JALAPA TABASCO

ANGELA DEL CARMEN TORRES JIMENEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2021



CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

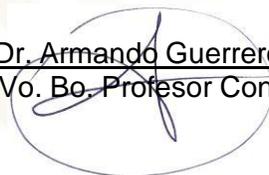
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe Angela del Carmen Torres Jimenez, alumnade esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Armando Guerrero Peña, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis CALIDAD DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, EN JALAPA TABASCO y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 02 de junio de 2021.



Angela del Carmen Torres Jimenez
Firma

Dr. Armando Guerrero Peña
Vo. Bo. Profesor Consejero



La presente tesis, titulada: "**CALIDAD DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, EN JALAPA TABASCO**", realizada por la alumna: Angela del Carmen Torres Jimenez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

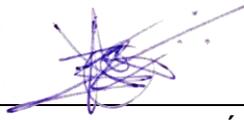
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR:



DR. JOAQUÍN ALBERTO RINCÓN RAMÍREZ

ASESOR:



DR. JOEL VELASCO VELASCO

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO, 29 DE JULIO DE 2021

CALIDAD DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, EN JALAPA TABASCO

Angela del Carmen Torres Jimenez, M. C.

Colegio de Postgraduado, 2021

RESUMEN

La extracción de aceite de palma *Elaeis guineensis*, genera efluentes con características únicas al estar formado por trazas de fibra, aceite, sólidos, entre otros. Se realizó una revisión de información reportadas en la *Web of Science* de las características químicas, físicas y biológicas de efluentes crudos. Se encontraron 22 referencias bibliográficas y 36 variables. Los datos se presentan en tres grupos, el primero se integró por el resultado de un análisis, reportándose intactos en este estudio, el segundo grupo se formó por más de un dato, pero menos de cinco, se presentan con una estadística descriptiva, y el tercer grupo con más de cinco datos, los resultados presentan estadística descriptiva y diagramas de caja y bigote. Los valores descritos permiten una referencia internacional de las características físicas y químicas de los efluentes. En segundo lugar, se midió el potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO), de los efluentes de una planta extractora en Tabasco, México, para evaluar el comportamiento en tres lagunas de tratamiento previo a la descarga final. Se presenta descripción estadística, comparación de valores de descarga con los límites máximos permisibles en normas mexicanas vigentes, se aplicó t student donde se utilizó como referencia los datos de la revisión de efluentes en la *Web of Science* y se calculó el rendimiento general del uso de lagunas de tratamiento. Los resultados muestran buen rendimiento de las lagunas, retención del mayor porcentaje de los parámetros medidos en la primera laguna, la T y pH en la descarga cumplen con la norma mexicana, ST y DQO no tienen referencia en normas mexicanas y DQO supera el límite establecido por normas internacionales.

Palabras clave: Características, lagunas de tratamiento, descargas, normas.

**EFFLUENT QUALITY OF A PALM OIL EXTRACTION PLANT IN JALAPA,
TABASCO**

Angela del Carmen Torres Jimenez, M. C.

Colegio de Postgraduado, 2021

ABSTRACT

The extraction of *Elaeis guineensis* palm oil generates effluents with unique characteristics since they are made up of traces of fiber, oil, solids, among others. A review of information reported in the *Web of Science* on the chemical, physical and biological characteristics of raw effluents was carried out. We found 22 bibliographic references and 36 variables. The data are presented in three groups, the first was formed by the result of one analysis, reported intact in this study, the second group was formed by more than one data, but less than five, presented with descriptive statistics, and the third group with more than five data, the results present descriptive statistics and box-and-whisker plots. The values described allow an international reference of the physical and chemical characteristics of the effluents. Second, the hydrogen potential (pH), temperature (T), total solids (TS) and chemical oxygen demand (COD) of effluents from an extraction plant in Tabasco, Mexico, were measured to evaluate the behavior in three treatment ponds prior to final discharge. Statistical description, comparison of discharge values with the maximum permissible limits in current Mexican standards, t student was applied where the data from the *Web of Science* effluent review was used as a reference and the general performance of the use of treatment lagoons was calculated. The results show good performance of the lagoons, retention of the highest percentage of the parameters measured in the first lagoon, T and pH in the discharge comply with Mexican standards, ST and COD have no reference in Mexican standards and COD exceeds the limit established by international standards.

Key words: Characteristics, treatment lagoons, discharges, standards.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a:

Mi Dios, dador de vida, y fuente de sabiduría, paz y conciencia del pasado y presente, por permitirme plasmar conocimientos, y despertar amor y cuidados a la tierra, energías y elementos vitales.

A mis padres la Sra. María Magdalena Jimenez Jimenez y Sr. Aquileo Torres Aguilar y hermanos Rafael, Ana Isabel y Martha Elena Torres Jimenez, por ser mi centro de equilibrio y fortaleza, apoyo incondicional en toda la etapa de crecimiento profesional, por la comprensión, amor, ayuda y acompañamientos brindados en la cercanía y a la distancia.

A mis sobrinos Rogelio y Ariadne, por ser el rayo de luz, amor y mucha felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Gobierno Federal Mexicano y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico, para hacer realidad la presente tesis y obtención del grado reconocido en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

Agradezco al Colegio de Postgraduados, directivos, profesores y personal profesional, por todos los servicios brindados para una estancia agradable en la formación y enfoque en el conocimiento científico y tecnológico.

A mi consejero el Dr. Armando Guerrero Peña, principal colaborador, por brindarme la confianza, guía y enseñanzas en el desarrollo de la tesis y orientación durante la maestría.

A mis asesores el Dr. Joaquín Alberto Rincón Ramírez, el Dr. Joel Velasco Velasco, por todas las recomendaciones y consejos en el desarrollo de los artículos y la tesis.

A mi sinodal la Dra. Edith Hernández Nataren, por la revisión y observaciones a la tesis en general, para mejora del presente trabajo.

Agradezco a FEMEXPALMA y la planta extractora de aceite del Municipio de Jalapa, Tabasco, México, por la confianza y apertura a las instalaciones para hacer posible el presente trabajo.

Agradezco de igual manera a mi gran amigo y compañero Christian Álvarez, por el apoyo incondicional, comprensión y consejos brindados.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2. OBJETIVOS.....	2
3. HIPÓTESIS.....	2
4. REVISIÓN DE LITERATURA	3
5. LITERATURA CITADA.....	4
CAPÍTULO I. REVISIÓN GLOBAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA <i>ELAEIS GUINEENSIS</i>.....	6
1.1. INTRODUCCIÓN	8
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.3. RESULTADOS.....	9
1.4. CONCLUSIONES	20
1.5. LITERATURA CITADA.....	20
CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA <i>ELAEIS GUINEENSIS</i>	28
2.1. INTRODUCCIÓN	30
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.3. RESULTADOS	33
2.4. CONCLUSIONES.....	42
2.5. LITERATURA CITADA.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	47
1. CONCLUSIÓN.....	47
2. RECOMENDACIONES	48

CUADRO

Cuadro 2.1. Métodos analíticos para el análisis de aguas residuales.	32
---	----

FIGURAS

Figura 1.1. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) demanda química de oxígeno, (b) demanda bioquímica de oxígeno, (c) sólidos totales, (d) sólidos totales volátiles, (e) sólidos suspendidos totales y (f) aceite y grasa	15
Figura 1.2. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) sólidos volátiles suspendidos, (b) nitrógeno total, (c) amonio, (d) temperatura, (e) potencial de hidrógeno y (f) fósforo total.....	17
Figura 1.3. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) magnesio, (b) calcio, (c) fierro, (d) zinc, (e) manganeso	20
Figura 2.1. Comportamiento de la temperatura de los efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en las lagunas.	34
Figura 2.2. Comportamiento del ph de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en tres lagunas.....	36
Figura 2.3. Comportamiento de los sólidos totales de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en lagunas.....	38
Figura 2.4. Comportamiento de la demanda química de oxígeno de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en lagunas.	39
Figura 2.5. Comportamiento del consumo trabajado y fruta procesada en el 2019 y 2020, en la planta extractora.	40
Figura 2.6. Relación entre consumo trabajado y fruta procesada en la planta extractora, en los años 2019 y 2020.....	41

TABLA

Tabla 1.1. Estadística descriptiva de parámetros con menos de 5 datos	11
---	----

INTRODUCCIÓN GENERAL

La palma aceitera *Elaeis guineensis*, produce frutos de gran valor, al contener altas cantidades de lípidos, de acuerdo al anuario estadístico 2020 de la Federación Mexicana de Palma de Aceite (FEMEXPALMA) del fruto se extrae aceite vegetal, demandado por el sector alimentario y químico, para satisfacer necesidades humanas básicas, convirtiéndose en un cultivo de gran valor. En 2020 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), informó que los racimos de frutos frescos de la palma cosechados proveen mayores rendimientos, convirtiéndose en líder de producción de aceite, respecto a la soja, colza y girasol. Los racimos son recolectados y procesados en plantas extractoras de aceite, donde son expuestos a una serie de tratamientos, como son la esterilización, eliminación de impurezas, prensado, digestión, purificación, secado al vacío, entre otros (Nasrullah *et al.*, 2017). Este proceso es el más utilizado en la actualidad, el cual genera desechos líquidos, originados en diferentes etapas, el porcentaje aproximado varía de acuerdo con Tan *et al.* (2018), en la zona de esterilización se genera el 36 %, procesos de hidrociclón el 4 %, clarificación y purificación del Aceite Crudo de Palma (ACP) el 60 %. Los efluentes al mezclarse forman un líquido color café marrón, espeso, con trazas de aceite, fibras, sólidos, etc., y un olor fuerte a materia orgánica en descomposición (Ahmed *et al.*, 2015). Estos efluentes son descargados en grandes lagunas artificiales, donde reciben tratamiento con la finalidad de evitar contaminar o intoxicar a la flora y fauna de la zona o afluente donde finalmente son descargados (Farid *et al.*, 2019). Actualmente de acuerdo a Corzo y Juracán (2020, p.2) el ser humano utiliza basados en la experiencia y disponibilidad, los efluentes líquidos (tratados o no), para el riego a plantaciones de palma, y elaborar en compañía de otros residuos orgánicos, la composta. La ciencia analiza los detalles, detectando como prioridad la necesidad de referencias composicionales de efluentes crudos y de límites máximos permisibles a la descarga establecidos, como primer paso, antes de permitirse realizar recomendaciones respecto al aprovechamiento y manejo de dichos residuos líquidos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La información de las características químicas, físicas y biológicas de los efluentes que emiten las plantas extractoras de aceite de palma *Elaeis guineensis*, no ha sido recopilada en un solo documento y no se ha dado seguimiento a la evaluación de efluentes en un periodo prolongado. En la presente investigación se realizó un estudio, en la *Web of Science*, exploratorio cualitativo para identificar la caracterización de los efluentes, verificar su composición, calidad antes de ser emitidos al ambiente. Así como estudiar en un periodo las características principales de los efluentes emitidos por una planta extractora de aceite de palma.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Recopilar las características de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma africana *Elaeis guineensis*, reportadas en la literatura y estudiar los efluentes de una planta extractora.

2.1. Objetivos específicos

Revisar en las publicaciones de la *Web of Science* lo relativo a los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma africana *Elaeis guineensis*.

Medir los parámetros químicos, físicos y biológicos (potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, temperatura y demanda química de oxígeno) de una planta extractora de aceite para evaluar el rendimiento de las lagunas de tratamiento.

3. HIPÓTESIS

Existe información científica suficiente para establecer límites máximos permisibles específicos para los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, *Elaeis guineensis*, para evaluar las descargas de una planta extractora de aceite.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

La producción del aceite del fruto de palma, ha incrementado a nivel mundial, debido a la adopción de prácticas agrícolas con bajo impacto ambiental y la implementación de variedades interespecíficas resistentes a la enfermedad de la pudrición del cogollo. De acuerdo a Billotte *et al.* (2016, p.160) la expansión del cultivo hacia América del Sur, es en áreas de grandes pastizales, principalmente sin provocar deforestación o presión sobre la biodiversidad natural. El aceite de palma y palmiste son materia prima para la obtención de diferentes productos, en la industria alimenticia y química, entre ellos: jabones, detergentes, velas, lubricantes, champús, cremas y cosméticos, ceras, plásticos, cauchos, textiles, aditivos para grasas y agroquímicos, resinas, pinturas de superficie, biocombustible y aceite comestible (Ortiz *et al.*, 2016).

En 2017 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017, p.33) indicó en la planeación agrícola nacional que la palma de aceite es un cultivo con potencial de mercado, la alta demanda de aceite de palma exige proporcionalmente mayor cantidad de materia prima, proceso de extracción en el que se generan residuos, entre los que destacan los efluentes. Van (2016, p.150) indica que los subproductos como los efluentes por lo general, son tratados en lagunas de sedimentación, estos presentan particulares características como: bajo rango de pH, altos valores de temperatura, elevada carga de sólidos totales y suspendidos, elevada demanda bioquímica de oxígeno y cantidades de aceite, los cuales, no se han aprovechado debido a la baja posibilidad de desarrollar con ellos productos de valor agregado, como generación de biogás y recuperación de nutrientes. Hernández-Cázares *et al.* (2016, p. 13) y Sierra-Márquez *et al.* (2017, p.526-527) informan que el impacto ambiental de los efluentes puede reducirse al estudiar el manejo y aprovechamiento, transformando los residuos agroindustriales a fuentes de energía renovable, considerando que son residuos con gran cantidad de nutrientes. Bessou and Pardon (2017, p.2), Chiew *et al.* (2010, p.927-928) y González-Cárdenas (2016, p.227) coinciden en que la agroindustria debe ser fortalecida con un modelo de desarrollo sostenible (social, ambiental y económico), que incluya políticas y prácticas de recuperación de recursos de desechos; un ejemplo es la adopción del modelo de Mesa Redonda de Aceite de Palma (RSPO, siglas en

ingles), el cual en 2014 permitió certificar a 274.655 t de aceite de palma, reduciendo significativamente el impacto ambiental al incorporar prácticas sostenibles.

5. LITERATURA CITADA

- Ahmed, Y., Yaakob, Z., Akhtar, P. and Sopian, K. (2015). Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1260-1278. Doi: 10.1016/j.rser.2014.10.073
- Bessou C. and L. Pardon, (2017). Environmental Impacts of Palm Oil Products: What can we learn from LCA, *Indonesian Journal of Life Cycle Assessment and Sustainability*. p. 1-7.
- Billotte, N., Cuellar, T., Espeout-Fois, S., Rivallan, R., Ilbert, P., Droc, G., Bocs, S., ... and Lanaud, C. (2016). Biotecnología y selección de la palma de aceite: la palma Dorada del futuro. *Palmas 37 (especial Tomo I)*, p. 159 – 174.
- Chiew W. P., C. Yuen M. and M. A Ah N. (2010). Life Cycle Assessment for the Production and Use of Palm Biodiesel. *Journal of Oil Palm Research*. Vol. 22. P.927-933.
- Corzo, J. M., y Juracán R. (2020). Elaboración de compost y su utilización en la fertilización del cultivo de palma de aceite. *Gremial de Palmiculturos de Guatemala (GREPALMA)*. 14: 1-12.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020) FAO. *Grupo Intergubernamental Sobre Semillas Oleaginosas, Aceites y Grasas*. Comité de Problemas de Productos Básicos. CCP:OOF21/CRS 1. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/pt/item/1324021/icode/>. (Consultado: 19 junio 2021)
- Farid, M. A. A., Roslan, A. M., Hassan, M. A., Ujang, F. A., Mohamad, Z., Hasan, M. Y. and Yoshihito, S. (2019). Convective sludge drying by rotary drum dryer using waste steam for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Cleaner Production*, 240. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117986
- Federación Mexicana de Palma de Aceite (2020) FEMEXPALMA. *México Palmero en Cifras: Anuario Estadístico 2020*. p. 1-71. Disponible en:

http://femexpalma.com.mx/femexpalma.ftp/anuario_estadistico_2020.pdf. (Consultado: 20 junio 2021).

González-Cárdenas, A. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas* Vol. 37. p. 215-228.

Hernández-Cázares, A. S., N. Real-Luna, M. I. Delgado-Blancas, L. Bautista-Hernández y J. Velasco-Velasco. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. *Revista Agroproductividad*. Vol. 9. p. 10-17. ISSN-0188-7394.

Nasrullah, M., Singh, L., Mohamad, Z., Norsita, S., Krishnan, S., Wahida, N. and Zularisam, A. W. (2017). Treatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation with presence of hydrogen peroxide as oxidizing agent and polialuminum chloride as coagulant-aid. *Water Resources and Industry*, 17, 7-10. Doi: 10.1016/j.wri.2016.11.001

Ortiz Tapia M. del C., García Alamilla P., Lagunes Gálvez L.M., Arregoitia Quezada M. I., García Alamilla R., and León Chávez M. A. (2016). Obtención de biodiesel a partir de aceite crudo de palma (*Elaeis Guineensis Jacq.*). Aplicación del método de ruta ascendente. *Acta Universitaria*, 26(5), 3-10. Doi: 10.15174/au.2016.910

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017) SAGARPA. *Planeación Agrícola Nacional. 2017-2030. Palma de Aceite Mexicana*. Primera edición. México. Disponible en. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>. (Consultado: 10 enero 2021).

Sierra-Márquez J, L Sierra M y J Olivero V. (2017). Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis Guineensis Jacq.*). *Agronomía Mesoamericana*. 28(2):523-534. ISSN 2215-3608.

Tan, D. T., Chin, S. K., Poh, P. E. and Lee, Y. H. (2018). Preservation of thermophilic mixed culture for anaerobic palm oil mill effluent treatment by convective drying methods. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 1211-1222. Doi: 10.1007/s13762-017-1486-9

Van D, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas* (Especial Tomo II), 37:149-156. ISSN 0121- 2923

CAPÍTULO I. REVISIÓN GLOBAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA *ELAEIS GUINEENSIS*

RESUMEN

El proceso de extracción del aceite de palma genera residuos sólidos como el hueso de palma aceitera, racimos de fruto vacíos, fibras, clinker de aceite de palma, cenizas y desechos líquidos del molino; que forman el efluente, el cual, representa un sistema coloidal de agua, aceite y componentes suspendidos finos. El presente trabajo tiene por objetivo compilar la información disponible en la *Web of Science* de la composición de los efluentes emitidos durante la extracción de aceite de palma *Elaeis guineensis*. Se consultaron 22 referencias del tema de efluentes en la *Web of Science* de noviembre a diciembre de 2020; de las cuales 20 son de Malasia, uno de Indonesia, el otro de Tailandia y se describieron 36 variables. Con los valores promedios de cada parámetro descrito es posible tener una referencia internacional de la emisión de efluentes; con lo cual se podrán comparar las emisiones de efluentes en plantas extractoras de aceite de palma locales, permitiendo establecer normas en los países que la requieran. Este estudio muestra la escasa información sobre el tema en zonas tropicales de América; por lo que es necesario realizar este tipo de estudios a nivel nacional y tener otro punto de comparación.

Palabras claves: Extracción de aceite, palma aceitera, efluente, composición.

CHAPTER I. GLOBAL REVIEW OF THE CHARACTERISTICS OF EFFLUENTS FROM *ELAEIS GUINEENSIS* PALM OIL EXTRACTOR PLANTS

ABSTRACT

The palm oil extraction process generates solid residues such as oil palm hulls, empty fruit bunches, fibers, palm oil clinker, ash and liquid waste from the mill, which form the effluent, which represents a colloidal system of water, oil and fine suspended components. The objective of this work is to compile the information available in the *Web of Science* on the composition of the effluents emitted during the extraction of oil from the *Elaeis guineensis* palm. Twenty-two references of the effluent topic were consulted in the *Web of Science* from November to December 2020; of which 20 are from Malaysia, one from Indonesia, the other from Thailand and 36 variables were described. With the average values of each parameter described above, it is possible to have an international reference of effluent emissions, which will allow comparison of effluent emissions in local palm oil extraction plants, making it possible to establish standards in the countries that require them. This study shows the scarcity of information on the subject in tropical areas of the Americas; therefore, it is necessary to carry out this type of study at the national level in order to have another point of comparison.

Key words: Oil extraction, oil palm, effluent, composition.

1.1. INTRODUCCIÓN

La palma aceitera *Elaeis guineensis*, originaria de África Occidental, se ha expandido a regiones tropicales del sudeste asiático (Zainal *et al.*, 2017). Indonesia y Malasia son el primer y segundo lugar como países productores y exportadores de aceite crudo de palma (ACP) (Ibrahim *et al.*, 2017).

En la extracción del aceite del fruto de la palma se realizan procesos de esterilización, decapado, digestión, prensado, clasificación, purificación y secado al vacío (Nasrullah *et al.*, 2017). La extracción del aceite genera subproductos de desecho sólidos como restos de cáscara de palma aceitera, racimos de fruto vacíos, fibras, clinker de aceite de palma, cenizas y los desechos líquidos; que forman el efluente del molino (Bashir *et al.*, 2016). Las actividades relacionadas con el proceso demandan agua dulce de bajos costos de tratamiento y bombeo (Bashir *et al.*, 2019). Durante el proceso de extracción se ocupa de 5 a 7.5 toneladas de agua para obtener una tonelada de aceite crudo de palma, aproximadamente el 50 % del agua, es convertida en aguas residuales (Shak and Wu, 2015). Estadísticamente se ha generado una relación 3:1 de toneladas, entre la generación de efluentes y aceite de palma crudo (Ng *et al.*, 2017). En los molinos, los principales puntos de producción de efluentes son: en la zona de esterilización (36 %), clarificación - purificación del ACP (60 %) y procesos de hidrociclón (4 %) (Tan *et al.*, 2018). En Malasia la producción anual de efluentes en 2009, de acuerdo a Liew *et al.* (2015) registró 60 millones de toneladas, en el proceso de extracción de aceite.

El efluente representa un sistema coloidal de agua, aceite y componentes suspendidos finos; materias vegetativas, fibras cortas, compuestos nitrogenados, lípidos, materia de celulosa mezclada con pequeñas porciones de aceite residual, sin presencia de químicos, ácidos orgánicos libres, carbohidratos solubles en agua, carbohidratos insolubles, constituyentes minerales, proteínas, aminoácidos y nutrientes inorgánicos (Na, K, Ca, Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Cd, N, P y Mg), orgánulos y constituyentes orgánicos, gran cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), alta acidez, color marrón oscuro, lo que indica que es un producto residual contaminante, que emite compuestos volátiles como metano, amoníaco-N, dióxido de azufre y halógenos, componentes que en altas

concentraciones pueden impactar la vida acuática y el medio ambiente al ser descargados (Ahmed *et al.*, 2015).

El presente trabajo tiene por objetivo compilar la información disponible en la *Web of Science* de la composición de los efluentes emitidos durante la extracción de aceite de palma *Elaeis guineensis*.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo fue útil la *Web of Science* (WOS) se investigó información sobre caracterización de efluentes de palma de aceite. La WOS está integrada por más de 3300 editoriales del mundo. La recopilación de publicaciones se realizó de noviembre a diciembre del 2020.

Para la presentación de la información recopilada se utilizó la estadística descriptiva (realizada con Excel) y los diagramas de caja y bigote (con el programa *Statistica* versión 7.0). Los diagramas de caja y bigote fueron utilizados cuando se reunieron cinco o más datos de cada variable. Las variables con dos a cuatro datos se presentan en un cuadro como media, desviación estándar, máximo, mínimo, rango y datos reportados. Las variables con un dato se presentan en un párrafo descriptivo, con la respectiva cita.

1.3. RESULTADOS

La revisión de las publicaciones de la WOS permitió tener las características de los efluentes emitidos por plantas extractoras de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) de diferentes partes del mundo.

Se consultaron 22 referencias que muestran datos del tema de efluentes en la *Web of Science* de noviembre a diciembre de 2020; de las cuales 20 son de Malasia, uno de Indonesia, el otro corresponde a Tailandia y se describen 36 variables.

Se encontró información de 36 parámetros; 20 propiedades (químicas, físicas y biológicas) y 16 elementos químicos (composición mineral). Dicha información se organizó en tres grupos: 1) Grupo 1, dato reportado en un solo documento, 2) Grupo 2, datos de dos a cuatro informes, y su estadística descriptiva se presenta en un cuadro y

3) Grupo 3, aquellos con cinco o más de cinco datos y son presentados en diagramas de caja y bigote. Los siguientes párrafos describen los parámetros y abreviación correspondiente.

1.3.1. Informe de análisis reportado en un solo documento

En la búsqueda se encontraron parámetros reportados por una referencia, encontrando en total seis casos similares, se mencionan a continuación: carbono orgánico total (COT) = 5580 mg L⁻¹ (Abdullah *et al.*, 2015), carbono total (TC) = 25139 mg L⁻¹ (Nurliyana *et al.*, 2015), carbohidrato total (CT) = 0.002 mg L⁻¹ (Norfadilah *et al.*, 2016), carbohidrato soluble total (CST) = 27500 mg L⁻¹ (Budiman and Wu, 2016), cobalto (Co) = 0.05 mg L⁻¹ y cadmio (Cd) = 0.015 mg L⁻¹ (ambos publicados por Ahmed *et al.* (2015).

Todos estos parámetros fueron publicados como datos únicos, permiten conocer el comportamiento general de dichas variables y destacan el poco análisis de metales pesados reportados en la caracterización de efluentes de las plantas extractoras de aceite.

1.3.2. Informe de análisis reportados en dos, tres o cuatro documentos

Se registraron 13 parámetros con más de un dato, pero menos de cinco: demanda química de oxígeno soluble (DQOs), sólidos totales disueltos (STD), turbidez (NTU), color (ADMI), ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (AT), fósforo total (PT), relación carbono nitrógeno (C/N), boro (B), potasio (K), aluminio (Al), cromo (Cr) y cobre (Cu). Los datos y estadística descriptiva se presentan en la Tabla 1.1. Exceptuando al cromo, podemos indicar que esta serie de variables reportadas son de utilidad para considerar los efluentes como nutrientes (PT, B, K y Cu) o como mejoradores del suelo por el aporte de material orgánico y de su calidad (STD, AT y la relación C/N).

Tabla 1.1. Estadística descriptiva de parámetros con menos de 5 datos.

Estadístico	DQOs mg L ⁻¹	STD mg L ⁻¹	Turbidez NTU	Color ADMI	AGV mg L ⁻¹	TA mg L ⁻¹	TP mg L ⁻¹	C/N mg L ⁻¹	B mg L ⁻¹	K mg L ⁻¹	Al mg L ⁻¹	Cr mg L ⁻¹	Cu mg L ⁻¹
Media	30509	29018	45221	5250	4098	940	87	10.33	17.28	2103	334	6.88	0.96
DE	12104	29674	38588	6718	2675	571	4.24	6.57	19.35	332	0	5.75	0.16
Mínimo	21950	8035	664	500	2184	536	84	6.54	7.6	1604	334	0.24	0.85
Máximo	39067	50000	67500	10000	8020	1344	90	17.93	46.3	2270	334	10.2	1.2
Rango	17117	41965	66836	9500	5836	808	6	11.39	38.7	665.5	0	9.96	0.35
Datos reportados	2	2	3	2	4	2	2	3	4	4	2	3	4

1.3.3. Informe de análisis reportado en más de cinco documentos

Este grupo incluye variables con más de cinco datos. Se describen 17 parámetros de los efluentes, distribuidos en la figura 1.1, 1.2 y 1.3, en diagramas de caja y bigote; se describe la importancia de la variable, cuando se encontró información.

En la figura 1.1 se presentan los diagramas de caja y bigote de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales (ST), sólido total volátil (STV), sólidos suspendidos totales (SST), además de aceite y grasa (AG).

Los datos reportados para DQO provienen de las 22 referencias bibliográficas. El valor promedio de DQO es de 54264 ± 26098 y una mediana de 51000 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 43.16, un máximo de 106934 y el rango de 106891 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 5564 con una asimetría negativa de -0.36. Se identificaron tres *outliers* (°) y dos valores extremos (*); ambas identificaciones con sobreestimación y subestimación de la DQO con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. La demanda química de oxígeno, de acuerdo con la Secretaría de Economía, (2013, p.1) es considerada una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, el cual depende de qué tan completa es la oxidación química, la cantidad de constituyentes orgánicos y la composición del agua estudiada.

Para el caso de la DBO se encontraron 20 referencias bibliográficas. El valor promedio de DBO es de 22908 ± 10822 y una mediana de 25000 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 25, un máximo de 44805 y el rango de 44780 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 2420 con una asimetría negativa de -0.47. Se identificaron tres *outliers* y dos valores extremos; en ambos casos se indica sobreestimación y subestimación de la DBO con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. La demanda bioquímica de oxígeno, de acuerdo con la Secretaría de Economía, (2001, p.1), estima la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los datos de sólidos totales (ST) provienen de 9 referencias bibliográficas. El valor promedio de ST es de 51281 ± 21880 y una mediana de 45250 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 20000, un máximo de 100000 y el rango de 80000 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 7293 con una asimetría positiva de 1.28. Se identificaron dos *outliers*; que indican sobreestimación y subestimación de ST con respecto a los rangos

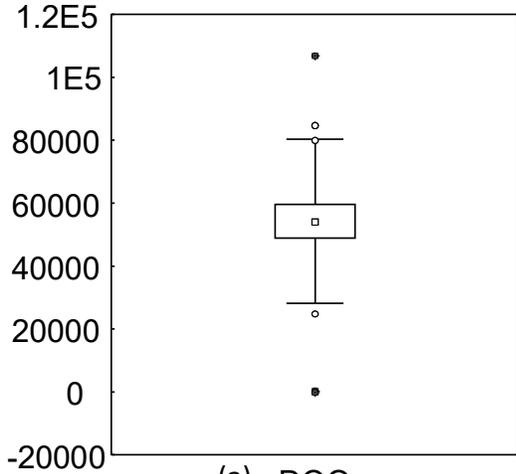
intercuartílicos de la caja y bigote. De acuerdo con la secretaria de Economía, (2016, p.1) los sólidos disueltos y/o sólidos suspendidos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua, un efluente o un proceso, el detectarlos permite conocer la efectividad de un proceso de tratamiento en agua. Los sólidos totales son los residuos que permanece en una cápsula de porcelana después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Los sólidos totales volátil (STV) se identificaron en 9 referencias bibliográficas. El valor promedio de STV es de 42229 ± 14941 y una mediana de 34000 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 34000, un máximo de 80000 y el rango de 46000 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 4980 con una asimetría positiva de 2.47. Se identificó un valor extremo de 80000 mg L^{-1} , que indicando sobreestimación de STV con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. De acuerdo con la secretaria de Economía, (2016, p.3) los sólidos totales volátiles son la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a $550\text{ °C} \pm 50\text{ °C}$.

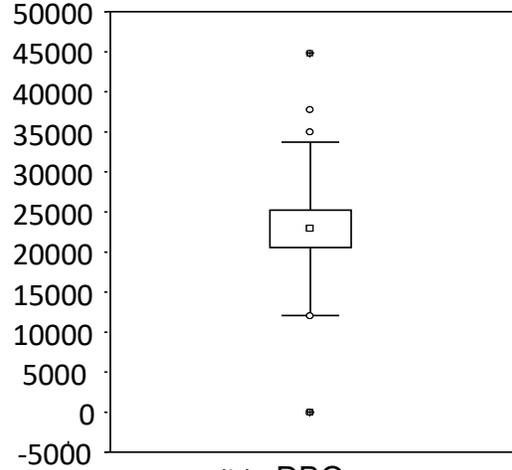
En sólidos suspendidos totales (SST) se identificaron de 21 referencias bibliográficas. El valor promedio de SST es de 22060 ± 12091 y una mediana de 19610 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 18.98, un máximo de 50000 y el rango de 49981 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 2639 con una asimetría positiva de 0.55. Se identificó un *outlier* que subestima y 3 valores extremos; de los cuales dos indican sobreestimación y uno subestimación de SST con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. Los sólidos suspendidos totales es el material formado por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de $1.5\text{ }\mu\text{m}$ seco y a peso constante a una temperatura de $105 \pm 2\text{ °C}$ de acuerdo con la secretaria de Economía, (2016, p. 3).

Los datos de aceites y grasas (AG) provienen de 15 referencias bibliográficas. El valor promedio de AG es de 5544 ± 4417 y una mediana de 4250 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 3.17, un máximo de 19560 y el rango de 19557 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 1141 con una asimetría positiva de 2.45. Se identificó un *outlier* que subestima y un valor extremo que sobreestima, los AG con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. Los aceites y grasas, de acuerdo con la secretaria de Economía, (2014, p.1) son una medición indicativa del grado de contaminación del agua por usos

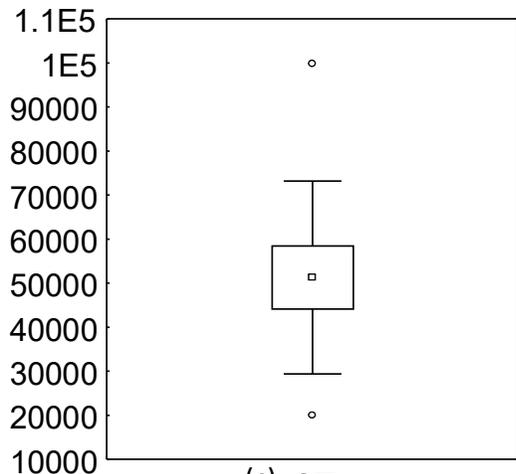
industriales y humanos. Esta medición incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano.



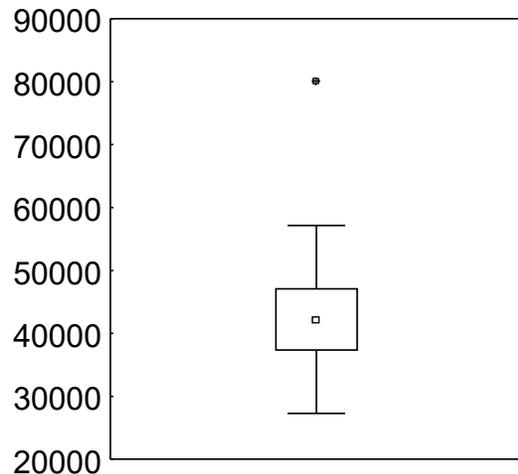
(a) DQO



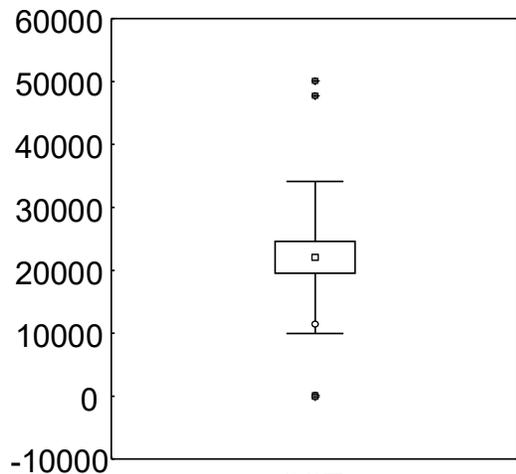
(b) DBO



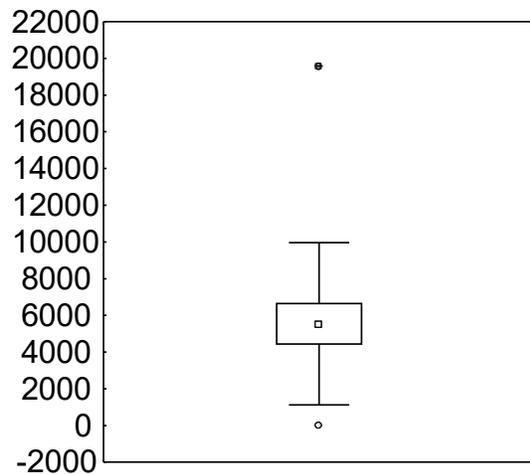
(c) ST



(d) STV



(e) SST



(f) AG

Figura 1.1. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) demanda química de oxígeno, (b) demanda bioquímica de oxígeno, (c) sólidos totales, (d) sólidos totales volátiles, (e) sólidos suspendidos totales y (f) aceite y grasa.

En la Figura 1.2 se presentan los diagramas de caja y bigote de (a) sólidos suspendidos volátiles (SSV), (b) nitrógeno total (NT), (c) amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), (d) temperatura (T), (e) potencial de hidrógeno (pH) y (f) fósforo total (PT).

Los datos de sólidos suspendidos volátiles (SSV) provienen de 5 referencias bibliográficas. El valor promedio de SSV es de 21182 ± 9868 y una mediana de 23513 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 4500, un máximo de 30870 y el rango de 26370 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 4412.99 con una asimetría negativa de -1.60. No se encontraron *outliers* ni valores atípicos. Los sólidos suspendidos volátiles son aquellos que se volatilizan en la calcinación a $550 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, de acuerdo con la norma secretaria de Economía, (2016, p. 3).

Para el nitrógeno total (NT) se obtuvieron 16 referencias bibliográficas. El valor promedio de NT fue de 729 ± 278 y una mediana de 750 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 46, un máximo de 1402 y el rango de 1356 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 69.39 con una asimetría negativa de -0.06. Se identificaron dos *outliers* y dos valores extremos; en ambos casos se indican sobreestimación y subestimación del NT con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote.

Los datos de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) son de 9 referencias bibliográficas. El valor promedio de $\text{NH}_4\text{-N}$ es de 53.22 ± 47.60 y una mediana de 35 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 20, un máximo de 176 y el rango de 156 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 15.87 con una asimetría positiva de 2.66. Se identificó un valor extremo que sobrestima, el $\text{NH}_4\text{-N}$ con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote.

El nitrógeno total y amonio, son fuentes de nitrógeno para las plantas (fertilizantes), influyen en la degradación natural de la materia orgánica, productos de limpieza y tratamientos de agua potable. El nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, lo que exige el monitoreo y control en las descargas. Las normas mexicanas (NMX) de la secretaria de Economía, (2011, p.3), aplicables para el análisis de aguas naturales, residuales y residuales tratadas, lo define como la suma del nitrógeno amoniacal o amonio libre y nitrógeno orgánico, los cuales son convertidos a

sulfato de amonio (NH_4) SO_4 , bajo condiciones de digestión de la muestra con ácido sulfúrico y en presencia de un catalizador (Espinosa-Lloréns, et al 2013, p.3).

En el caso de la temperatura (T), los datos provienen de 10 referencias bibliográficas. El valor promedio de T ($^{\circ}\text{C}$) es de 73.65 ± 18.92 y una mediana de 83.75, con un valor mínimo de 32, un máximo de 85 y el rango de 53°C ; mientras que el error típico fue de 5.98 con una asimetría negativa de -1.70. Se identificaron dos *outliers* que subestiman, las T ($^{\circ}\text{C}$) con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. La temperatura, de acuerdo con la secretaria de Economía, (2014, p.2), es útil para expresar el grado calórico referido a un cierto cuerpo. El valor es un criterio de calidad de agua para la protección de la vida acuática, un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales. En el tratamiento y el abastecimiento de agua, se mide como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes. Las temperaturas elevadas en agua pueden ser indicadores de actividad biológica, química y física.

El potencial de hidrógeno (pH) se describe de 21 referencias bibliográficas. El valor promedio de pH es de 4.68 ± 1.22 y una mediana de 4.3, con un valor mínimo de 3.4, un máximo de 9 y el rango de 5.6; mientras que el error típico fue de 0.27 con una asimetría positiva de 2.67. Se identificaron dos *outliers* que subestiman y dos valores extremos que sobrestiman el pH con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote. El potencial de hidrógeno (pH) de acuerdo con la secretaria de Economía, (2016, p.3), se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución. Su importancia radica en permitir evaluar las propiedades corrosivas de un medio acuático y el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de agua y el control de disolución de metales en canales, conductos, tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales. Los valores extremos altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos. El valor del pH puede cambiar rápidamente como resultado de procesos químicos, físicos o biológicos.

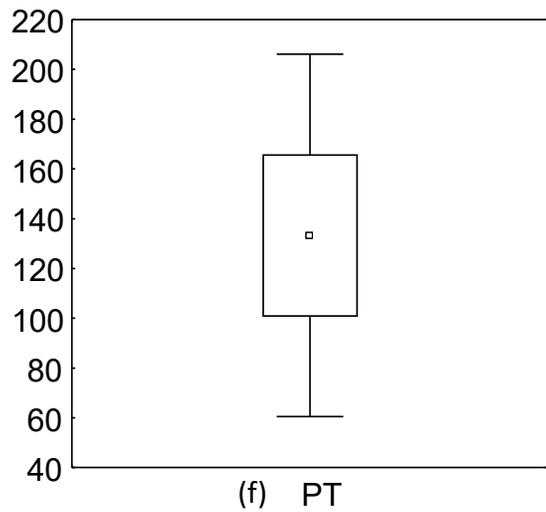
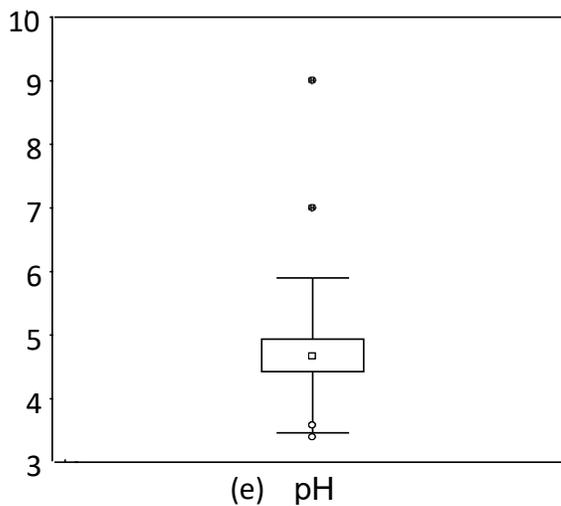
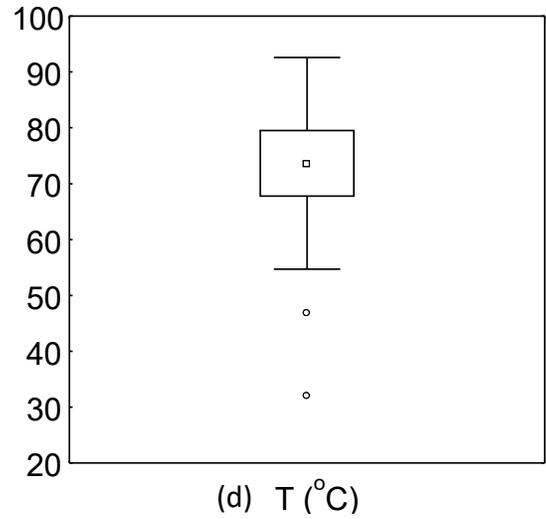
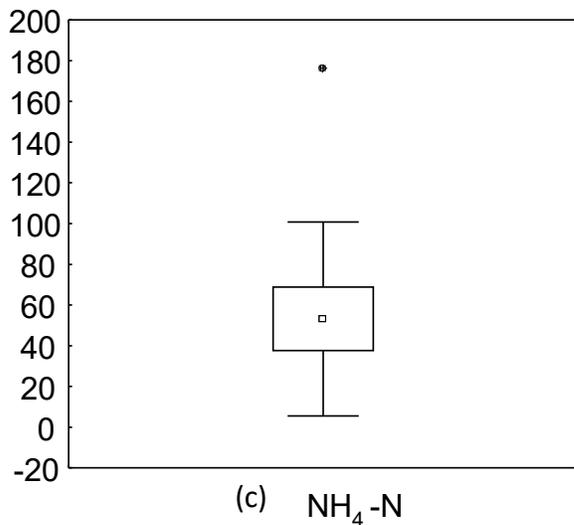
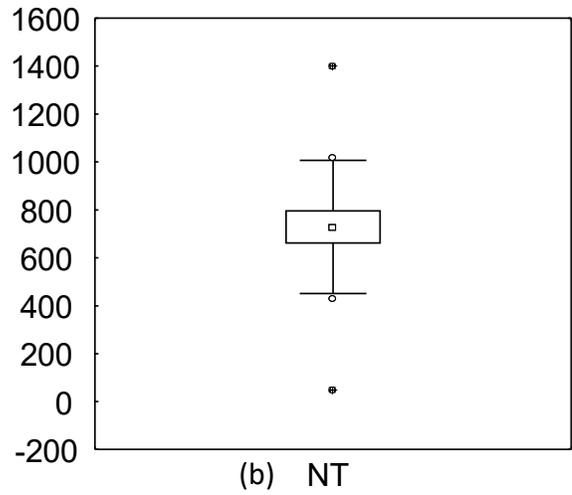
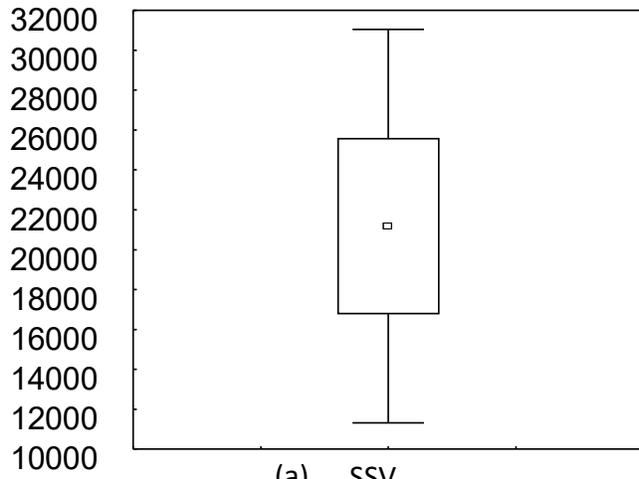


Figura 1.2. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) sólidos volátiles suspendidos, (b) nitrógeno total, (c) amonio, (d) temperatura, (e) potencial de hidrógeno y (f) fósforo total.

Los datos reportados de fósforo total (PT) provienen de 5 referencias bibliográficas. El valor promedio de PT es de 133.3 ± 72.81 y una mediana de 180 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 14, un máximo de 180 y el rango de 166 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 32.56 con una asimetría negativa de -1.51. No se observaron datos atípicos. El fósforo total, de acuerdo con la secretaria De Economía, (2001, p.1), se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos, provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. Al ser un nutriente esencial, su presencia en las descargas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas.

En la Figura 1.3 se presentan los diagramas de caja y bigote del Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeso (Mg).

Para el Magnesio (Mg) se obtuvieron 7 referencias bibliográficas. El valor promedio de Mg es de 757 ± 311 y una mediana de 615 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 299, un máximo de 1144 y el rango de 845 mg L^{-1} ; el error típico fue de 118 con una asimetría positiva de 0.10. No se observaron *outliers* ni datos atípicos.

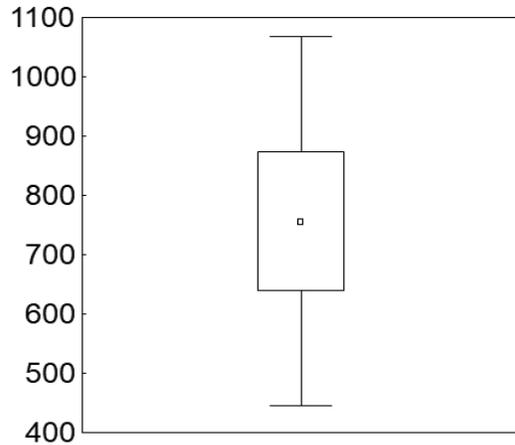
En el caso del Calcio (Ca) se obtuvieron datos de 5 referencias bibliográficas. El valor promedio de Ca es de 393 ± 63.89 y una mediana de 439 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 308, un máximo de 439 y el rango de 131 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 28.57 con una asimetría negativa de -0.75. No se observaron *outliers* ni datos atípicos.

Para el Hierro (Fe) se describen datos de 7 referencias bibliográficas. El valor promedio de Fe es de 83.90 ± 52.31 y una mediana de 70.7 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 46.50, un máximo de 187 y el rango de 140 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 19.77 con una asimetría positiva de 1.59. Se identificó un *valor* que sobrestima, la concentración de Fe con respecto a los rangos intercuartílicos de la caja y bigote.

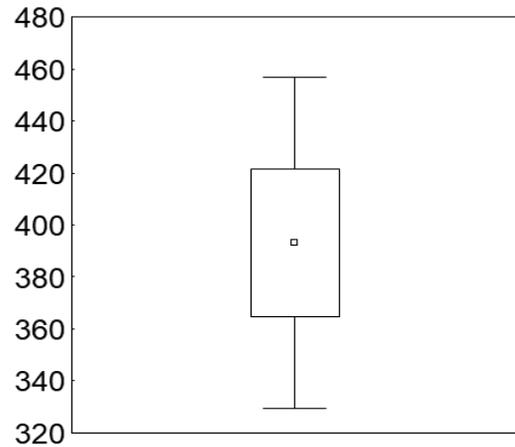
En el caso de Zinc (Zn) se describen datos de 6 referencias bibliográficas. El valor promedio de Zn es de 3.91 ± 2.82 y una mediana de 2.3 mg L^{-1} , con un valor mínimo de 1.5, un máximo de 7.53 y el rango de 6.03 mg L^{-1} ; mientras que el error típico fue de 1.15 con una asimetría positiva de 0.91. No se observaron *outliers* ni datos atípicos.

Para el Manganeso (Mn) se describen datos de 6 referencias bibliográficas. El valor promedio de Mn es de 3.70 ± 2.20 y una mediana de 2.63 mg L^{-1} , con un valor mínimo

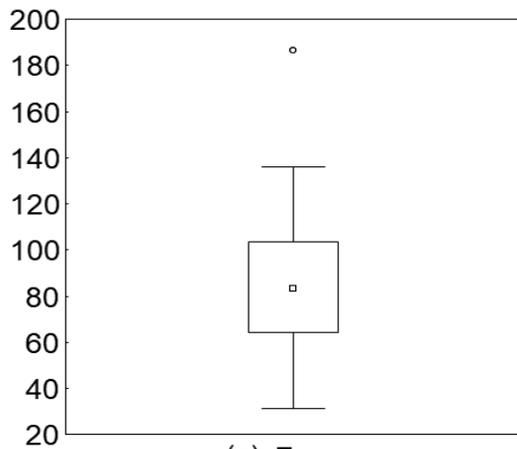
de 2.00, un máximo de 6.47 y el rango de 4.47 mg L⁻¹; mientras que el error típico fue de 0.90 con una asimetría positiva de 0.78. No se observaron *outliers* ni datos atípicos.



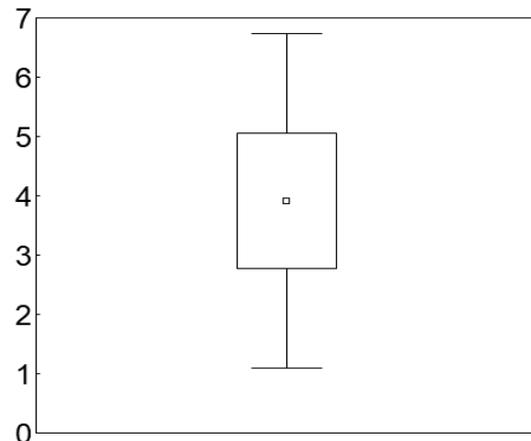
(a) Mg



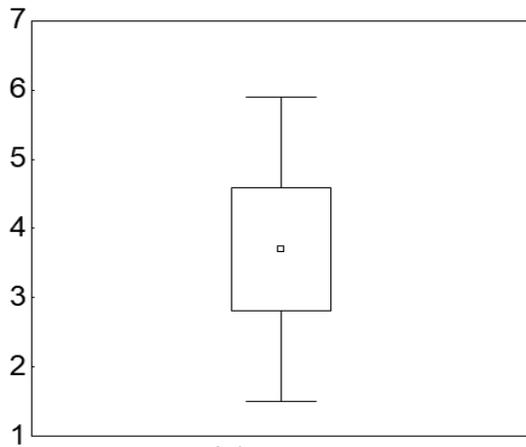
(b) Ca



(c) Fe



(d) Zn



(e) Mn

Figura 1.3. Diagramas de caja y bigote de las variables (a) Magnesio, (b) Calcio, (c) Fierro, (d) Zinc, (e) Manganeseo.

Los metales aquí reportados (aluminio, boro, calcio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, potasio y zinc) que se encuentran en las aguas residuales y residuales tratadas para la salud humana, de acuerdo con la secretaria de Economía, (2016, p. 1), pueden tener desde concentraciones de beneficios, hasta niveles tóxicos causantes de problemas. Algunos metales son esenciales y otros pueden afectar los sistemas de tratamiento de aguas y los cuerpos de agua receptores.

Los *outliers* y los datos atípicos observados en todos los casos pueden deberse a errores en el muestreo, punto de muestreo o el método analítico.

1.4. CONCLUSIONES

Con los valores promedios de cada parámetro descrito es posible tener una referencia internacional de las características que prevalecen en los efluentes; con lo cual se podrán comparar las emisiones de efluentes en plantas extractoras de aceite de palma, locales. Y para establecer normas en los países que no la tenga. Este estudio deja claro el vacío de conocimiento del tema en las zonas tropicales de América en la plataforma *Web of Science*, por lo que sería enriquecedor contar con este tipo de estudios a nivel nacional y tener diversos puntos de comparación.

1.5. LITERATURA CITADA

Ahmad, A. L., Idris, I., Chan, C. Y. and Ismail, S. (2015). Reclamation from palm oil mill effluent using an integrated zero discharge membrane-based process. *Polish Journal of Chemical Technology*, 17, 49-55. Doi: 10.1515/pjct-2015-0068

Abdullah, M. A., Afzaal, M., Ismail, Z., Ahmad, A., Nazir, M. S. and Bhat, A. H. (2015). Comparative study on structural modification of *Ceiba pentandra* for oil sorption and palm oil mill effluent treatment. *Desalination and Water Treatment*, 54, 3044-3053. Doi: 10.1080/19443994.2014.906326|

- Ahmed, Y., Yaakob, Z., Akhtar, P. and Sopian, K. (2015). Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1260-1278. Doi: 10.1016/j.rser.2014.10.073
- Akhbari, A., Kutty, P. K., Chuen, O. C. and Ibrahim, S. (2020). A study of palm oil mill processing and environmental assessment of palm oil mill effluent treatment. *Environmental Engineering Research*, 25, 212-221. Doi: 10.4491/eer.2018.452
- Alhaji, M. H., Sanaulah, K., Lim, S. F., Khan, A., Hipolito, C. N., Abdullah, M. O., Bhawani, S. A. and Jamil, T. (2016). Photocatalytic treatment technology for palm oil mill effluent (POME) - A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 673-686. Doi: 10.1016/j.psep.2016.05.020
- Bashir, M. J. K., Han, T. M., Wei, L. J., Aun, N. C. and Abu Amr, S. S. (2016). Polishing of treated palm oil mill effluent (POME) from ponding system by electrocoagulation process. *Water Science and Technology*, 73, 2704-2712. Doi: 10.2166/wst.2016.123
- Bashir, M. J. K., Lim, J. H., Abu Amr, S. S., Wong, L. P. and Sim, Y. L. (2019). Post treatment of palm oil mill effluent using electro-coagulation-peroxidation (ECP) technique. *Journal of Cleaner Production*, 208, 716-727. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.073
- Budiman, P. M. and Wu, T. Y. (2016). Ultrasonication pre-treatment of combined effluents from palm oil, pulp and paper mills for improving photofermentative biohydrogen production. *Energy Conversion and Management*, 119, 142-150. Doi: 10.1016/j.enconman.2016.03.060
- Budiman, P. M., Wu, T. Y., Ramanan, R. N. and Jahim, J. M. (2017). Improving photofermentative biohydrogen production by using intermittent ultrasonication and combined industrial effluents from palm oil, pulp and paper mills. *Energy Conversion and Management*, 132, 110-118. Doi: 10.1016/j.enconman.2016.09.071
- Espinosa-Lloréns, M. C., León-Hernández Y., y Rodríguez-Petit, X. (2013). Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (Nitrógeno Total y Amoniacal) en aguas residuales. *Revista CIENIC Ciencias Químicas*, 44, 1-12. ISSN: 1015-8553. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181629303001>

- Farid, M. A. A., Roslan, A. M., Hassan, M. A., Ujang, F. A., Mohamad, Z., Hasan, M. Y. and Yoshihito, S. (2019). Convective sludge drying by rotary drum dryer using waste steam for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Cleaner Production*, 240. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117986
- Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T. and Fujie, K. (2015). Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries. *Water Science and Technology*, 72, 1089-1095. Doi: 10.2166/wst.2015.311
- Ibrahim, I., Hassan, M. A., Abd-Aziz, S., Shirai, Y., Andou, Y., Othman, M. R., Ali, A. A. M. and Zakaria, M. R. (2017). Reduction of residual pollutants from biologically treated palm oil mill effluent final discharge by steam activated bioadsorbent from oil palm biomass. *Journal of Cleaner Production*, 141, 122-127. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.066
- Khemkhao, M., Techkarnjanaruk, S. and Phalakornkule, C. (2015). Simultaneous treatment of raw palm oil mill effluent and biodegradation of palm fiber in a high-rate CSTR. *Bioresource Technology*, 177, 17-27. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.11.052
- Liew, W. L., Kassim, M. A., Muda, K., Loh, S. K. and Affam, A. C. (2015). Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 149, 222-235. Doi: 10.1016/j.jenvman.2014.10.016
- Manickam, S., Abidin, N. B. Z., Parthasarathy, S., Alzorqi, I., Ng, E. H., Tiong, T. J., Gomes, R. L. and All, A. (2014). Role of H₂O₂ in the fluctuating patterns of COD (chemical oxygen demand) during the treatment of palm oil mill effluent (POME) using pilot scale triple frequency ultrasound cavitation reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 1519-1526. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.01.002
- Mohammadi, P., Ibrahim, S. and Annuar, M. S. M. (2014). High-rate fermentative hydrogen production from palm oil mill effluent in an up-flow anaerobic sludge blanket-fixed film reactor. *Chemical Engineering Research and Design*, 92, 1811-1817. Doi: 10.1016/j.cherd.2014.04.023
- Nasrullah, M., Singh, L., Mohamad, Z., Norsita, S., Krishnan, S., Wahida, N. and Zularisam, A. W. (2017). Treatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation with presence of hydrogen peroxide as oxidizing agent and polialuminum chloride as

- coagulant-aid. *Water Resources and Industry*, 17, 7-10. Doi: 10.1016/j.wri.2016.11.001
- Ng, C. A., Wong, L. Y., Chai, H. Y., Bashir, M. J. K., Ho, C. D., Nisar, H. and Lo, P. K. (2017). Investigation on the performance of hybrid anaerobic membrane bioreactors for fouling control and biogas production in palm oil mill effluent treatment. *Water Science and Technology*, 76, 1389-1398. Doi: 10.2166/wst.2017.326
- Norfadilah, N., Raheem, A., Harun, R. and Ahmadun, F. R. (2016). Bio-hydrogen production from palm oil mill effluent (POME): A preliminary study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 11960-11964. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.04.096
- Nurliyana, M. Y., H'ng, P. S., Rasmina, H., Kalsom, M. S. U., Chin, K. L., Lee, S. H., Lum, W. C. and Khoo, G. D. (2015). Effect of C/N ratio in methane productivity and biodegradability during facultative co-digestion of palm oil mill effluent and empty fruit bunch. *Industrial Crops and Products*, 76, 409-415. Doi: 10.1016/j.indcrop.2015.04.047
- Othman, M. R., Hassan, M. A., Shirai, Y., Baharuddin, A. S., Ali, A. A. M. and Idris, J. (2014). Treatment of effluents from palm oil mill process to achieve river water quality for reuse as recycled water in a zero emission system. *Journal of Cleaner Production*, 67, 58-61. Doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.004
- Poh, P. E. and Chong, M. P. (2014). Upflow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor for thermophilic palm oil mill effluent (POME) treatment. *Biomass and Bioenergy*, 67, 231-242. Doi: 10.1016/j.biombioe.2014.05.007
- Secretaría de Economía. (2001). Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO5) y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela A La NMX-AA-028-1981), p.1. Actualmente: PROY-NMX-AA-028-SCFI-2019. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril de 2001. Pág:43. 1ra. Sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166771/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>
DOF:http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767361&fecha=17/04/2001
(Consultado 10 enero 2021).

Secretaría de Economía. (2001). Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de Aguas - Determinación de Fósforo Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (cancela a la NMX-AA029-1981), p.1. Actualmente: PROY-NMX-AA-029/1-SCFI-2008. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril de 2001. Pág:43. 1ra. Sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>

DOF:http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767361&fecha=17/04/2001

(Consultado 18 enero 2021).

Secretaría de Economía. (2011). Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de Agua - Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba - (Cancela A La NMX-AA-026-SCFI-2001), p. 3. Diario Oficial de la Federación. 03 de marzo de 2011. Pag: 95. 1ra sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166772/NMX-AA-026-SCFI-2010.pdf>

DOF:http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5297409&fecha=29/04/2013.

(Consultado 10 enero 2021).

Secretaría de Economía. (2013). Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de Agua - Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - (Cancela a la NMX-AA-030/1-SCFI-2001), p.1. Diario Oficial de la Federación. 21 de mayo de 2013. p.:47. 1ra. Sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299575&fecha=21/05/2013.

(Consultado 06 enero 2021).

Secretaría de Economía. (2014). Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013. Análisis de agua – medición de Grasas y Aceites Recuperables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000), p.1. Diario Oficial de la Federación, 11 de abril del 2014. p:42. 1ra sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166764/nmx-aa-005-scfi->

2013.pdf

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5340480&fecha=11/04/2014.
(Consultado 14 enero 2021).

Secretaria de Economía. (2014). Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis De Agua – Medición de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba - (Cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000), p.2. Diario Oficial de la Federación, 23 de enero de 2014. p:98. 1ra Sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166766/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf>

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330532&fecha=23/01/2014.
(Consultado 14 enero 2021).

Secretaria de Economía. (2016). Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis De Agua. - Medición del pH en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. - Método de Prueba- (Cancela a la NMX-AA-008SCFI-2011), p.3. Diario Oficial de la Federación. 09 de septiembre de 2016. p: 97. 1ra Sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5452147&fecha=09/09/2016.
(Consultado 14 enero 2021).

Secretaria de Economía. (2016). Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis De Agua - Medición De Sólidos Y Sales Disueltas En Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas – Método De Prueba (CANCELA A LA NMX-AA-034-SCFI-2001), p.1-3. Diario Oficial de la Federación. 18 de abril de 2016. Pag.:87. 1ra. sección. Disponible en:

NMX:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5433394&fecha=18/04/2016
DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5433394 (Consultado 06 enero 2021). (Consultado 08 enero 2021).

Secretaria de Economía. (2016). Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de Agua. -Medición de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas- Método de Prueba (Cancela A La NMX-AA-051-SCFI-2001), p.1. Diario Oficial de la Federación. 07 de diciembre de 2016. p.:102.

1ra. Sección. Disponible en: [NMX:http://transparencia.japac.gob.mx/wp-content/uploads/art95/fxvi/normas/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf](http://transparencia.japac.gob.mx/wp-content/uploads/art95/fxvi/normas/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf)

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464459&fecha=07/12/2016.
(Consultado 11 enero 2021).

- Shak, K. P. Y. and Wu, T. Y. (2015). Optimized use of alum together with unmodified *Cassia obtusifolia* seed gum as a coagulant aid in treatment of palm oil mill effluent under natural pH of wastewater. *Industrial Crops and Products*, 76, 1169-1178. Doi: 10.1016/j.indcrop.2015.07.072
- Tabassum, S., Zhang, Y. J. and Zhang, Z. J. (2015). An integrated method for palm oil mill effluent (POME) treatment for achieving zero liquid discharge - A pilot study. *Journal of Cleaner Production*, 95, 148-155. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.056
- Taha, M. R. and Ibrahim, A. H. (2014). COD removal from anaerobically treated palm oil mill effluent (AT-POME) via aerated heterogeneous Fenton process: Optimization study. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 8-16. Doi: 10.1016/j.jwpe.2014.02.002
- Tan, D. T., Chin, S. K., Poh, P. E. and Lee, Y. H. (2018). Preservation of thermophilic mixed culture for anaerobic palm oil mill effluent treatment by convective drying methods. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 1211-1222. Doi: 10.1007/s13762-017-1486-9
- Tan, S. P., Kong, H. F., Bashir, M. J. K., Lo, P. K., Ho, C. D. and Ng, C. A. (2017). Treatment of palm oil mill effluent using combination system of microbial fuel cell and anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, 245, 916-924. Doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.202
- Zainal, N. H., Jalani, N. F., Mamat, R. and Astimar, A. A. (2017). A Review On The Development Of Palm Oil Mill Effluent (Pome) Final Discharge Polishing Treatments. *Journal of Oil Palm Research*, 29, 528-540. Doi: 10.21894/jopr.2017.00012

CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA *ELAEIS GUINEENSIS*

RESUMEN

Se realizó la evaluación del sistema de tratamiento de efluentes generados en una planta extractora de aceite crudo de palma *Elaeis Guineensis*. El estudio se realizó con un diseño descriptivo, transversal, prospectivo y no experimental, mediante un método no probabilístico por conveniencia. Los muestreos fueron realizados a la entrada del sistema de tratamiento, la salida metanogénica y la descarga. La toma de muestras se realizó cada quince días, en el periodo enero - diciembre de 2019 y 2020. En los efluentes se analizó la temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO). Se realizó una descripción estadística de los resultados analizados, los datos promedios de los efluentes analizados se compararon con una prueba *t student* con los promedios obtenidos de un *review* de efluentes, se aplicó una ecuación para medir el rendimiento del sistema de tratamiento de efluentes y se compararon con los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales establecidos en las normas oficiales mexicanas y en la norma AC-CC-01 internacional. Los resultados indican que se obtuvo un rendimiento positivo en el tratamiento de efluentes en el sistema de tratamiento para los parámetros temperatura, pH, sólidos totales y DQO. Se observó que el parámetro de DQO no cumple con lo establecido en la norma internacional AC-CC-01 y las normas mexicanas no tienen límites máximo permisible para calificar ST y DQO.

Palabras claves: Palma aceitera, Lagunas de sedimentación, Agroindustrias, Normas.

CHAPTER II. PERFORMANCE OF THE EFFLUENT TREATMENT SYSTEM OF AN *ELAEIS GUINEENSIS* PALM OIL EXTRACTING PLANT

ABSTRACT

The evaluation of the effluent treatment system generated in a crude oil extraction plant of the *Elaeis Guineensis* palm was carried out. The study was conducted with a descriptive, cross-sectional, prospective and non-experimental design, using a non-probabilistic method by convenience. Sampling was performed at the treatment system inlet, methanogenic outlet and discharge. Sampling was carried out every fifteen days, in the period January - December 2019 and 2020. The effluents were analyzed for temperature (T), hydrogen potential (pH), total solids (TS) and chemical oxygen demand (COD). A statistical description of the analyzed results was made, the average data of the analyzed effluents were compared with a student t-test with the averages obtained from an effluent *review*, an equation was applied to measure the performance of the effluent treatment system and they were qualified with the maximum permissible limits of pollutants in wastewater established in the Mexican official standards and in the international standard AC-CC-01. The results indicate that positive effluent treatment performance was obtained in the treatment system for the parameters temperature, pH, total solids and COD. It was observed that the COD parameter does not comply with international standard AC-CC-01 and the Mexican standards do not have maximum allowable limits to qualify ST and COD.

Key words: Oil palm, Sedimentation ponds, Agroindustries, Standards.

2.1. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Medio Ambiente (DOE) de Malasia y la Organización Mundial de la Salud (OMS), han propuesto regulaciones estrictas para la protección y conservación del ambiente, procurando la mejora de la calidad del agua de río, y sustentabilidad (Akhbari *et al.*, 2020). El sureste de México es una zona intertropical, con condiciones aptas para el cultivo de la palma aceitera, que produce frutos oleaginosos del que se extraen importantes aceites; aceite crudo de palma y aceite de palmiste o kernel. A la fecha, la palma de aceite en México se cultiva en cuatro estados Campeche, Chiapas, Tabasco y Veracruz, (FEMEXPALMA, 2020, p.33). Los residuos líquidos generados en la extracción de aceite de palma forman efluentes, líquidos por lo general espesos y parduzcos, de olor desagradable, con alto contenido de contaminantes orgánicos, el cual requiere múltiples tratamientos, la etapa primaria utiliza el método anaeróbico como mejor práctica, variando los métodos de las etapas posteriores (Taha and Ibrahim, 2014). El tratamiento del efluente puede ser químico (considerado poco ecológico), o físicos que requieren mantenimiento regular y de un proceso general más complejo (Khemkhao *et al.*, 2015).

Las plantas extractoras de aceite en Malasia, utilizan en un 85 % el método de sistemas de estanques (Farid *et al.*, 2019). El sistema de estanques es económico, simple y de fácil manipulación, en su mayoría no cuentan con revestimiento, requieren áreas extensas (aproximadamente 40468 – 48562 m²) y largos periodos de retención hidráulica. Constan de un sistema de enfriamiento y mezcla, y estanques anaerobios; en estos sistemas, las bacterias aeróbicas degradan los residuos orgánicos complejos (en biomasa), que generan emisiones de gases de efecto invernadero; CH₄, CO₂ y H₂O (Bashir *et al.*, 2019; Hasanudin *et al.*, 2015).

Los compuestos orgánicos (Ciclotetrasiloxane octamethyl, Ciclopentasiloxane decamethyl, Cyclohexasiloxane dodecamethyl, Phenol 2,6-bis (1,1 dimethylethyl), Hexadecanoic acid, methyl ester, Octadecanoic acid, methyl ester), elementos (Mg, Na y K), y metales pesados (Cu y Zn), fueron tóxicos presentes en la descarga final de efluentes, los procesos de tratamiento efectivos para reducirlos fueron, de acuerdo a Hashiguchi *et al.*, (2020): ajuste de pH, aireación, filtración y extracción de fase sólida,

se recomienda monitoreo de los productos químicos y toxicidad biológica, para obtener una calidad de descarga aceptable. La composición de los efluentes es información necesaria para la Agroindustria, y deben ser analizados con una base de datos integrada para conocer su evolución en el tiempo. Lo anterior integra costo-tiempo-trabajo y tomas de decisiones para el manejo de los efluentes. La hipótesis plantea que el sistema de tratamiento de efluentes de la planta extractora de aceite es suficiente para reducir: la temperatura, la acidez, los sólidos y demanda química de oxígeno. El objetivo del presente trabajo es evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento de efluentes generados en una planta de extracción de aceite crudo de palma *Elaeis Guineensis*.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Lugar de Muestreo

La planta extractora de aceite de palma y las lagunas de tratamiento de efluentes muestreadas, se ubican hacia de El Ejido Chipilinar 3ra. Sección, del municipio de Jalapa, Tabasco, en la Región del Río Grijalva, subregión Sierra entre la carretera Jalapa – Macuspana, a la altura del Ejido Jalapa, km 1.52. El clima en esta subregión es cálido húmedo con lluvias todo el año, la temperatura media anual es de 26 °C y la precipitación media anual en el estado es de 3783 mm (INEGI, 2017, p. 25 y Portal Tabasco, 2021, p.1). Las lagunas de tratamientos de aguas residuales de la planta, ocupan un área de 10 374 m² y un perímetro de 133 m x 78 m (Google Earth Pro, 2019).

2.2.2. Muestreo y análisis de Efluentes

El estudio se realizó con un diseño descriptivo, transversal, prospectivo y no experimental. Los muestreos de efluentes fueron realizados en las lagunas de tratamiento, ubicadas a un costado de la planta extractora de aceite; mediante un método no probabilístico por conveniencia. Para el estudio se consideraron tres puntos de muestreo: (1) la entrada al sistema de tratamiento, (2) la salida metanogénica y (3) la descarga. La toma de muestras se realizó cada quince días, en el periodo de enero a diciembre en 2019 y 2020. Los muestreos y técnicas de muestreo, se basaron en las especificaciones proporcionadas por la secretaria de Economía, (2009, p.25).

Las muestras de los efluentes fueron transportadas en frascos al Laboratorio de Protección Ambiental de la Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático, del Gobierno del Estado de Tabasco, para determinar parámetros de: pH, sólidos totales y DQO; la temperatura se midió en el sitio de muestreo. Los métodos utilizados para el análisis de los efluentes se describen en el Cuadro 2.1; y fueron utilizados los métodos referenciados para aguas residuales, ya que no existen normas para efluentes (aguas residuales agroindustriales en México).

Cuadro 2.1. Métodos analíticos para el análisis de aguas residuales.

Análisis	Métodos	Referencia – Análisis de Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas
Temperatura (T)	Medición con Termómetro de Mercurio (°C)	Método de Prueba - NMX-AA-007-SCFI-2013 (Secretaría de Economía, 2014, p.1-17). (Cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000).
Potencial de Hidrógeno (pH)	Método electrométrico	Medición del pH - Método de Prueba- NMX-AA-008-SCFI-2016. (Secretaría de Economía, 2016, p.1-15) (Cancela la NMX-AA-008SCFI-2011).
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Oxidación Método de Reflujo Abierto (mg L ⁻¹)	Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - NMX-AA-030/1-SCFI-2012. (Secretaría de Economía, 2013, p.1-12). (Cancela la NMX-AA-030-SCFI-2001).
Sólidos totales (ST)	Método Gravimétrico (mg L ⁻¹)	Medición de Sólidos y Sales Disueltas– Método De Prueba NMX-AA-034-SCFI-2015. (Secretaría de Economía, 2016, p. 1-16). (Cancela la NMX-AA-034-SCFI-2001).

Los resultados se evaluaron considerando los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales de acuerdo a SEMARNAT, (1997, p. 9-10) y SEMARNAT- FAO, (2001, p. 42-43).

La planta extractora de aceite proporcionó los datos de consumo de agua y producción de efluentes, con lo cual se calculó el dato de consumo trabajado, equivalente a la relación de fruto procesado y emisión de efluentes, lo cual se considera un índice de eficiencia de la planta.

2.2.3. Análisis de resultados estadístico

- a) Los parámetros temperatura, pH, sólidos totales y demanda química de oxígeno, medidos durante dos años, se describen mediante estadística descriptiva.
- b) Los valores promedios de los dos años de datos obtenidos en el estudio, se compararon estadísticamente con los promedios obtenidos con los informes de la *Web of Science* (capítulo I de la presente tesis); se utilizó la prueba de t student, con un nivel de significancia de 0.05, utilizando el programa Excel 2016. Los datos recabados durante los dos años se representan en figuras con el promedio mensual en cada punto de muestreo.
- c) Con la información disponible se calculó el rendimiento de las lagunas de tratamiento (Himmelblau 1997, p 69; Vinagre, 2021);

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{(\text{valor de producto final})}{(\text{valor del producto inicial})} \right)$$

El rendimiento > 1, indica incremento de la variable al final del tratamiento; mientras que < 1, indica reducción de la variable (Himmelblau 1997, p 69). Para el caso de estudio, valores menores a 1 indican un buen rendimiento en el tratamiento de los efluentes.

- d) Comparación de los promedios obtenidos con los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales establecidos en las normas oficiales mexicanas y la norma AC-CC-01 internacional, para DQO.

2.3. Resultados

2.3.1. Temperatura (T)

a) El comportamiento promedio de la temperatura \pm desviación estándar, durante 2019 y 2020 se muestra en la Figura 1, y registradas en el orden en que los efluentes fluyen. La entrada al sistema de tratamiento presentó 59.91 ± 0.81 °C, la salida de la laguna metanogénica 32.51 ± 3.1 °C, y la descarga 30.32 ± 2.93 °C. b) El promedio de temperatura a la descarga de los efluentes de la planta extractora, en los dos años evaluados, es menor en 13.78 °C al promedio de los informes recabados en la *Web of Science* (capítulo I), donde $T_{prom} = 73.65 \pm 18.918$ °C, comparando los datos con la *t* student, $\alpha = 0.05$, donde $H_0 = 73.65$ y $H_1 \neq 73.65$, el *p* valor < 0.05 , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, y se aceptan diferencias estadísticas entre ambos efluentes.

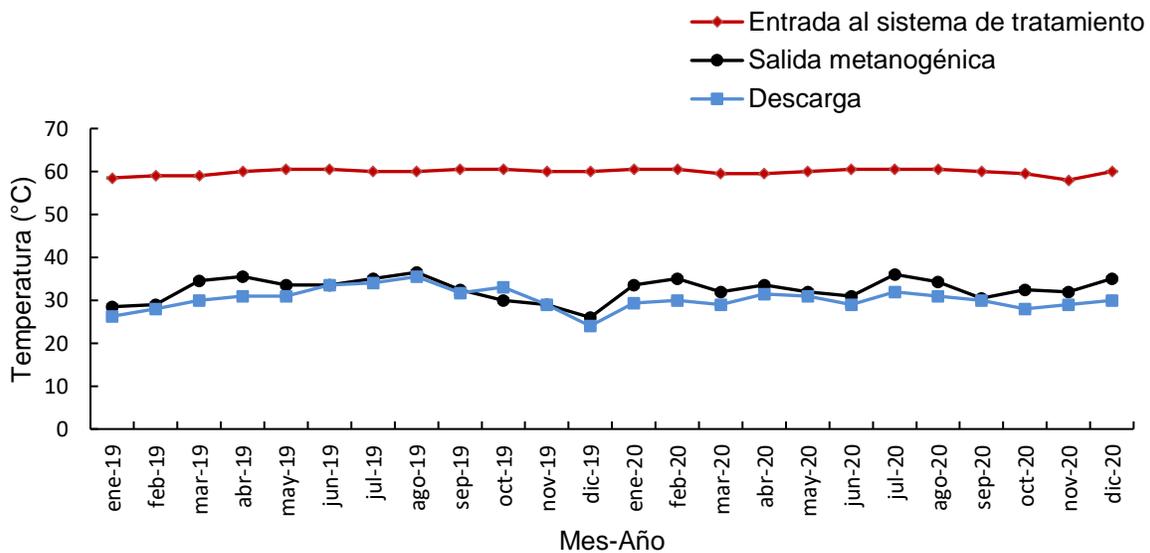


Figura 2.1. Comportamiento de la temperatura de los efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en las lagunas.

c) El rendimiento entre la entrada al sistema y la descarga fue 0.51, el tratamiento en las lagunas reduce a la mitad de la temperatura inicial del efluente. La diferencia entre la primera y segunda laguna permitió la mayor reducción de 27.40 °C (45.74 %), la segunda y tercera laguna disminuyó 2.19 °C (6.73 %). d) La temperatura general promedio reducida desde la entrada al sistema y la descarga fue de 29.59 °C (49.39 %), permitiendo una temperatura de descarga de 30.32 (50.61 %), aceptable con base en SEMARNAT, (1997, p. 9-10) la cual establece el límite máximo permisible de 40 °C, en descargas a ríos, para la protección de vida acuática. El rendimiento de las lagunas fue

menor a uno (<1), la temperatura de descarga alcanzada estuvo debajo del límite máximo permitido (40°C), cerca de la temperatura media anual de la región (26°C).

La temperatura determina propiedades (viscosidad, solubilidad de los gases y sales, etc.) y procesos fisiológicos en el agua (metabolismo, proliferación), permitiendo la solubilidad del oxígeno en el agua; al cumplir el límite máximo permisible de descarga se evita la contaminación térmica, el estrés de la flora y fauna acuática, y la proliferación de especies termo tolerantes (WaterBoards, 2020, p. 1-3).

2.3.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del pH en el sistema lagunar. a) Durante los dos años de estudio, el potencial de hidrógeno a la entrada del sistema obtuvo un promedio de 4.85 ± 0.48 , a la salida de la laguna metanogénica 7.85 ± 0.60 y en la descarga 8.36 ± 0.52 . b) El promedio de pH de los efluentes, en los dos años evaluados, es mayor en 0.17 unidades al promedio de los informes recabados en la *Web of Science* (Capítulo I), donde $\text{pH} = 4.68 \pm 1.22$, aplicando *t* student con $\alpha=0.05$, donde $H_0=4.68$ y $H_1 \neq 4.68$, el p valor < 0.05 , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, y se aceptan diferencias estadísticas.

c) El pH, entre la entrada al sistema a la descarga del efluente, mostró un rendimiento positivo de 1.72, al ser mayor de 1, indica incremento del valor de potencial de hidrógeno. Entre la primera y segunda laguna se observó un aumento de $\text{pH}=3$; en la segunda y tercera laguna continuó un pequeño aumento de 0.5 (hacia el lado básico), el pH promedio de aumento en las tres lagunas fue $\text{pH}=3.51$, permitiendo una descarga de $\text{pH}=8.35$. d) El valor de pH cumple con lo establecido SEMARNAT, (1997, p.8) cuyo dato de referencia de pH es de 5 a 10.

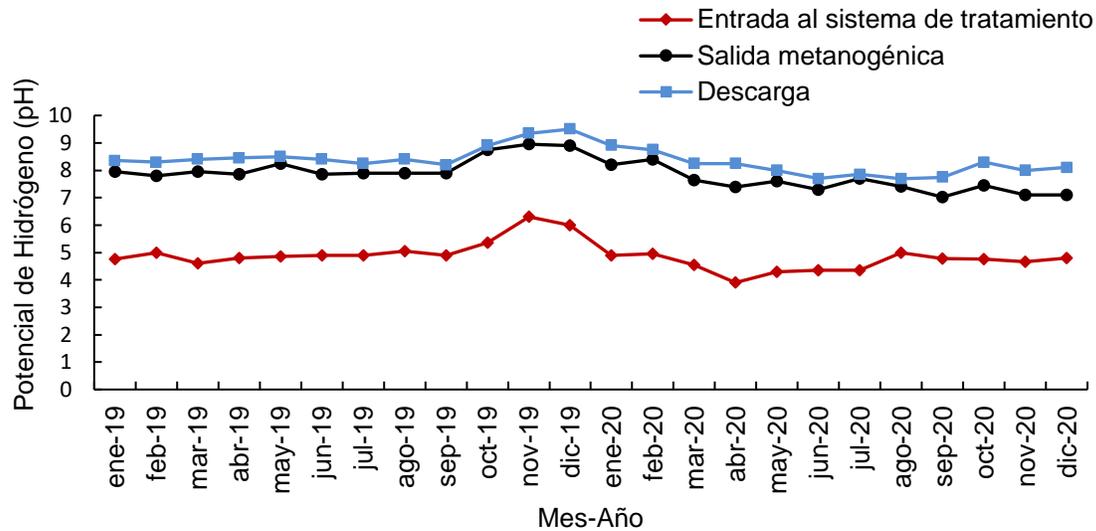


Figura 2.2. Comportamiento del pH de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en tres lagunas.

La elevación del valor de pH, indica una reducción de la presencia de iones de Hidrógeno (Saíenz, 2006). WaterBoards (2020, p. 1-3) menciona que el CO₂ del aire al estar en contacto permanente con la superficie de la laguna suministra oxígeno, el cual se disuelve en el agua que contiene minerales disueltos y forman una capa que genera ácido carbónico (H₂CO₃), transformando el pH ácido a pH básico.

Los rayos del sol aumentan la temperatura del efluente en la laguna abierta a la atmósfera, favoreciendo el crecimiento, reproducción y producción de biomasa, de algas y microorganismos en suspensión, generando variación de pH, y producción de aceite por unidad de área. Las algas son la mejor fuente de oxígeno que al liberarlo es aprovechado por las bacterias en la degradación de materia orgánica, a su vez estos nutrientes y el dióxido de carbono liberado es utilizado por las algas para la fotosíntesis (CONAGUA, 2007, p.7).

Las lagunas expuestas a la radiación solar y presencia de algas, dado el inicio de la fotosíntesis generan oxígeno, aumenta el pH, a la vez que degradan la materia orgánica, formando CO₂, que disminuye el pH y puede generar emisión de H₂S, variando el pH entre la noche y el día. Valores de pH de 9.2 por 24 horas puede eliminar el 100 % de la *Escherichia coli* y gran cantidad de bacterias patógenas (Correa et al., 2012, p. 49).

2.3.3. Los Sólidos Totales (ST)

a) Durante 2019 y 2020 se obtuvo un promedio y desviación estándar en la entrada al sistema de tratamiento de $63212.23 \pm 10811.01 \text{ mg L}^{-1}$, en la salida de la laguna metanogénica $16558.44 \pm 7884.96 \text{ mg L}^{-1}$, y en la descarga $9293.53 \pm 2765.84 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 2.3).

b) El promedio de sólidos totales de los efluentes en la entrada al sistema y en los dos años evaluados, es mayor en $11931.118 \text{ mg L}^{-1}$ al promedio de los informes recabados en la *Web of Science* recopilados (descritos en el capítulo I), con diferencias estadísticas. Aplicando t student con $\alpha = 0.05$, donde $H_0 = 51281.11$ y $H_1 \neq 51281.11$, el p valor < 0.05 , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, y se aceptan diferencias estadísticas.

La cantidad promedio y porcentaje equivalente de sólidos sedimentados en el sistema de lagunas de tratamientos, en los dos años entre: 1) la entrada al sistema de tratamiento de lagunas y la laguna metanogénica fue $ST=46653.79 \text{ mg L}^{-1}$ (73.81 %) 2) la entrada a la laguna metanogénica y la última laguna de tratamiento fue $ST=7264.90 \text{ mg L}^{-1}$ (43.88 %) y 3) la entrada al sistema y la descarga al ambiente hay $53918.69 \text{ mg L}^{-1}$ (85.30 %) de sólidos sedimentados por el sistema lagunar, descargando un total de $ST=9293.535 \text{ mg L}^{-1}$ (14.70 %).

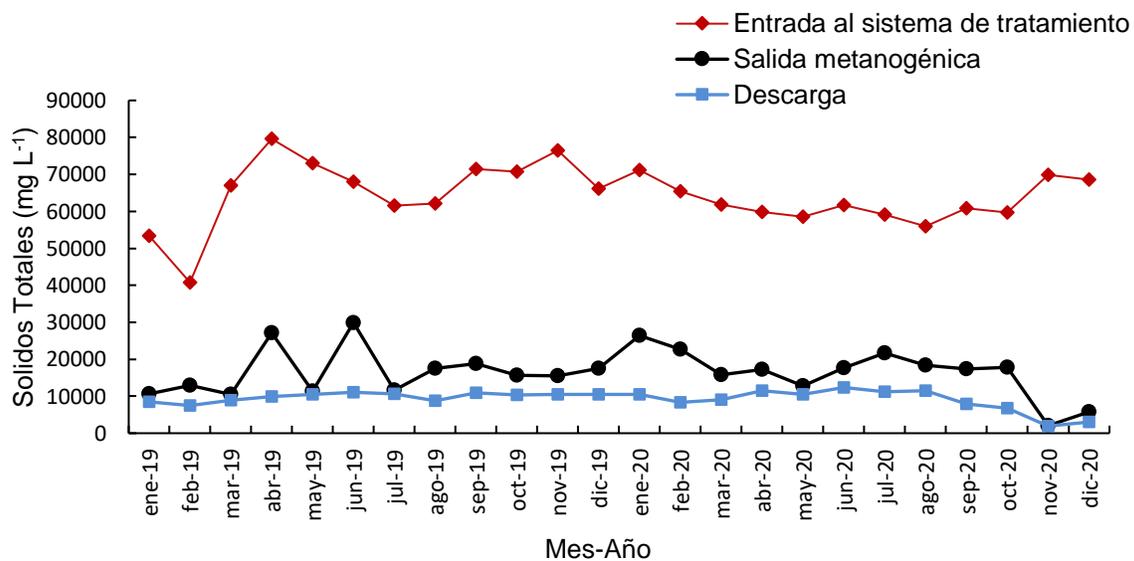


Figura 2.3. Comportamiento de los sólidos totales de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en lagunas.

c) El rendimiento de las lagunas fue del 0.15 mg L^{-1} , indicando una reducción alta en la cantidad de sólidos suspendidos presentes en los efluentes. Y de acuerdo con Himmelblau (1997, p 69) es un buen rendimiento (< 1), en el tratamiento de los efluentes.

d) No se encontraron referencias de normas oficiales mexicanas que establezcan límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales, específicamente para sólidos totales.

La medición de sólidos totales, fue muy efectiva al inicio del tratamiento donde se sedimentaron en su mayoría los sólidos suspendidos responsables de la turbiedad, al sedimentarse por gravimetría Microlab industrial (2016), menciona que la carga de sólidos disueltos, disminuyen el paso de luz solar disminuyendo la actividad fotosintética.

2.3.4. La Demanda Química de Oxígeno (DQO)

a) Durante los dos años la entrada al sistema presentó un promedio de $68681.71 \pm 12829.13 \text{ mg L}^{-1}$, a la salida de la laguna metanogénica mantuvo un promedio de $8777.64 \pm 5837.09 \text{ mg L}^{-1}$ y en la descarga obtuvo $2103.90 \pm 611.31 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 2.4).

b) El promedio de DQO de los efluentes en la entrada al sistema y en los dos años evaluados, es mayor en $14417.769 \text{ mg L}^{-1}$ al promedio de los informes recabados en la *Web of Science* recopilados en el capítulo I. Al aplicar la prueba de *t student* con $\alpha = 0.05$, donde $H_0 = 54263.94$ y $H_1 \neq 54263.94$, el p valor < 0.05 , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, y se aceptan diferencias estadísticas.

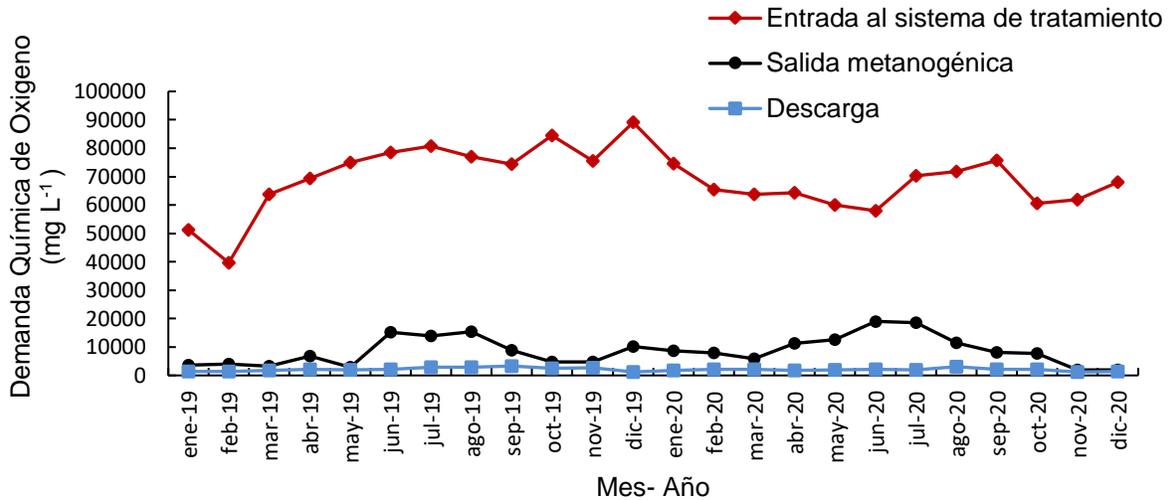


Figura 2.4. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno de efluentes en los años 2019 y 2020, durante el tratamiento en lagunas.

Entre la laguna de entrada y metanogénica, se presentó la mayor reducción de DQO=59904.07 mg L⁻¹ (87.22 %), seguido de la laguna metanogénica entre la descarga final con una reducción de DQO = 6673.74 mg L⁻¹ (76.03 %), reduciéndose en total un promedio de DQO=66577.81 (96.94 %), descargándose una mínima cantidad con respecto a la inicial de DQO=2103.896 mg L⁻¹ (3.06 %).

c) El rendimiento de DQO fue de 0.03 mg L⁻¹, indicando una reducción alta en los efluentes. Himmelblau (1997, p 69) indica que un rendimiento <1, es un buen rendimiento en el tratamiento de los efluentes.

d) SEMARNAT, (1997, P.10) establece el límite máximo permisible para contaminantes básicos, en ríos y aguas para uso en riego agrícola, el limite promedio mensual para la DQO de 150 mg L⁻¹ y límite promedio diario de 200 mg L⁻¹. SEMARNAT- FAO, (2001, p.12) establece que el valor de DQO siempre será mayor o igual al obtenido en los ensayos de DBO, la norma maneja un listado de industrias para normar las descargas en aguas superficiales y el subsuelo, para industrias procesadoras de aceite vegetal establece el límite máximo de vertido para efluentes líquidos de 50 mg L⁻¹, ya sea directa o indirectamente, en los cuerpos hídricos receptores de aguas superficiales, considerando el límite establecido en esta norma, la cantidad de descarga en la planta extractora de estudio tiene un sobrante de DQO 1853.90 mg L⁻¹.

La demanda química de oxígeno, mide la cantidad de materia orgánica que es degradada por medios químicos, el aumento en la concentración limita el crecimiento de flora (SERNAPAM, 2015, p.2). Este parámetro indica el agotamiento de oxígeno de la vida acuática, por eso es uno de los principales contaminantes (Tabassum *et al.*, 2015). La demanda química de oxígeno se considera como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno (dependiendo si la oxidación se lleva a cabo completamente). Los compuestos orgánicos se oxidan entre 90 a 100 %. El valor de DQO en descargas con sustancias difíciles de oxidar, es una medida pobre de la demanda de oxígeno teórica de acuerdo con la secretaria de Economía (2013, p.1).

2.3.5. Consumo en la extracción de aceite

El consumo trabajado durante los dos años fue de $4233.53 \pm 2219.24 \text{ m}^3$ y la fruta procesada de $8069.90 \pm 4752.38 \text{ t}$ (Figura 5).

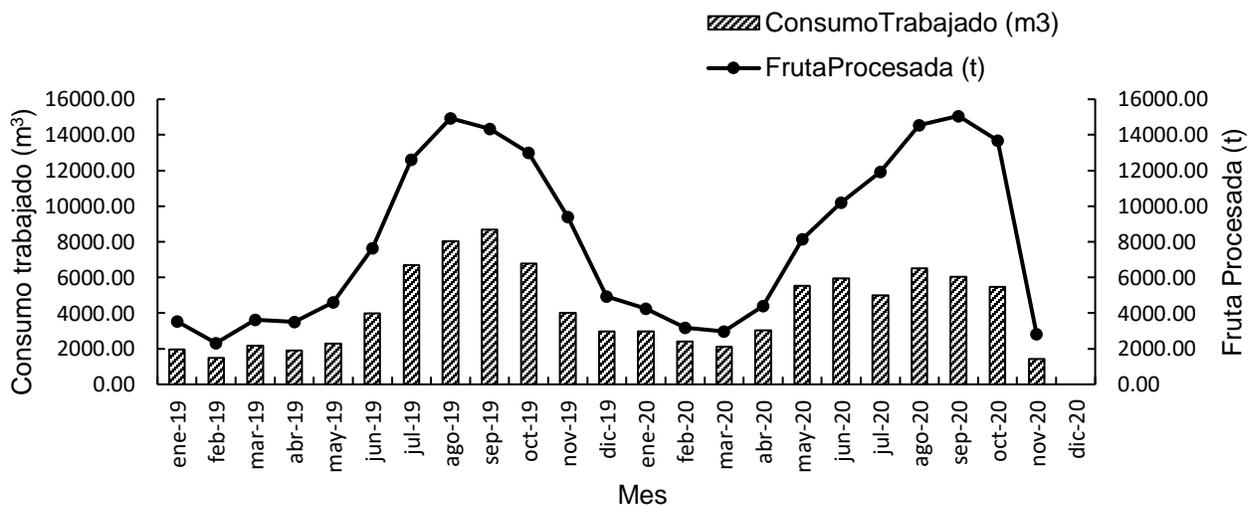


Figura 2.5. Comportamiento del consumo trabajado y fruta procesada en el 2019 y 2020, en la planta extractora.

En la gráfica se observa que, en los meses de enero a abril, se presentó una baja en la fruta procesada, con un promedio de 3244.30 t y 3703.47 t, en cada año. La fruta procesada incrementó para finales de cada año entre mayo-diciembre obteniendo un promedio de 10180.44 t y 10910.45 t en 2019 y 2020. Los meses de mayor fruta procesada fueron agosto 2019 con 14949.16 t y septiembre 2020 con 15064.61 t. El

consumo trabajado mínimo de la planta por cada año fue en los meses de febrero 2019 con 1481.30 m³ y noviembre 2020 con 1438.60 m³.

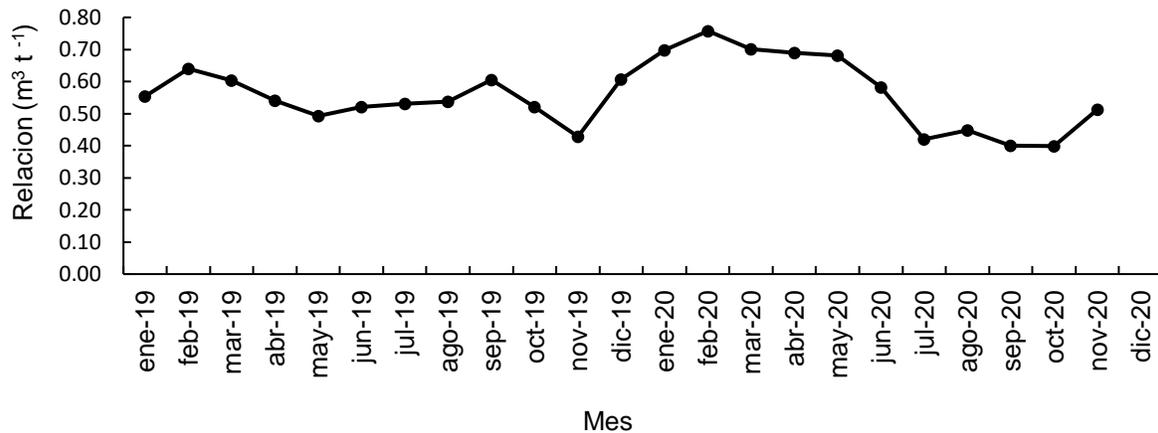


Figura 2.6. Relación entre consumo trabajado y fruta procesada en la planta extractora, en los años 2019 y 2020.

La relación entre el consumo trabajado (m³) y fruta procesada (t), fue mayor en el mes de febrero del 2019 y 2020 con 0.64 y 0.76 m³ t⁻¹, respectivamente, y la mínima en los meses de noviembre 2019 con 0.43 m³ t⁻¹, septiembre y octubre ambas con 0.40 m³ t⁻¹. De 23 datos el promedio general de consumo trabajado es de 0.56 ± 0.10, con un rango 0.36, el valor mínimo fue 0.40 y el máximo 0.76. El punto óptimo se registró en el mes de septiembre 2020 con un consumo trabajado de 6027.30 t y mayor fruta procesada de 15064.61 m³, contrario a enero 2020 con un consumo trabajado de 2420.10 t y fruta procesada de 3194.12 m³. De acuerdo con Yokoyama y Fernández (2016, p.41), las plantas extractoras sin reproceso consume 0.6 m³ de agua por toneladas de racimo de fruto fresco y con reproceso se reduce a 0.49 m³ de agua por tonelada de racimo de fruta fresca (Shak and Wu, 2015) establecen que durante el proceso de extracción se ocupa entre 5 y 7.5 toneladas de agua por tonelada de Aceite Crudo de Palma (ACP), y aproximadamente el 50 %, es convertida en aguas residuales (efluente); con lo cual la planta estudiada con una relación promedio de 0.56, debe mejorar en este índice a fin de que sea más uniforme el proceso y si es posible menor al 50 % reportado en la literatura.

La industria ha prosperado, en cuanto al monitoreo ambiental y gestión de residuos al tratar el efluente con las regulaciones estándar y la buena gestión de residuos. El desarrollo de sistemas de tratamiento terciario o pulido para manejo de efluentes, a pesar de costos de mantenimiento alto (Liew *et al.*, 2015) con la finalidad de obtener cero descarga y recuperación de recursos, en la búsqueda de mayor productividad y de la sustentabilidad (Manickam *et al.*, 2014).

2.4. Conclusiones

Con el fin de contribuir al posicionamiento de la agroindustria de palma de aceite como actividad sustentable, es necesario establecer límites máximos permisibles en las Normas Oficiales Mexicanas para efluentes de estas plantas. En la actualidad no se definen los límites máximos permisibles para sólidos totales y demanda química de oxígeno en el sector industrial en general. Los resultados obtenidos indican que la temperatura y pH cumplen con las normas oficiales mexicanas para aguas residuales; mientras que para sólidos totales y demanda química de oxígeno no existe norma oficial mexicana para calificar el valor en los efluentes. En cuanto a la recuperación calculada en temperatura, pH, sólidos totales y la demanda química de oxígeno en todos los casos se obtuvo un buen rendimiento en el tratamiento de los efluentes. Finalmente, el consumo trabajado es un indicador de eficiencia de la planta; y debe procurarse uniformizar el proceso para reducir el rango de consumo trabajado.

2.5. Literatura citada

Akhbari, A., Kutty, P.K., Chuen, O.C., and Ibrahim, S., (2020). A study of palm oil mill processing and environmental assessment of palm oil mill effluent treatment. *Environmental Engineering Research*, 25 (2), pp. 212–221. Doi: 10.4491/eer.2018.452.

- Bashir, M. J. K., Lim, J. H., Abu Amr, S. S., Wong, L. P. and Sim, Y. L. (2019). Post treatment of palm oil mill effluent using electro-coagulation-peroxidation (ECP) technique. *Journal of Cleaner Production*, 208, pp. 716-727. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.073.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales*. p.1-229. ISBN: 978-968-817-880-5. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DiseñoDeLagunasDeEstabilización.pdf>. Consultado: 25 junio 2021.
- Correa R., G. Cuervo, F., Mejía, R., R y Aguirre, N. (2012). Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. *Producción + limpia*. 7(2), p.36-51.
- Farid, M. A. A., Roslan, A. M., Hassan, M. A., Ujang, F. A., Mohamad, Z., Hasan, M. Y. and Yoshihito, S. (2019). Convective sludge drying by rotary drum dryer using waste steam for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Cleaner Production*, 240. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117986.
- FEMEXPALMA (Federación Mexicana de Palma de Aceite). (2020). *México Palmero en cifras: Anuario Estadístico, 2020*. p. 19-71. Disponible en: http://femexpalma.com.mx/femexpalma.ftp/anuario_estadistico_2020.pdf. Consultado: 20 de junio 2021.
- Google Earth Pro. (2019). *Versión 7.3.3 de Google Earth*. Procesador OpenGL. Microsoft Windows . Intel. 2021 INEGI. Disponible en: https://google-earth.gosur.com/?gclid=EAlalQobChMlnpOCv9_48QIVsnxvBB34DgiTEAAYASAAEgl3MPD_BwE&ll=17.741500036963956,92.78105033307833&z=14.460131630998939&t=satellite. Consultado: 30 de mayo 2021.
- Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T. and Fujie, K. (2015). Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries. *Water Science and Technology*, 72, 1089-1095. Doi: 10.2166/wst.2015.311.
- Hashiguchi, Y., Zakaria, M. R., Maeda, T., Yusoff, M. Z. M., Hassan, M. A. and Shirai, Y. (2020). Toxicity identification and evaluation of palm oil mill effluent and its effects on the planktonic crustacean *Daphnia magna*. *Science of the Total Environment*, 710. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136277.

- Himmelblau, David M. (1997). Principios Básico y Cálculos en Ingeniería Química. 6ta edn. *Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.* University of Texas. Sec.1.7, pp. 69 -73. ISBN: 968-880-802-4. Disponible en: <https://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2015/06/Principios-B%C3%A1sicos-y-C%C3%A1lculos-en-Ingenier%C3%ADa-Qu%C3%ADmica-6%C2%BA-edici%C3%B3n-David-M.-Himmelblau-Prentice-Hall.pdf>. Consultado: 01 junio 2021.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México). 2017. *Anuario estadístico y geográfico de Tabasco (2017)*. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095123.pdf. Consultado: 14 junio 2021.
- Khemkhao, M., Techkarnjanaruk, S. and Phalakornkule, C. (2015). Simultaneous treatment of raw palm oil mill effluent and biodegradation of palm fiber in a high-rate CSTR. *Bioresource Technology*, 177, 17-27. Doi: 10.1016/j.biortech.2014.11.052
- Liew, W. L., Kassim, M. A., Muda, K., Loh, S. K. and Affam, A. C. (2015). Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 149, 222-235. Doi: 10.1016/j.jenvman.2014.10.016.
- Manickam, S., Abidin, N. B. Z., Parthasarathy, S., Alzorqi, I., Ng, E. H., Tiong, T. J., Gomes, R. L. and All, A. (2014). Role of H₂O₂ in the fluctuating patterns of COD (Chemical Oxygen Demand) during the treatment of palm oil mill effluent (POME) using pilot scale triple frequency ultrasound cavitation reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 1519-1526. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.01.002.
- Microlab industrial. (2016). *Los sólidos en el agua; maneje sus sólidos y mejore su efluente*. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/los-solidos-en-el-agua-maneje-sus-solidos-y-mejore-su-efluente>. (Consultado: 10 junio 2021).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). Grupo Intergubernamental Sobre Semillas Oleaginosas, Aceites y Grasas. Comité de Problemas de Productos Básicos. CCP:OOF21/CRS 1. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/pt/item/1324021/icode/>. (Consultado: 19 junio 2021)
- Portal Tabasco, (2021). *Jalapa*. Disponible en: <https://tabasco.gob.mx/jalapa>. (Consultado: 18 junio 2021)

Saíenz, M. B., (2006). Alteraciones de equilibrio Ácido Básico. Revista Cubana de Cirugía. ISSN 1561-2945. 45,1, 1-23 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74932006000100011.

Consultado en: 26 julio 2021.

Secretaria de Economía. (2009). *Norma Mexicana NMX-AA-003/1-SCFI-2008*. Aguas residuales – muestreo (todas las partes cancelan al Proyecto NMX-AA-003SCFI-2006). p.25. Disponible en: NMX: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-003-1-scfi008.pdf>

DOF: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5113928&fecha=09/10/2009.

(Consultado: 18 junio 2021)

Secretaria de Economía. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013*. Análisis De Agua – Medición de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba - (Cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000), p.1-17. Diario Oficial de la Federación, 23 de enero de 2014. p:98. 1ra sección. Disponible en: NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166766/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf>

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330532&fecha=23/01/2014

(Consultado 05 de junio del 2021).

Secretaria de Economía. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012*. Análisis de Agua - Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - (Cancela a la NMX-AA-030/1-SCFI-2001), p.1-12. Diario Oficial de la Federación. 21 de mayo de 2013. p.:47. 1ra. Sección.

NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf> DOF:

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299575&fecha=21/05/2013

(Consultado 08 de junio del 2021).

Secretaria de Economía. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016*. Análisis De Agua. - Medición del pH en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. - Método de Prueba- (Cancela a la NMX-AA-008SCFI-2011), p.1-15. Diario Oficial de la Federación. 09 de septiembre de 2016. p: 97. 1ra sección.

NMX:<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>

DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5452147&fecha=09/09/2016
(Consultado 05 de junio del 2021).

Secretaria de Economía. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis De Agua - Medición De Sólidos Y Sales Disueltas En Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas – Método De Prueba (CANCELA A LA NMX-AA-034-SCFI-2001)*. p.1-16. 1ra. Sección.

NMX:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5433394&fecha=18/04/2016
DOF:https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5433394

SEMARNAT- FAO (Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Food And Agriculture Organization). (2001). *Norma AG-CC-01 sobre Calidad del agua y control de descargas. Republica Dominicana*. Editora Buho. p.3-52. Disponible en: <https://www.informea.org/es/node/214244>. (Consultado 17 junio del 2021).

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (1997). *Norma Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996*. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017. Establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación (cancela la NOM-001-SEMARNAT-1996). Disponible en: NMX :

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat_1996.pdf

DOF: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997
(Consultado 10 de junio del 2021).

SERNAPAM (Secretaria de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental). (2015). *Monitoreo de la Calidad del Agua Red de Lagunas Urbanas*. Disponible en: https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/sbstabasco/2015_03_06_POLVORA.pdf. (Consultado 02 junio del 2021).

Shak, K. P. Y. and Wu, T. Y. (2015). Optimized use of alum together with unmodified *Cassia obtusifolia* seed gum as a coagulant aid in treatment of palm oil mill effluent under natural

- pH of wastewater. *Industrial Crops and Products*, 76, 1169-1178. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.072
- Tabassum, S., Zhang, Y. J. and Zhang, Z. J. (2015). An integrated method for palm oil mill effluent (POME) treatment for achieving zero liquid discharge - A pilot study. *Journal of Cleaner Production*, 95, 148-155. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.056
- TAHA, M. R. and IBRAHIM, A. H. (2014). COD removal from anaerobically treated palm oil mill effluent (AT-POME) via aerated heterogeneous Fenton process: Optimization study. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 8-16. Doi: 10.1016/j.jwpe.2014.02.002.
- Torres, J., A del C. Calidad de efluentes de una planta extractora de aceite de palma, en Jalapa Tabasco (Tesis Maestría en Ciencias). H. Cárdenas, Tabasco. Programa de Producción Agroalimentaria. Campus Tabasco - Colegio de Postgraduados. 2021.
- Vinagre., J, (2021). *Calidad de métodos analíticos*. Capítulo:13. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ah833s/AH833S15.htm>. (Consultado 17 junio del 2021).
- WaterBoards (2020). *pH, Folleto Informativo 3.1.4.0*. California. Disponible en: <https://www.waterboards.ca.gov/serp.html?q=ph+&cx=001779225245372747843%3Attksqsdjfn4&cof=FORID%3A10&ie=UTF-8&nojs=1>. (Consultado 29 junio del 2021).
- WaterBoards (2020). *Temperatura, Folleto informativo 3.1.2.0*. Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf (Consultado 15 julio del 2021).
- Yokoyama, R., y Fernández, C. A. (2016). Experiencia en el procesamiento de racimos de fruta fresca de palma de aceite híbrida. Denpasa Brasil. *Palmas*, 37 (2), pp. 39-46. ISSN 0121- 2923

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. CONCLUSIÓN

Tener una referencia sobre caracterizaciones de efluentes respecto a su composición física, química y bioquímica, permite un manejo eficiente del mismo, para futuras tomas de decisiones en el tratamiento adecuado, permitiendo identificar puntos de mejora en el proceso, teniendo en consideración las variedades, tipos de efluentes, diferencias en

cada zona, y lo complejo del análisis al ser líquidos espesos. La información puede ser útil para establecer normas oficiales mexicanas específicas para efluentes de palma de aceite *Elaeis guineensis*.

El resultado del tratamiento en lagunas demostró buen rendimiento al disminuir las cantidades iniciales de los parámetros analizados. Se retuvo la mayor cantidad en la primera laguna. La descarga de T y pH cumple con la norma mexicana, ST no tuvo referencia y DQO no alcanza el límite establecido por la norma AC-CC-01 internacional. Lo que deja ver que en México es conveniente establecer límites máximos permisibles específicos para efluentes, o en su caso límites de descarga para ST y DQO, con la finalidad de trabajar en armonía con la naturaleza. Se demuestra que la producción de racimos de fruta de palma de la región incrementa en mayo, siendo en invierno la etapa con menor cosecha de racimos de fruta fresca y producción de aceite crudo. La relación consumo de trabajo por tonelada de frutas procesadas permitió visualizar que la planta tiene alta capacidad de producción, se observó que en septiembre de 2020 para procesar la mayor cantidad de frutos se utilizó menor volumen, con una relación menor a las reportadas por plantas extractoras con reproceso, lo que resulta interesante al demostrarse que la planta es capaz de lograr esta capacidad de producción, lo que lleva a reducir el consumo trabajado y generar menor volumen de residuos líquidos.

2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar el sistema de tratamiento de efluentes en lagunas artificiales considerando más variables que integren datos del ambiente (precipitación, temperatura, evaporación en las lagunas, etcétera), y costos, entre otros; con los cuales calcular la eficiencia de las lagunas.
- Evaluar un tratamiento terciario o de pulido para DQO, para evitar contaminar los recursos naturales, con sobrecargas de compuestos orgánicos biodegradables y no biodegradables.
- En la planta se sugiere identificar los puntos de mejora para aprovechar al máximo la capacidad de producción, reducción de consumo trabajado, uniformidad en la relación y que cumpla con las referencias internacionales o normativas.

- Las normas actuales son genéricas para evaluar aguas residuales, por lo que se recomienda trabajar en una norma oficial mexicana para la evaluación de los efluentes que las plantas extractoras de aceite deben cumplir.