

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL PROCESO DE
EXTRACCIÓN DE ACEITE EN LA
INDUSTRIA PAPSA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

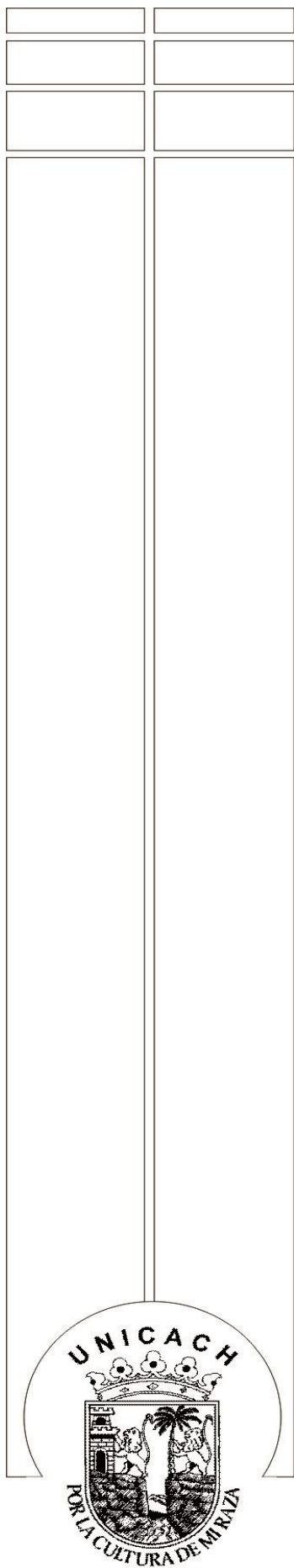
INGENIERA EN AGROALIMENTOS

PRESENTA

BRENDA PEREZ RAMIREZ

DIRECTOR

M. C. EMANUEL RIVAS ROBLES



Villa de Acapetahua, Chiapas

Octubre 2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de realizar este logro y por cuidar de mis pasos.

A mis padres Moises Perez Flores y Alejandra Ramírez Olivera quienes sin condición alguna permanecen a mi lado, apoyando cada una de mis decisiones.

A mis hermanos Adi Lourdes Perez Ramirez, Reyna Perez Ramirez, Moises Perez Ramirez, Julio Cesar Perez Ramirez y Jose Alberto Perez Ramirez por su cariño, apoyo y ejemplo.

A toda mi familia y sobre todo a mis amigos por estar a mi lado.

Al M. en C. Emanuel Rivas Robles quien dedicó tiempo y esfuerzo al proyecto, brindándome su asesoría y apoyo para que esto fuera posible.

A la industria Aceitera PAPSA por su colaboración y apoyo en el proyecto.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, La Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, y especialmente a los profesores por su confianza, apoyo, dedicación y por compartir conmigo sus conocimientos.

Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTIECH) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo y proceso de Titulación.

A mi mentor por su gran apoyo, experiencia y valiosa participación durante la realización de este trabajo.

Brenda Perez Ramirez



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Villa de Acapetahua, Chiapas
Fecha: 23 de Septiembre 2019

C. Brenda Pérez Ramírez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Agroalimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Caracterización de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite en la industria

PAPSA

En la modalidad de: Tesis profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Q.F.B. Leticia Victorio De los Santos

M.C. Paola Shaully Juan Villarreal

M.C. Emanuel Rivas Robles

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Ccp. Expediente

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
MARCO TEÓRICO.....	6
Antecedentes.....	6
Impacto ambiental por residuos generados en procesos agroindustriales.....	8
Descripción de la palma africana <i>Elaeis guineensis</i>	11
Tamaño.....	12
Sistema radicular.....	12
Tallo.....	12
Hojas.....	13
Inflorescencias.....	13
Racimo.....	14
Fruto.....	14
Proceso de extracción de aceite crudo de palma africana.....	15
Recepción del fruto.....	15
Esterilización.....	15
Desfrutado.....	16
Digestión.....	16
Prensado.....	16
Clarificación.....	16
Sistema de decantador-secador.....	17
Almacenamiento.....	17
Generación de vapor.....	18
Generación de energía.....	18
Mantenimiento.....	18
Control de calidad.....	18

Identificación de los efluentes por etapa del proceso	19
Residuos líquidos emitidos en el proceso de extracción de aceite de palma africana	20
Características físicas de las aguas residuales de una extractora de aceite de palma africana	21
Sólidos disueltos	21
Sólidos en suspensión.....	21
Olores.....	21
Color	22
Turbidez.....	22
Temperatura.....	22
Conductividad eléctrica (CE).....	22
Dureza total.....	23
Características químicas de las aguas residuales de una extractora de aceite de palma africana.....	23
Materia orgánica	23
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	23
Demanda química de oxígeno (DQO).....	24
Grasas y aceites.....	24
Materia inorgánica	24
Sulfuros de hidrógeno (H ₂ S).....	24
Metano (CH ₄).....	25
Manejo de efluentes de una planta extractora de aceite de palma africana.....	25
HIPÓTESIS	27
METODOLOGÍA.....	28
Diseño de la investigación.....	28
Población.....	28
Muestra	29
Muestreo	29
Variables	30
Instrumentos de medición	30
Descripción de las técnicas utilizadas.....	31

Determinación de temperatura	31
Determinación de pH.....	31
Determinación de sólidos sedimentables.....	31
Determinación de sólidos	32
Determinación de grasas y aceites método Soxhlet	35
Determinación de materia flotante	36
Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	36
Descripción de análisis estadístico	39
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES	45
GLOSARIO	46
REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantación de palma africana.	12
Figura 2. Racimo de palma africana.	14
Figura 3. Fruto de palma africana.	15
Figura 4. Área de estudio, industria aceitera.	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas y actividades de apoyo del proceso de extracción del aceite rojo.....	19
Tabla 2. Efluentes en el proceso de extracción de aceite rojo y su destino final.....	20
Tabla 3. Toma de muestra de las descargas de aguas residuales.	29
Tabla 4. Límites máximos permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.	39
Tabla 5. Análisis físico-químicos del decantador.	40
Tabla 6. Análisis físico-químicos de la laguna de oxidación.	41
Tabla 7. Comparación de las características físico-químicas evaluadas.....	42

INTRODUCCIÓN

La empresa Procesadora de Aceite del Palma S.A. de C.V. (PAPSA) del municipio de Villa Comaltitlán, Chiapas se dedica a la extracción de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*), este estudio se ha enfocado a la evaluación del agua residual obtenida del proceso de extracción de aceite, las grandes cantidades de la misma son desechadas al termino del proceso en lagunas de oxidación, al día se generan 24 mil litros aproximadamente, cabe mencionar que en temporadas de mayor producción aumenta, sin embargo, esto ha ocasionado desestabilidad en el medio ambiente por la carga orgánica, desechos sólidos, grasas, lodos y malos olores producidos.

El proceso de extracción de aceite de palma africana cuenta con una serie de etapas que abarcan desde la recepción del fruto, esterilización, desfrutado, digestión, prensado, clarificación y almacenamiento, generando grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, estos residuos no cuentan con un adecuado tratamiento para poder ser liberarlos, provocando serios daños al ambiente. Muchas actividades industriales han llevado a la implementación de normas de calidad, las cuales incluyen características como: temperatura, potencial de Hidrógeno (pH), sólidos sedimentables, sólidos, grasas y aceites, materia flotante y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); cumplir con los lineamientos que rigen dichas normas es difícil es por ello que se emplean técnicas que mejoren la calidad del agua.

Cortes *et al.*, (2006) documentó que después del proceso de extracción de aceite de palma se generan como residuos, aproximadamente, 20 kg de lodo seco de lechos de secado, 220 kg de racimos vacíos y de 0.8 – 1.0 m³ de efluente líquido (bioabono) por cada tonelada de racimos de frutos fresco (RFF) procesado. Estos efluentes tienen altos valores en DBO (20 a 40.000 ppm) y sólidos suspendidos (20 a 30.00 ppm). Además, son ácidos (pH de 4.0 a 4.5) y aceitosos (\pm 5.000 ppm).

El presente estudio está regido bajo el paradigma de investigación cuantitativa porque se recolectaron datos numéricos para probar la hipótesis planteada, con base a la medición numérica. El tipo de investigación es descriptiva porque comprende la presentación, el registro, la interpretación de la naturaleza actual y la comprensión de procesos de los fenómenos.

Durante los análisis físico-químicos realizados a las aguas residuales se obtuvieron los siguientes resultados en el decantador: temperaturas con valores de 71.75°C, pH ácidos con valores de 4.67 unidades, demanda bioquímica de oxígeno de 9,888.56 mg/L, grasas y aceites con niveles de 15,906.2 mg/L; en la laguna de oxidación se encontraron los siguientes resultados: temperaturas con valores de 44°C, pH con 3.88 unidades, demanda bioquímica de oxígeno de 7,586.2 mg/L, grasas y aceites con 14,118.8 mg/L, las características físico-químicas del agua residual liberadas en el decantador y laguna de oxidación del proceso de extracción de aceite de palma africana es deficiente.

Los resultados rebasan los límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-1996 por lo cual, se consideran inadecuadas para ser liberadas al ambiente porque ocasionan un efecto negativo al momento de ser liberadas, de acuerdo con la hipótesis planteada sobrepasan los límites, provocando serios daños al ambiente. Los parámetros evaluados permiten identificar que las condiciones en las que se liberan los efluentes no son las correctas, por consiguiente, al ser arrojados al ambiente daña los recursos suelo, aire y agua. La relación que existe entre los residuos y el medio ambiente es inevitable, por tanto, es de vital importancia conocer las características físico-químicas de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de aceite de palma.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad actual de las industrias de adaptar tecnologías que permitan la protección, conservación y recuperación del agua, las ha llevado a la implementación de tratamientos de agua residual los cuales deben satisfacer aspectos tales como ser adecuados para el propósito, tener una alta efectividad, bajos costos y adicionalmente producir ventajas ambientales. Por esta razón el problema de las aguas residuales en la Industria Aceitera PAPSA se deben atender a la brevedad, dadas las condiciones que anteceden es necesario identificar las características que impiden que dichas aguas sean liberadas, contrarrestar el efecto negativo que está causando al medio ambiente, de igual forma reducir los gastos de multas y sanciones que instituciones otorgan por tal causa.

La industria aceitera PAPSA cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales el cual no está terminado, por esa razón las descargas no pueden ser liberadas al ambiente en las condiciones en las que se encuentran. Se considera para este caso la caracterización de las aguas residuales donde se tomarán parámetros físicos como: temperatura, pH, sólidos sedimentables, sólidos, materia flotante; así también parámetros químicos como: grasas y aceites, DBO₅, con la finalidad de conocer la calidad del agua y así determinar posibles soluciones para la liberación de las descargas de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Como Ingeniera en Agroalimentos es vital contribuir a la transformación y conservación de alimentos de la misma manera en la operación de plantas y empresas agroalimentarias es muy importante promover iniciativas para resolver problemáticas socioeconómicas y ambientales que ocasiona el procesamiento e industrialización de las materias primas producidas en la región, tal es el caso de la palma africana ocasionando grandes residuos y descargas de aguas residuales industriales, en consecuencia se busca trabajar en conjunto para fomentar el desarrollo regional bajo un paradigma de sustentabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad industrial es una de las más importantes genera diversos beneficios mediante procesos en los cuales los residuos son bastantes significativos, en efecto la diversidad de contaminantes y otros desechos peligrosos que se producen en las industrias los residuos que se generan en las fábricas se vierten al suelo sin ningún tipo de tratamiento, no obstante la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye la protección del medio ambiente, esto significa un cambio de enfoque en el manejo de los temas ambientales, sobre todo para el sector industrial, desde la simple disposición de los residuos hasta la producción más limpia.

Las extractoras de aceite de palma africana son industrias agroalimentarias, el 90% de la producción se utiliza con fines alimenticios y el restante en aplicaciones industriales por consiguiente generan grandes cantidades de residuos, específicamente en la industria aceitera PAPSA, el sistema de extracción contempla los procesos de recepción del fruto, esterilización, desfrutado, digestión, prensado y clarificación donde se utiliza un decantador para separar aceite, agua y sólidos, finalmente se almacena el aceite crudo de palma africana, como resultado del proceso se generan residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso, el problema se encuentra en las descargas finales de los residuos líquidos con altas temperaturas en un promedio de 70°C, la fase de separación no es suficiente para que las descargas estén dentro de los parámetros permitidos, los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 son temperatura, DBO₅, grasas y aceites.

El decantador pueden reducir el volumen de efluente del proceso de clarificación del aceite, desafortunadamente, este sistema no es capaz de eliminar totalmente la descarga de efluentes de la planta extractora de aceite de palma, por lo tanto las descargas de aguas residuales son almacenadas en cuatro lagunas de oxidación con geomembrana, sin aplicarles ningún tratamiento, las cantidades de agua generadas durante el día son de 24 mil litros de agua residual aproximadamente, en consecuencia las lagunas no abastecen la producción de residuos por lo cual estos son extraídos y posteriormente liberados al medio ambiente generando alto riesgo de contaminación para el suelo y salud humana contaminando así los recursos hídricos disponibles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el volumen de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de aceite de palma africana en la industria aceitera PAPSA del municipio de Villa Comaltitlán, Chiapas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analizar las características físico-químicas del agua residual liberadas en el decantador del proceso de extracción de aceite de palma africana.
- b) Determinar las características físico-químicas del agua residual en la laguna de oxidación del proceso de extracción de aceite de palma africana.
- c) Comparar los parámetros de aguas residuales generadas en el decantador y laguna de oxidación con los parámetros establecidos con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

Pérez (2015) menciona que en el análisis fisicoquímico realizado al agua residual de una laguna de oxidación obtuvo los siguientes resultados: temperaturas con valores de 55-70°C, pH ácidos con valores de 4-5 unidades, demanda bioquímica de oxígeno de 31,875 mg/L, grasas y aceites con niveles de 899,895.19 mg/L, que rebasan los límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT- 1996. Estas características presentes en el agua residual, alteran propiedades del suelo donde son liberadas, tales como densidad aparente obteniendo valores de 0.87-1.31 g/cm³, pH ácidos de 4-5 unidades y materia orgánica con valores de 12-97%. La industria aceitera chiapaneca en su proceso de extracción de aceite de palma africana es generadora de cantidades considerables de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, los cuales no tienen una disposición adecuada, por tal motivo provoca serios daños en el medio ambiente.

Malacatus *et al.*, (2017) evaluaron cinco extractoras de aceite de palma ubicadas en las provincias de Pichincha, Santo Domingo y Esmeraldas, con el propósito de establecer un valor promedio de generación de efluentes con relación a la cantidad de fruta fresca procesada en cada extractora, mismos que fueron tratados en sistemas de lagunas. Realizaron la medición de caudales por el método de aforo volumétrico y los datos los analizaron estadísticamente. Según los datos que obtuvieron mediante mediciones en campo en tres extractoras y análisis de información proporcionada por los dos restantes, observaron que la generación de efluentes varía en función de la capacidad de procesamiento y características de cada planta extractora. Por lo cual concluyeron que el valor promedio de agua residual generada por tonelada (t) de Racimo de Fruta Fresca (RFF) es de 0.84 m³/tRFF.

Truong y Thai (2015) documentaron las aguas residuales de un molino de palma de aceite en dos diferentes concentraciones del efluente (alta: sin diluir, baja: diluido 1 parte en 9 partes de agua) fueron tratadas con Vetiver por 2 semanas. Los resultados mostraron que el Vetiver fue capaz de reducir la DBO hasta en 90% en bajas concentraciones y el 60% en la alta concentración, mientras que el control (sin plantas) fue capaz de reducir solamente el 15% de la DBO. La reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue del 94% en baja concentración y 39% en alta concentración, con solamente un 12% de reducción en el control.

Narváez (2015) estudió un tratamiento avanzado de agua residual para remover estrictamente los contaminantes restantes del agua tratada por el sistema de lagunaje como son DQO residual, sólidos y $N-NH^{4+}$, con el objetivo de reciclar el agua hacia los procesos de extracción de aceite crudo de palma. La caracterización del agua indica que la concentración de DQO presente en el efluente de la Plan de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) está alrededor de 509 mg/L y la concentración de amonio está en 67 mg/L. En los resultados observó que los condensados de proceso tiene 7.02 mg/L de dureza total y 31.7 mg/L de hierro, en la purga continua de calderas presenta 0.48 mg/L dureza total y 0.26 mg/L de hierro respectivamente. El sistema de tratamiento de agua consiste en un filtro lento de arena con un tanque de aireación para la eliminación de amonio y materia orgánica en términos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El amonio y la carga orgánica se eliminan por acción microbiológica en el filtro de arena y el tanque aireado. Mediante este sistema de tratamiento del agua se obtiene una remoción de 61% de la DQO y 100% para el amonio.

Gómez (1999) evaluó el sistema de tratamientos de desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma africana, ubicada en Taquiste, Escuintla. El sistema de tratamiento es biológico y está formado por dos lagunas anaerobias paralelas y tres lagunas facultativas en serie. Se formaron muestras periódicas en verano e invierno de desechos líquidos en tres puntos del sistema de tratamiento, entrada al sistema; el paso de lagunas anaerobias a facultativas y en la salida del sistema también determinó la eficiencia de remoción de los parámetros contaminantes, los parámetros fisicoquímicos del efluente del sistema, y cuantificó el caudal aplicado al sistema y el tiempo de retención hidráulica. La eficiencia de remoción de DQO es 95.92%, DBO_5 es 97.84% sólidos totales es 85.72, sólidos suspendidos es 95.46%, sólidos disueltos es 10.03%, sólidos sedimentados 99.87%, y grasas y aceites 99.63%, la temperatura se lleva a 32°C, y el potencial de hidrógeno de 8.13. El caudal aplicado al sistema es 456 m³ desechos sólidos al día, y el tiempo de residencia para lagunas anaerobias es de 13 días y para las facultativas de 21 días. Concluyó que el sistema de tratamiento biológico está adecuadamente, y que está entre los límites que establece la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

Martínez *et al.*, (2011) mencionan que la temperatura promedio a nivel nacional, para la salida del sistema de tratamientos es 31°C; 3.25 grados superior al promedio (27.75°C) de la temperatura de los cuerpos de agua receptores. El pH de los efluentes se encuentra dentro del rango establecido, con variaciones pequeñas entre las zonas. De acuerdo con los resultados que obtuvo no se cumple con el límite máximo de 200 y 400 mg/L para DBO₅ y DQO, respectivamente. Los sólidos suspendidos sedimentables, que indican la condición de fango del vertimiento, contrariamente a los sólidos suspendidos totales tienen un valor de mediana de 1.15 mg/L el cual se encuentra por debajo del límite propuesto (2 mg/L). Grasas y aceites aun cuando la carga orgánica, y en especial aceites y grasas, es alta en el afluente al sistema de tratamiento la remoción es superior al 94% obteniendo en el efluente valores inferiores a 20 mg/L.

IMPACTO AMBIENTAL POR RESIDUOS GENERADOS EN PROCESOS AGROINDUSTRIALES

Los procesos de agroindustrialización se han generalizado y han provocado profundos impactos, tanto a nivel macro como a nivel micro. Estos incluyen aportes al desarrollo económico global, junto con cambios en las tasas de pobreza ligados a la magnitud y la distribución de los cambios en el empleo y a los ingresos per cápita entre aquellos cuya subsistencia está ligada a la economía agroalimentaria. Estos procesos también abarcan la calidad, disponibilidad y precio de los productos alimentarios y no alimentarios, los impactos en los recursos naturales y en el medio ambiente, las implicaciones socioculturales, entre otros. En este contexto, es fundamental reconocer y promover las condiciones bajo las cuales las empresas agroindustriales pueden hacer un aporte positivo y significativo a los procesos globales de desarrollo, al mismo tiempo que se minimiza cualquier tipo de factor externo negativo y otros impactos (FAO, 2013).

Entre los diferentes enfoques que existen para definir a la agroindustria se dice que es una actividad que integra la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal mediante un proceso de beneficio o transformación, sin embargo, también es la tendencia mundial en el notable crecimiento en generación de residuos, derivados del incremento de productos comercializables. Se entiende por residuo a aquellos que pueden tener o no un valor comercial,

porque son poco comunes o porque se generan en bajas cantidades; que al buscar una oportunidad de aprovechamiento, se hace necesaria su caracterización para conocer su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera, con esto se pueden definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento. El problema al que se enfrentan los residuos agroindustriales es que no existe una clara conciencia ambiental para su manejo, además de que falta capacidad tecnológica y recursos económicos para darles un destino final (Saval, 2012).

Los distintos desechos que se producen en los sectores productivos causan serios daños al ambiente; es por ello que las empresas, independientemente del sector al cual pertenecen, su tamaño y organización, están obligados a lograr un desempeño ambiental aceptable de acuerdo a los criterios establecidos a nivel local, nacional e internacional. Para ello es necesario que adopten alguna modalidad de sistema de gestión ambiental o un proceso continuo e interactivo que involucra estructura, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos, recursos, objetivos y metas ambientales (Sánchez *et al.*, 2009).

En lo que se refiere a palma africana, en los estados de Chiapas, Veracruz, Tabasco y Campeche, existen 10 plantas extractoras de aceite de palma africana las cuales siete están ubicadas en Chiapas. Siete son privadas, una más es mixto y sólo una es de capital social. Por el sistema de producción y proceso de extracción de aceite de palma africana que manejan, generan varios subproductos mismos que causan un gran impacto al ambiente, entre estos tenemos los efluentes y los residuos sólidos (Zambrano, 2011).

Cabe mencionar que la cantidad de los residuos líquidos y sólidos dependen de la industria y del proceso por tanto sus efectos dependerán del estado en que se encuentren los residuos al ser arrojados al ambiente y la composición del sitio donde son derramados (Virto *et al.*, 2007).

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo. Las aguas residuales se definen, según la Ley de Aguas Nacionales de México, como “aguas de composición variada provenientes de las

descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas”. Si las aguas residuales van a ser vertidas a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos), será necesario realizar un tratamiento para evitar enfermedades causadas por microorganismos patógenos en personas que entren en contacto con esas aguas, así como para proteger el equilibrio ecológico y la conservación de la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor.

En el caso de sistemas de recolección y drenaje de aguas residuales que no cuentan con una planta de tratamiento, situación común en los países en desarrollo, el agua residual es descargada directamente en el medio natural (cuerpo de agua o suelo). En este medio, bajo las condiciones propias del cuerpo receptor, se realiza hasta cierto grado una autodepuración, mediante operaciones físicas (dilución, mezclado, absorción, entre otros.), procesos químicos reacciones químicas de precipitación (Noyola *et al.*, 2013).

Existen tratamientos que pueden ayudar a mejorar las características de las descargas, disminuyendo el impacto que ocasionan al ambiente, en la población y en los trabajadores. En el caso de las industrias de medicamentos enfrentan un reto al generar residuos químicos los cuales son difíciles de tratar y de eliminar. Afectando con esto los recursos hídricos, en especial los antibióticos que han sido detectados en lagos y corrientes de diferentes partes del mundo, provocando el aumento de la toxicidad de los organismos acuáticos y el surgimiento de especies de bacterias con resistencia antibiótica (Ramos *et al.*, 2003).

El adecuado funcionamiento del manejo de efluentes utilizando prácticas de producción más limpia, mitiga y evita posibles impactos ambientales, para esto se realizan actividades preventivas de los impactos ambientales, acompañados de un preciso monitoreo de las mismas, basadas en planes de manejo de residuos, mantenimiento y planes de emergencia. En la actualidad se realiza aislamientos de microorganismos para usarlos en diferentes procesos como biorremediación, biosíntesis de enzimas, producción de biofertilizantes, que se han desarrollado para disminuir el impacto ocasionado al ambiente en los diferentes procesos industriales (Bonomie y Reyes, 2012).

DESCRIPCIÓN DE LA PALMA AFRICANA *ELAEIS GUINEENSIS*

La palma africana tiene su centro de origen en la región occidental y central del continente Africano, iniciándose su propagación a mínima escala a través del tráfico de esclavos a comienzo del siglo XVI, en navíos portugueses en los que llegó a las costas de Brasil. Conocida también como palma africana por ser nativa de la región del golfo de Guinea de dicho continente. Si bien ha sido utilizada por el hombre desde hace 5000 años, durante los últimos 80 años se ha expandido enormemente en los trópicos del Sur de Asia, Oriental y América (Chávez *et al.*, 2007).

La palma africana es una planta perenne, tiene 16 pares de cromosomas y es una planta monocotiledónea, esto significa que su semilla tiene sólo un cotiledón o almendra. Pertenece al orden de las palmas y a la familia *Palmaceae*, es una planta monoica; las flores masculinas y femeninas se producen independientes, aunque en una misma palma, es alegama, pues su polinización es cruzada (Preciado y Arroyo, 2007). Existen dos especies del género de interés económico, la palma (*Elaeis guineensis*) y la palma americana (*Elaeis oleífera*). Las plantaciones comerciales del mundo están sembradas casi exclusivamente con *E. guineensis*, mientras que la *E. oleífera* es importante en los programas de mejoramiento genético para la obtención de híbridos al cruzarla con *E. guineensis*, el cual es resistente a enfermedades y produce un aceite más limpio (Chinchilla, 2004).

La palma africana es la fuente vegetal con alto nivel de triglicéridos y con mayores ventajas competitivas para la producción de biodiesel a nivel nacional. Es una planta del trópico húmedo, que es la mejor opción para las tierras bajas de las regiones tropicales. Además, ayuda a prevenir la erosión de los suelos. Requiere de suelos profundos y bien drenados. Crece en una amplia variedad de suelos. El clima propicio que requiere debido a la temperatura y la humedad para su desarrollo es el cálido-húmedo y cálido-subhúmedo. Requiere de grandes cantidades de agua por lo que la precipitación pluvial idónea es de 1800 mm bien distribuidos durante todo el año. La temperatura ideal es entre los 22°C a 28°C. Crece en suelos elevados hasta 400 metros sobre el nivel del mar (Velásquez y Gómez, 2008).

Tamaño

Palmera monoica con tronco erecto solitario que puede alcanzar más de 40 m de altura en estado natural. En cultivos industriales para la obtención de aceite su altura se limita a los 10-15 m, con un diámetro de 30-60 cm cubierto de cicatrices de hojas viejas, figura 1 (Muralles, 2011).



Figura 1. Plantación de Palma Africana (Zúñiga, 2017).

Sistema radicular

Es de forma fasciculada, con gran desarrollo de raíces primarias que parten del bulbo de la base del tallo en forma radial, en un ángulo de 45° respecto a la vertical, profundizando hasta unos 50 cm en el suelo y variando su longitud desde 1 m hasta más de 15 m. Por su consistencia y disposición aseguran un buen anclaje de la planta, aunque casi no tienen capacidad de absorción. Las raíces secundarias, de menor diámetro, son algo más absorbentes.

Tallo

Comunica las raíces con el penacho de hojas que lo coronan. Se desarrolla en tres o cuatro años, una vez que se ha producido la mayor parte del crecimiento horizontal del sistema radicular. Se inicia con la formación de un órgano voluminoso en la base del tallo que es el

bulbo, que origina el ensanchamiento en la base del tronco y sirve de asiento a la columna del tallo. En el otro extremo del bulbo, en el ápice del tallo, se encuentra la yema vegetativa o meristemo apical, que es el punto de crecimiento del tallo, de forma cónica enclavada en la corona de la palma y protegido por el tejido tierno de las hojas jóvenes que emergen de él en número de 45 a 50 (TECHNOSERVE, 2009).

Hojas

Hojas verdes pinnadas (con folíolos dispuestos como pluma, a cada lado del pecíolo) de 5-8 m de longitud que constan de dos partes, el raquis y el pecíolo. A uno y otro lado del raquis existen de 100 a 160 pares de folíolos dispuestos en diferentes planos, correspondiendo el tercio central de la hoja a los más largos (1.20 m). El pecíolo muy sólido en su base y provisto de espinas en los bordes, las cuales se transforman en folíolos rudimentarios a medida que se alejan del tallo, presenta una sección transversal asimétrica, con tendencia triangular o de letra “D” y a medida que se proyecta hacia el raquis se va adelgazando, manteniendo siempre muy sólida la nervadura central (Ronquillo, 2012).

Inflorescencias

Las flores se presentan en espigas aglomeradas en un gran espádice (espata que protege a una inflorescencia de flores unisexuales) que se desarrolla en la axila de la hoja. La inflorescencia puede ser masculina o femenina. La inflorescencia masculina está formada por un eje central, del que salen ramillas o espigas llamadas dedos, cilíndricos y largos, con un total de 500 a 1500 flores estaminadas, que se asientan directamente en el raquis de la espiga, dispuestas en espiral. Las anteras producen abundante polen con un característico olor a anís. La inflorescencia femenina es un racimo globoso, de apariencia más maciza que la masculina, sostenido por un pedúnculo fibroso y grueso, que lleva en el centro un raquis esférico en el que se insertan numerosas ramillas o espigas, cada una con 6 a 12 flores. La flor femenina presenta un ovario esférico tricarpelar coronado por un estigma trífido cuyas caras vueltas hacia fuera están cubiertas por papilas receptoras del polen.

Racimo

El racimo puede ser de varias formas. Por lo general, es ovoide y posee un tamaño promedio de 35 cm de ancho por 50 cm de largo. El número de frutos producido en cada racimo varía con la edad y con el material genético. Su peso puede variar de 2 a 3 kg en palmas jóvenes y alcanzar hasta 100 kg por racimo en adultas, figura 2.



Figura 2. Racimo de palma africana (Zúñiga, 2017).

Fruto

Los frutos de la palma son de forma ovoide de tres a seis centímetros de largo, y cuentan con un peso aproximado de 5 a 12 gramos, tienen piel lisa y brillante (exocarpio), una pulpa o tejido fibroso que contiene las células con aceite (mesocarpio), una nuez o semilla compuesta de un cuesco lignificado de grosor variable (endocarpio), y una almendra aceitosa o palmiste (endospermo). Los frutos insertados en las espiguillas que rodean el raquis en forma helicoidal, conforman los racimos. Estos también tienen forma ovoide y pueden alcanzar un poco más de 60 cm de largo y 40 cm de ancho, con pesos variables que oscilan entre los 5 y 40 kg, según el tipo de material plantado, la edad de la palma y las condiciones en que se desarrolle el cultivo, figura 3 (Torres, 2006).



Figura 3. Fruto de Palma Africana (Zúñiga, 2017).

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA

Acuña (2000) menciona que el proceso de extracción de aceite de palma comienza realmente desde el amontonamiento y transporte posterior a la planta de extracción, el cual se hace en camiones de carga, o carretas tiradas por tractores de llantas. Los cuales llegan a la planta y se genera el proceso de descarga posterior al pesado de la fruta dándose una secuencia en el proceso que se describe a continuación:

Recepción del fruto

Consiste en pesar el camión lleno de fruta proveniente de los productores agrícolas y luego de descargarlo para obtener por diferencia el peso neto de la fruta.

Esterilización

Es la etapa más importante del proceso de extracción del aceite de palma; se lleva a cabo, generalmente sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales (autoclaves), donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez de los mismos (esta es una de las fases del proceso que genera mayor cantidad de efluentes).

Desfrutado

Luego de esterilizar los racimos se proceden a separar el fruto del racimo. Esto se hace en un tambor rotatorio, el fruto se separa para luego enviarlo al digestor por medio de un elevador y el racimo vacío es llevado al campo para utilizarlo como abono orgánico.

Digestión

El fruto es depositado en un cilindro llamado digestor el cual tiene unas paletas para macerar el fruto por medio de agitación circular, se aplica vapor de agua. Con el objetivo de desprender la pulpa de las nueces y romper las celdas para liberar el aceite que contienen y calentar la masa de los frutos y darle el contenido de humedad necesario para preparar la extracción.

Prensado

Cuando el fruto ha pasado por la digestión se procede a prensarlo. Se aplica agua a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa con el fin de lavar las fibras y lograr que la extracción de aceite sea eficiente, además se le da la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. La eficiencia del prensado depende de varios factores; la presión aplicada a los conos de los tornillos y el estado de desgaste que tienen los tornillos y conos. Del prensado salen dos productos; uno sólido y otro líquido. El sólido está compuesto por semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido es una mezcla de aceite, agua y lodos.

Clarificación

El aceite crudo extraído del mesocarpio por medio del prensado contiene cantidades variables de impureza de material vegetal, parte de las cuales se presentan como sólidos insolubles y partes disueltos en el agua que contiene el aceite. Tanto el agua como las impurezas deben removerse, lo que se logra mediante la clarificación. Está conformado por un tanque clarificador continuo de aceite, diseñado para separar el aceite del agua y los sólidos con los cuales están mezclados, al salir del tanque de aceite crudo después del tamiz vibratorio obrando en una forma continua. En este tanque es necesario tener una dilución adecuada para mejorar

la decantación estática y una altura óptima entre la salida del aceite clarificado y el lodo, para lograr un trabajo continuo y acelerado en la separación de aceite.

Sistema de decantador-secador

Involucra la modificación del proceso de clarificación del aceite mediante la incorporación de un decantador para separar el aceite (y el agua) y el sólido. Este sistema es capaz de reducir la producción de agua residual en alrededor del 70% en esta estación. También se producen sólidos decantados con aproximadamente un 80% de humedad. Adicionalmente, el sistema también incorpora un secador de tambor giratorio para secar el sólido decantado. Para secar el sólido decantado a un contenido de humedad por 44 min bajo del 10%, se utiliza gas del tubo de la caldera con temperatura de alrededor de 300°C. Dependiendo del contenido de cenizas del sólido seco, se puede convertir en alimentos para animales o en fertilizante.

Esta propuesta preventiva no sólo ha reducido exitosamente la cantidad de efluentes de la planta extractora de aceite de palma y su carga de DBO, sino que también ha eliminado la emisión de humo negro y partículas de la caldera. Desafortunadamente, este sistema no es capaz de eliminar totalmente la descarga de efluentes de la planta extractora de aceite de palma y sigue existiendo la necesidad de construir una planta de tratamiento para hacerse cargo del resto del efluente.

Se sabe muy bien que la tecnología general de las plantas extractoras de aceite de palma no ha cambiado mucho en los últimos 50 años. Ya es hora de buscar tecnologías nuevas y limpias para asegurar un desarrollo sostenible de la industria. Está claro que el reciclaje o la recuperación de productos útiles de las corrientes de desechos directamente es la forma más simple de reducir los desechos y esto se debe considerar en primer lugar (Ngan, 2000).

Almacenamiento

Una vez que el aceite alcanza los niveles de pureza requerido es enviado a los tanques de almacenamiento para su posterior despacho. Ahora bien, se describe a continuación, las actividades de apoyo relacionadas directamente con el manejo de efluentes vinculados a su vez con el proceso productivo de la extracción de aceite de palma o rojo.

Generación de vapor

Proporciona vapor a las etapas del proceso productivo tales como esterilización, extracción y clarificación, con el propósito de realizar de una manera más efectiva los procesos para la extracción de aceite. La generación de vapor necesaria como fuente de calor para los equipos de la planta; la caldera utiliza como combustible la fibra y la cáscara generada en el proceso productivo. La calidad del vapor es del tipo saturado y para controlar la emisión de partículas por la chimenea se emplea un sistema de recolección de cenizas, compuesto por un ventilador, ciclón y esclusa.

Generación de energía

Es catalogada como actividad de apoyo, en la medida que proporciona energía a algunas etapas del proceso de extracción de aceite. Esta actividad es producto de la generación de desperdicios de algunas etapas, tales como: las cáscaras o raquis, así como de plantas eléctricas o de energía proveniente del servicio público.

Mantenimiento

Es necesario en el proceso de extracción de aceite, desde la báscula en la etapa de recepción hasta palmistería. Asimismo, está relacionado directamente con las otras actividades del proceso tales como: generación de vapor y control de calidad.

Control de calidad

Participa en el proceso en las etapas de recepción, desfrutado, extracción y clarificación, estableciendo algunas normas y procedimientos para que en algunas etapas se extraiga la mayor cantidad de aceite y en otras para mantener las características del mismo. El control de calidad se realiza evaluando el aceite rojo con el propósito de valorar su vida útil, (análisis químicos de porcentaje de humedad, porcentaje de acidez e índice peróxido), así como las características requeridas para poder valorarse como un producto óptimo para ser convertido en aceite comestible. En la siguiente tabla se muestran las etapas y actividades de apoyo del proceso de extracción de aceite, tabla 1.

Tabla 1. Etapas y actividades de apoyo del proceso de extracción del aceite rojo.

Etapas del proceso	Actividades de apoyo
1. Recepción	7. Generación de vapor
2. Esterilización	8. Generación de energía
3. Desfrutado	9. Mantenimiento
4. Extracción	10. Control de calidad
5. Clarificación	
6. Almacenamiento del aceite rojo	

Fuente: (Bonomie *et al.*, 2012).

IDENTIFICACIÓN DE LOS EFLUENTES POR ETAPA DEL PROCESO

Al realizar la recepción de la fruta, las impurezas de las frutas, son llevadas a las plantaciones para que sirvan de abono, es decir, se utiliza este desecho de esta etapa del proceso para ser utilizado en las plantaciones de palma. En cuanto a la etapa de esterilización los líquidos que salen del proceso producto del vapor utilizado para esterilizar la fruta, son llevados a las lagunas de tratamiento de las aguas. En el desfrutado se obtienen como residuos de esta etapa las ramas vacías producto del desmembrado de la fruta (raquis), las cuales son llevadas a las plantaciones de palma para ser utilizadas en el control de maleza de las mismas; y los líquidos que salen de esta etapa producto del calor y vapor utilizado, es conducido a las lagunas de tratamiento. En la siguiente tabla se presentan las etapas del proceso de extracción de aceite de palma y el tipo de efluente, y el destino que tienen los mismos, con el propósito de establecer aquellas áreas donde las empresas han iniciado acciones tendentes a prevenir, controlar y mitigar el daño ambiental, tabla 2.

Tabla 2. Efluentes en el proceso de extracción de aceite rojo y su destino final.

Etapa del proceso	Efluente	Destino del efluente
Recepción	Impureza de la fruta	Plantaciones, como abono
Esterilización	Líquidos	
Desfrutado	Raquis vacías	Plantaciones como control de malezas
	Líquidos	Tratamiento de aguas (Lagunas)
	Líquidos	Tratamiento de aguas (Lagunas)
	Aguas y lodos residuales	Tratamiento de aguas (Lagunas)

Fuente: (Bonomie *et al*, 2012).

Al romper mediante calor y presión mecánicamente las celdas que contienen el aceite quedan los líquidos producto de la extracción del aceite, éstos son llevados a las lagunas para ser tratadas. Al realizar la separación del aceite del agua y los sólidos, en la etapa de clarificación se obtienen líquidos, tales como aguas lodosas las cuales son transportadas a las lagunas para ser tratadas (Reinosa, 2009).

RESIDUOS LÍQUIDOS EMITIDOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Dentro del proceso de extracción del aceite de palma se generan varios residuos. Uno de estos son los efluentes líquidos que se obtienen como resultado de los procesos de clarificación, esterilización y de palmistería a través de hidrociclones. Adicionalmente, los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, contienen cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio los cuales pueden servir de nutrientes en la plantación una vez se haya estabilizado la materia orgánica. Para dar una idea de la contaminación que puede causar una planta extractora de aceite de palma, esta se relaciona con la contaminación producida por una población equivalente de habitantes. Así, una extractora con una capacidad de 15 t/ha de Racimos de Fruta Fresca (RFF) puede producir la contaminación de una población con más de 180,000 habitantes. La DQO y la DBO de un agua residual doméstica es de aproximadamente 500 y 250 mg/L respectivamente, las cuales si se comparan con los promedios de la tabla 2 para estos dos parámetros (DQO 79,730 mg/L y DBO5 48,833 mg/L) se nota la gran cantidad de materia orgánica presente en estos últimos. Es necesario recalcar que no obstante esta gran

carga de materia orgánica que producen las extractoras de aceite de palma no contiene compuestos tóxicos ni metales pesados que puedan causar un tipo de contaminación más grave (CENIPALMA, 1996).

Por el volumen de efluentes y residuos que pueden generar y su ubicación con respecto a los cuerpos de agua superficiales; este sector agroindustrial puede adquirir una categoría tan importante como aquellos con mayor potencial de impacto ambiental de hecho, el sector ha sido calificado como aquél de impacto intermedio (tipo B) sobre la salud y el ambiente, y responsable de aproximadamente el 50% de las descargas líquidas (Sánchez *et al.*, 2009).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Sólidos disueltos

Es la fracción de sólidos insolubles que se depositan por la acción de la gravedad. Indican la cantidad de lodos que podrían separarse por sedimentación de un efluente. Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico o inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales.

Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión (SS) es una medida de los sólidos sedimentables (no disuelto) que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas y equipos (Rigola, 1990).

Olores

Las causas más comunes que generan malos olores son: materia orgánica en solución, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, hierro y manganeso. La determinación del olor en el agua es útil

para evaluar la calidad de la misma. El test del olor no constituye una medida, sino una apreciación, y ésta tiene por lo tanto un carácter personal.

Color

Se distingue generalmente el color aparente debido a las materias en suspensión y en solución y el color verdadero debido solamente a las materias en solución. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción. La remoción del color se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales.

Turbidez

Es una propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. Puede ser causada por una variedad de materiales en suspensión que varían en su tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas (Muñoz, 2008).

Temperatura

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua. El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también 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.

Conductividad eléctrica (CE)

La medida de conductividad permite evaluar rápida pero muy aproximadamente la mineralización global del agua. Para las necesidades urgentes, facilitará la eliminación de las aguas de mineralización demasiado elevada. Una conductividad eléctrica del agua superior a 1,500 S/cm hace considerar a un agua como inutilizable en las zonas irrigadas. Para los usos

industriales, la interpretación de los resultados debe hacerse en función de un análisis completo del agua.

Dureza total

Salvo excepciones muy particulares, la dureza tiene un carácter natural y corresponde al lavado de los terrenos atravesados. Cuanto más dura es el agua, mayor es el costo de los usos (incrustación, blanqueo, tratamientos industriales). Una dureza de 80 a 100 mg/L puede considerarse como satisfactoria. Se ha de tener en cuenta que, en ciertas descargas, la descomposición de la parte vegetal puede conducir a la liberación de grandes cantidades de anhídrido carbónico, que arrastrado en las aguas subterráneas por infiltración de las aguas de lluvia puede disolver el calcio del suelo y contribuir a las variaciones de la dureza (Rodier, 1998).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Materia orgánica

El inconveniente de las materias orgánicas es que favorecen la aparición de malos gustos, que podrán exacerbarse por la cloración, y facilitar el desarrollo de gérmenes, algas y hongos. No es posible determinar verdaderamente las materias orgánicas de origen animal o vegetal que contienen las aguas. Pueden obtenerse por la diferencia entre los residuos secos y los residuos calcinados, así como por la determinación de elementos de base como el carbono y el nitrógeno, los principales grupos orgánicos encontrados en las aguas residuales son:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Se utiliza para determinar la contaminación de la aguas, cuando la carga de materia orgánica es excesiva los microorganismos no se dan abasto para oxidar toda la materia orgánica presente y se generan focos de contaminación en todo el cuerpo receptor influyendo negativamente en el color, olor y sabor del agua.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales (Sánchez *et al.*, 2007).

Grasas y aceites

Se acumulan en la parte superior de los cuerpos receptores de agua, generando grandes cantidades de espuma, por lo que los rayos del sol no pueden penetrar en el agua del cuerpo receptor, por lo que deben de eliminarse en la primera etapa del tratamiento del agua residual (Madriz, 2011). Los efectos que ocasionan se reflejan en el suelo, modificando sus características físicas y químicas. Los contenidos superiores a 500 mg/L en las aguas residuales pueden perjudicar considerablemente la explotación de estaciones de tratamientos. Los disolventes orgánicos que son algunas veces sus asociados pueden perturbar la depuración biológica y la digestión de los fangos.

Materia inorgánica

La caracterización inorgánica debe incluir pruebas que suministren información sobre la toxicidad potencial de desechos tales como metales pesados y amoníaco, los contaminantes que requieran un tratamiento específico como acidez o alcalinidad, pH y sólidos en suspensión, la evaluación de nutrientes como nitrógeno o fósforo y sustancias interferentes o inhibidoras como cloruros o sulfatos (Barba, 2002). Los gases más importantes son el sulfuro de hidrógeno y el metano.

Sulfuros de hidrógeno (H₂S)

Se forma durante la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre y es el responsable del olor a huevo podrido y del ennegrecimiento del agua residual y del fango, debido a su combinación con el hierro presente formando sulfuro de hierro.

Metano (CH₄)

Principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro que se encuentra en pequeñas cantidades en el agua residual (Arrieta, 2006). De acuerdo a lo anterior, podemos decir que el suelo ha sido utilizado para depositar los residuos, incluyendo los que han sido removidos del aire y de la tierra. En los últimos años, la mayor parte de los esfuerzos en cuanto a la protección ambiental se han abocado a limpiar el aire y el agua, así como en evitar que se sigan contaminando, esto porque su relación con los problemas de salud en la población es más directa, sin embargo, no se deben descuidar los aspectos de contaminación del suelo, ya que amenazan no sólo a los usos futuros del mismo sino también la calidad de aire, el agua superficial y el agua subterránea (Arrellano, 2002).

El suelo constituye el soporte material y la fuente de alimentos para al desarrollo de los seres vivos que habitan en él. Una composición típica del suelo, muestra un contenido de sólidos de aproximadamente del 50% en volumen, mientras que el resto es una mezcla de agua y aire. Lejos de tener una estructura homogénea, existe un perfil vertical de composición química y estructura física que, en forma simplificada, puede considerarse compuesto (Zaror, 2000).

MANEJO DE EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

El proceso de extracción de aceite de palma africana utiliza agua y vapor de agua que sumados a la humedad e impurezas de la fruta obtenidas en la purificación del aceite forman las aguas de desecho conocidos como “efluentes”. El volumen de efluentes que se genere en una planta depende de la amplitud en el diseño de los sistemas de proceso y en el control de los mismos, del mantenimiento de los equipos y del cuidado y limpieza de la planta. Estos efluentes pueden ir en un rango de 0.6 a 1 t de efluente por cada tonelada de racimos de fruto fresco (RFF) procesadas (Cerón, 2011).

El manejo de los efluentes provenientes de las plantas extractoras de aceite de palma se originó en Malasia en la década de 1970, cuando la preocupación ambiental coincidió con el aumento del número de plantas extractoras en ese país. La cantidad de efluentes que fluían a los ríos

estaba aumentando, lo cual conducía al agotamiento del oxígeno y por consiguiente destruía los sistemas vivos (Brugés *et al.*, 2000). Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno. El nivel máximo admisible de contaminante puede conseguirse mediante la utilización de diversas técnicas como la incineración y la absorción así también se considera los tratamientos físicos, químicos y biológicos (Rodríguez *et al.*, 2006).

Los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, generan contaminación, principalmente por la gran cantidad de materia orgánica, sólidos y aceites que poseen. Esto se debe a que la extracción del aceite se hace mediante procesos físicos y mecánicos, mediante diferencias de densidades se separan los sólidos, el agua y el aceite, el sector palmero a nivel nacional en los últimos dos años ha venido dando un fuerte impulso a la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales. A través del Centro de Investigación (CENIPALMA) se han desarrollado actividades en la identificación de lodos microbiológicos para el tratamiento de este tipo de desechos y de una metodología de arranque y operación de lagunas de estabilización (García, 1996).

El uso de grandes cantidades de aguas industriales en terrenos aledaños a los sitios de producción de dichas aguas puede degradar el suelo, el agua y el aire. Los subproductos, componentes o productos de degradación pueden causar problemas de olores, liberar gases a la atmósfera o contaminar el suelo y el agua con nutrientes, elementos tóxicos y/o microorganismos. El deterioro físico se refleja en la estructura del suelo, la capacidad de infiltración y el decremento de la porosidad e incremento de la densidad aparente; así, suelos con degradación física pueden tener impedimentos de drenaje y una rápida saturación de agua (Pérez, 2002).

HIPÓTESIS

Las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de aceite de palma africana de la Industria Aceitera PAPSA, tienen parámetros con valores arriba de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

METODOLOGÍA

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La caracterización de aguas residuales en la industria aceitera PAPSA es una investigación con un enfoque cuantitativo, ya que se recolectaron datos con base en la medición numérica y análisis estadístico, se basa en una investigación descriptiva, porque busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población, es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Hernández *et al.*, 2010). Como se trata de una investigación descriptiva las variables a considerar son: temperatura, pH, sólidos sedimentables, sólidos, grasa y aceites, materia flotante y DBO₅.

POBLACIÓN

La investigación se realizó en la empresa PAPSA de C.V ubicada a un costado de la carretera Villa Comaltitlán-Escuintla km 230 del Municipio de Villa Comaltitlán, Chiapas con coordenadas geográficas 15° 14' 07.78'' de LN y 92° 35' 10.64'' LO. Actualmente se encuentra conformada por 400 socios; la planta procesa 20 toneladas de racimos cada 2 hr generando una producción aproximada de 120 toneladas en 12 hr. El estudio comprende la caracterización físico-química de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de aceite de palma en la industria aceitera PAPSA, durante los meses de abril a junio de 2018, figura 4.

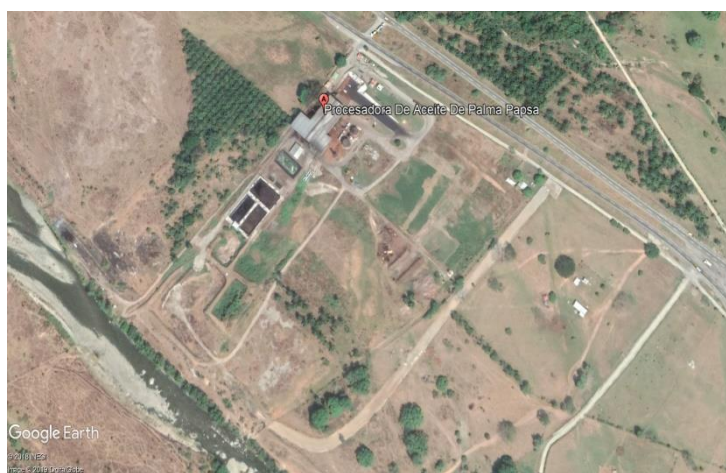


Figura 4. Área de estudio, industria aceitera PAPSA (Google-Earth, 2019).

MUESTRA

Se obtuvieron muestras simples, que fueron tomadas directamente de la descarga del efluente del decantador y en la laguna de oxidación en periodos de tiempo una hora y media a lo largo de una jornada laboral de 12 hr. Así mismo se utilizaron muestras compuestas, las cuales se obtuvieron de la mezcla de varias muestras simples. La metodología descrita está apegada a la norma NMX-AA-003-1980 de muestreo, el intervalo de tiempo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes liberados en el agua residual del proceso de extracción de aceite, tabla 3.

Tabla 3. Toma de muestra de las descargas de aguas residuales.

Punto de muestreo	Horario
Efluente en el decantador	7:00 am, 10:00 am, 1:00pm, 4:00 pm
Efluente en la laguna de oxidación	7:00 am, 10:00 am, 1:00 pm, 4:00 pm

MUESTREO

Se llevaron a cabo tres muestreos, los cuales se dividieron entre los meses de abril a junio 2018. Mismos que se realizaron el día 15 de abril, 21 de mayo y 25 de junio de 2018, efectuando como primero, segundo y tercer muestreo respectivamente. En cada muestreo se tomaron ocho muestras simples del efluente en el decantador, considerando una jornada de trabajo de 12 horas, las muestras fueron tomadas en un intervalo de tres a cuatro horas entre una y otra. La muestra compuesta se obtuvo de la mezcla de las cuatro muestras simples tomadas a lo largo del día. Tanto para las muestras simples como para la compuesta se tomaron muestras representativas superior a 1 L, las cuales fueron transportadas en un frasco de vidrio de boca ancha con tapa, manteniéndola a 4°C hasta realizar los análisis. Los análisis en campo se realizaron los mismos días del muestro, temperatura, pH, los análisis de grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos y materia flotante se realizaron en el laboratorio los días siguientes a la toma de muestras en campo, es decir, 16 de abril, 22 de mayo y 26 de junio ya que las muestras de estas aguas residuales tienen un límite de hasta 6 días dependiendo del análisis a realizar.

VARIABLES

Hernández (2010) menciona que la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta supuesta relación causal, el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no. Aquí, manipular es sinónimo de hacer variar o asignar distintos valores a la variable independiente. Se consideraron muestras simples, tomando en cuenta el volumen y el tiempo. La toma de muestra se realizó directamente en la descarga del decantador y laguna de oxidación, donde son derramadas las descargas de aguas residuales. Por cada muestra simple y muestra compuesta se determinó diversos parámetros físico-químicos los cuales fueron temperatura, pH, sólidos sedimentables, sólidos y materia flotante. El análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se realizó en el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, Unidad Tapachula), los análisis de grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos y materia flotante se realizaron en el laboratorio de alimentos de la UNICACH subsección Acapetahua.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos de medición utilizados para los análisis de agua residual fueron los siguientes: para la determinación de temperatura se utilizó un termómetro de alcohol marca Initialby Brannan, en la determinación de pH se utilizó el medidor de pH CE marca waterpootby HANNA HI: 98130, para la determinación de sólidos sedimentables se utilizó un cono Imhoff marca NALGENE capacidad 1000 mL, para sólidos se utilizó balanza analítica, mufla marca NOVATECH MODELO MD-12, parrilla de calentamiento marca NOVATECH MODELO VH-6, horno de secado marca NOVATECH MODELO HS35-ED, equipo de filtración al vacío marca NOVATECH MODELO EV-40 y el análisis de grasas y aceites, se realizó con el método de Soxhlet marca CRAFT MODELO ES-600.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS

a y b) Evaluación de las características físico-químicas del agua residual liberada del decantador y la laguna de oxidación

Determinación de temperatura

La medición se realiza directamente de la descarga de agua, tomar 1 litro de muestra de tal manera que el termómetro de alcohol marca Initialby Brannan quede debidamente inmerso, esperar hasta obtener mediciones constantes. Enjuagar con agua destilada el instrumento de medición para su limpieza, las lecturas se obtienen directamente de la escala del aparato medidor de temperatura, y se informan en grados Centígrados (°C).

Determinación de pH

Se obtiene la muestra a analizar correspondiente a 1 litro de tal manera que el medidor de pH CE marca waterpootby HANNA HI: 98130 quede debidamente inmerso, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes. Enjuagar con agua destilada el instrumento de medición para su limpieza, las lecturas se obtienen directamente del parámetro medidor.

Determinación de sólidos sedimentables

1. Mezclar la muestra a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento de su medición.
2. Colocar la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Dejar sedimentar 45 min, una vez transcurrido este tiempo desprender suavemente los sólidos adheridos a las paredes del cono con un agitador; mantener en reposo 15 min más y registrar el volumen de sólidos sedimentables en mL/L. Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, estimar aproximadamente el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados.
3. En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Cálculos

Tomar directamente la lectura de sólidos sedimentables del cono Imhoff. Reportar la lectura obtenida en mL/L.

Determinación de sólidos

Preparación de cápsulas de porcelana

1. Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min.
2. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
3. Pesar las cápsulas y registrar los datos.
4. Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como peso G.

❖ Preparación de crisoles Gooch

1. Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
2. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min.
3. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
4. Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como G3.

❖ Preparación de la muestra

1. Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

Determinación para sólidos totales (ST)

1. En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado.
2. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante.

3. Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C.
4. Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.

Determinación para sólidos totales volátiles (SVT):

1. Introducir la cápsula conteniendo el residuo a la mufla a 550°C ± 50°C durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.
2. Cuando se determinen muestras por duplicado o triplicado, los resultados como máximo pueden tener una variación del 5 por ciento del promedio de los resultados.

Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST)

1. Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.
2. Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
3. Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante registrar como peso G4.

Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)

1. Introducir el crisol que contiene el residuo y el disco a la mufla, a una temperatura de 550°C ± 50°C durante 15 min a 20 min. Sacar el crisol, de la mufla e introducirlo a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C durante 20 min aproximadamente. Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G5.

Cálculos

Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$\mathbf{ST} = (G1 - G) * \frac{1000}{V}$$

Dónde:

ST: son los sólidos totales, en mg/L

G1: es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg

G: es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante

V: es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$\mathbf{SVT} = (G1 - G2) * \frac{100}{V}$$

Dónde:

SVT: es la materia orgánica total, en mg/L

G2: es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg

V: es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$\mathbf{SST} = (G4 - G3) * \frac{100}{V}$$

Dónde:

SST: son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

G3: es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

G4: es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg

V: es el volumen de muestra, en ml

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$\mathbf{SST} = (G4 - G5) * \frac{100}{V}$$

Dónde:

SST: son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

G5: es el peso del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg

V: es el volumen de muestra, en mL.

Determinación de grasas y aceites método Soxhlet

1. Medir el pH de las muestras el cual debe ser menor de 2, si no tiene este valor acidifique con ácido clorhídrico 1:1 o ácido sulfúrico 1:1.
2. Preparar los matraces de extracción introduciéndolos a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C, enfriar en desecador y pesarlos, repetir el procedimiento hasta obtener el peso constante de cada uno de los matraces.
3. Preparar el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 ml de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice (10 g/L) sobre el filtro, aplicar vacío y lavar con 100 ml de agua.
4. Transferir el total de la muestra acidificada al embudo Büchner preparado aplicando vacío hasta que cese el paso de agua. Medir el volumen de la muestra.
5. Con ayuda de unas pinzas, transferir el material filtrante a un cartucho de extracción. Limpiar las paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra, así como la parte interna de la tapa del frasco con trozos de papel filtro previamente impregnados de disolvente (hexano) tener cuidado en remover la película de grasa y los sólidos impregnados sobre las paredes; colocar los trozos de papel en el mismo cartucho.
6. Secar el cartucho en una estufa a 103°C - 105°C por un período de 30 min. Transcurrido este período colocar en el equipo Soxhlet.
7. Adicionar el volumen adecuado de hexano al matraz de extracción previamente puesto a peso constante y preparar el equipo Soxhlet. Evitar tocar con las manos el cartucho y el matraz de extracción, para ello utilizar pinzas o guantes de látex.
8. Colocar el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20 ciclos/hora durante un período de 4 h.
9. Una vez terminada la extracción retirar el matraz del equipo Soxhlet, y evaporar el disolvente.
10. El matraz de extracción libre de disolvente se coloca en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente.
11. Pesar el matraz de extracción y determinar la concentración de grasas y aceites recuperables.

12. Analizar un blanco de reactivo bajo las mismas condiciones de la muestra

Cálculo:

$$\mathbf{G y A} = \frac{\mathbf{A - B}}{\mathbf{V}}$$

Dónde:

G y A: grasas y aceites (mg/L).

A: peso final del matraz de extracción (mg).

B: peso inicial del matraz de extracción (mg).

V: volumen de la muestra, en litros.

Determinación de materia flotante

1. Verter la muestra a través de la malla, teniendo cuidado de que la materia flotante que sobrenada, quede retenida en dicha malla.
2. Arrastrar con agitador de vidrio o una espátula hacia la malla toda aquella materia flotante que quedara sobre la superficie de la muestra que se está vertiendo o aquella adherida a las paredes del recipiente.
3. Interpretación
4. Inmediatamente después de filtrar la muestra, se procede al examen de la malla.

El informe depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla. Reportar como ausencia de materia flotante, si al examinar la malla no se observa a simple vista ninguna partícula retenida. Reportar como presencia de materia flotante, si al revisar visualmente la malla se encuentran partículas retenidas.

Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

1. Preparación de agua para dilución
 - a) Colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua 1 mL de cada una de las siguientes disoluciones:
 - b) Disolución de sulfato de magnesio (Pesar aproximadamente 22.5 g de sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO₄•7H₂O) disolver en agua y diluir a 1 L.

- c) Disolución de cloruro de calcio (Pesar aproximadamente 27.5 g de cloruro de calcio anhidro (CaCl_2) disolver en agua y diluir a 1 L.
- d) Disolución de cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) Pesar aproximadamente 0.25 g de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), disolver en agua y diluir a 1 L.
- e) Disolución amortiguadora de fosfatos (Pesar aproximadamente 8.5 g de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4), 21.75 g de fosfato dibásico de potasio (K_2HPO_4), 33.4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y 1.7 g de cloruro de amonio (NH_4Cl), disolver en 500 mL de agua y aforar a 1 L. El pH de la disolución debe ser de 7.2. Desechar el reactivo (o cualquiera de los siguientes reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco de almacenamiento).
2. Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura aproximada de 20°C . Saturar con oxígeno aireando con aire filtrado, libre de materia orgánica durante 1 h. Preparar el agua de dilución diariamente.
3. Preparar diluciones que den lugar a un oxígeno inicial (OD) residual mayor de 1 mg/L y una captación de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación producen los resultados más confiables. Hacer varias diluciones (al menos 3) por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo.
4. Preparar diluciones directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300 mL. Añadir cantidades adecuadas del material de siembra al agua de dilución. Llenar los frascos Winkler con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de tal manera que, la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas.
5. Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C .
6. Determinación del OD inicial con el Método yodométrico
- a) Para fijar el oxígeno, adicionar a la botella tipo Winkler que contiene la muestra (300mL), 2 mL de sulfato manganoso (Disolver en agua 480 g de sulfato manganoso, filtrar y diluir a 1 L. Esta disolución debe usarse siempre y cuando no de color al adicionarle una disolución ácida de yoduro de potasio en presencia de almidón.

- b) Agregar 2 mL de la disolución alcalina de yoduro-azida (Disolver en agua 500 g de hidróxido de sodio (NaOH), 700 g de hidróxido de potasio (KOH) y 150 g de yoduro de potasio (KI), diluir a 1 L con agua destilada. A esta disolución agregar 10 g de azida de sodio (NaN₃) disueltos en 40 mL de agua. Esta disolución no debe dar color con la disolución de almidón cuando se diluya y acidifique.).
- c) Tapar la botella tipo Winkler, agitar vigorosamente y dejar sedimentar el precipitado.
- d) Añadir 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), volver a tapar y mezclar por inversión hasta completar la disolución del precipitado.
- e) Titular 100 mL de la muestra con la disolución estándar de tiosulfato de sodio 0.025 M agregando el almidón hasta el final de la titulación, cuando se alcance un color amarillo pálido. Continuar hasta la primera desaparición del color azul.
- f) Calcular OD inicial con la siguiente fórmula:

$$\text{OD mg/L} = \frac{M * \text{mL de Tiosulfato} * 8 * 1000}{98.7}$$

Dónde

M=molaridad de tiosulfato.

8= gramos/ equivalente de oxígeno.

98.7= volumen corregido por el desplazamiento de los reactivos agregados a la botella tipo Winkler.

7. Reportar los resultados en mg/L de OD con la precisión correspondiente (NMX-AA-028-SCFI-2001).

c) Comparación de las características físico-químicas del agua residual del decantador y laguna de oxidación con los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El método consiste en poner dos o más fenómenos, uno al lado de otro para establecer sus similitudes y diferencias y de ello sacar conclusiones. Se compararon los resultados de las características físico-químicas obtenida del decantador y laguna de oxidación con los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Parámetros	NOM-001-SEMARNAT-1996 (L)
Temperatura	40
pH	6-9
Sólidos sedimentables	1-2
Sólidos	75-125
Grasas y aceites	15-25
Materia flotante	Ausente
DBO ₅	75-125

N.A= No aplicable

DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron en Microsoft Excel, para determinar diferencias estadísticamente entre los parámetros obtenidos en el efluente del decantador y el efluente en la laguna de oxidación con respecto a los límites máximos permisibles establecidos por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, se calcularon la media y desviación estándar para establecer la diferencia entre los datos obtenidos y compararlos con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 con la finalidad de conocer el comportamiento de los parámetros físico-químicos del agua residual en la empresa PAPSA.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

a) Características físico-químicas del agua residual liberada del decantador.

Se evaluaron las características físico-químicas del agua residual liberada del decantador utilizando las diferentes técnicas de las normas oficiales mexicanas: NMX-AA-003-1980 muestreo, NMX-AA-004-SCFI-2013 determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, NMX-AA-005-SCFI-2000 determinación de grasas y aceites, NMX-AA-006-SCFI-2010 determinación de materia flotante, NMX-AA-007-SCFI-2000 determinación de temperatura, NMX-AA-028-SCFI-2001 determinación de demanda bioquímica de oxígeno, NMX-AA-034-SCFI-2001 determinación de sólidos y NOM-001-SEMARNAT-1996 límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. La caracterización demostró que la temperatura del agua residual liberada del decantador fue de 71.75°C, pH 4.67, sólidos sedimentables 450 mL/L, sólidos 16.71 mg/L, grasas y aceites 15,906.2 mg/L, materia flotante ausente y DBO₅ 9,888.56 mg/L, tabla 5.

Tabla 5. Análisis físico-químicos del decantador.

Parámetros	Decantador
Temperatura (°C)	71.75±0.94
pH	4.67±0.41
Sólidos sedimentables (mL/L)	450±2
Sólidos (mg/L)	16.71±0.16
Grasas y aceites(mg/L)	15,906.2±0.20
Materia flotante	Ausente
DBO ₅ (mg/L)	9,888.56±0.28

N.A= No aplicable

b) Características físico-químicas del agua residual en la laguna de oxidación.

Se analizaron las características físico-químicas del agua residual en la laguna de oxidación empleando las diferentes técnicas de las normas oficiales mexicanas utilizadas en el primer objetivo. La caracterización demostró que la temperatura del agua residual en la laguna de oxidación fue de 44°C, pH 3.88, sólidos sedimentables 350 mg/L, sólidos 19.23 mg/L, grasas y aceites 14,118.8 mg/L, materia flotante ausente y DBO₅ 7,586.2 mg/L, tabla 6.

Tabla 6. Análisis físico-químicos de la laguna de oxidación.

Parámetros	Laguna de oxidación
Temperatura (°C)	44±0.70
pH	3.88±0.33
Sólidos sedimentables (mg/L)	350±1
Sólidos (mg/L)	19.23±0.96
Grasas y aceites(mg/L)	14,118.8±0.30
Materia flotante	N.A
DBO ₅ (mg/L)	7,586.2±1.3

N.A= No aplicable

c) Comparación de las características del agua residual generada en el decantador y laguna de oxidación con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para explicar mejor este fenómeno se presenta la relación que existe entre temperatura, pH y sólidos de cada uno de los efluentes de agua residual con respecto a la NOM-01-SEMARNAT-1996, los niveles de pH y sólidos están dentro de los límites permisibles establecidos en la NOM-01-SEMARNAT-1996, los niveles de temperatura presentaron un incremento en el decantador, el pH del agua es alterado por el aumento de temperatura ya que, las moléculas tienden a separarse en sus elementos: hidrógeno y oxígeno.

Se compararon las características del agua residual generada en el decantador y laguna de oxidación con la NOM-001-SEMARNAT-1996. La comparación demostró una diferencia significativa de grasas y aceites 15,881.2 mg/L y DBO₅ 9,888.56 mg/L en el decantador para

laguna de oxidación se obtuvo grasas y aceites 14,093.8 mg/L y DBO₅ 7,436.2 mg/L, con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996, tabla 7.

Tabla 7. Comparación de las características físico-químicas evaluadas.

Parámetros	Decantador	Laguna de oxidación	NOM-001-SEMARNAT-1996 (L)
Temperatura (°C)	71.75±0.94	44±0.70	40
pH	4.67±0.41	3.88±0.33	6-9
Sólidos sedimentables (mL/L)	450±2.00	350±1.00	1-2
Sólidos (mg/L)	16.71±0.16	19.23±0.96	75-125
Grasas y aceites(mg/L)	15,906.2±0.20	14,118.8±0.30	15-25
Materia flotante	N.A	N.A	N.A
DBO ₅ (mg/L)	9,888.56±0.28	7,586.2±1.3	75-150

N.A= No aplicable

Los resultados de las características físico-químicas del agua residual liberada del decantador difieren con lo reportado por Pérez (2015), es decir, los valores en las características físico-químicas fueron mayores en 2.43% para la temperatura, 98.23% en grasas y aceites, 68.97% para DBO₅ y 6.6% menor en pH respecto a los valores obtenidos en esta investigación, cabe mencionar que la comparación que hizo Pérez (2015) fue en una industria que no cuenta con decantador lo cual influye en los resultados físico-químicos, por la falta de separación de lodos grasas y aceites presentes en el agua residual.

Los resultados de las características físico-químicas del agua residual en la laguna de oxidación difieren con lo reportado por Pérez (2015), es decir, los valores en las características físico-químicas fueron menores en 37.14% en temperatura, 22.4% pH, 98.43% grasa y aceites, y 76.206% en DBO₅, respecto a los valores obtenidos en esta investigación, cabe mencionar que la comparación se hizo con una laguna de oxidación que no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento y sin geomembrana. Martínez *et al.*, (2011) obtuvo resultados de temperatura de 31°C promedio; 3.25°C superior al promedio (27.75°C) de la temperatura de los cuerpos de

agua receptores. La temperatura del efluente de la laguna de oxidación sobrepasa 13°C, por lo tanto, no se encuentra dentro del rango establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Se observó la relación que existe entre grasas y aceites y demanda bioquímica de oxígeno de cada uno de los efluentes de agua residual ya que los niveles de grasas y aceites sobrepasan los límites permisibles establecidos en la NOM-01-SEMARNAT-1996 de igual forma que la demanda bioquímica de oxígeno. Las plantas extractoras cuentan con un problema en común reducir la carga orgánica del agua residual y recuperar el aceite, lo que implica pérdidas económicas y daños al ambiente.

Martínez *et al.*, (2011) obtuvo en sus resultados 200 y 400 mg/L para DBO₅ y DQO, respectivamente. Grasas y aceites, en el afluente al sistema de tratamiento la remoción es superior al 94% obteniendo en el efluente valores inferiores a 20 mg/L. Esto quiere decir que los resultados obtenidos de DBO₅ son mayores a los descritos con una diferencia de 9,688.56 mg/L para el decantador y para laguna de oxidación 7,386.2 respectivamente en el caso de grasas y aceite se documentó 15,906.2 mg/L para decantador y en el caso de la laguna de oxidación 14,118.8 mg/L con diferencia significativa, cabe mencionar que el autor trabajo con un tratamiento de remoción con valores inferiores a 20 mg/L.

CONCLUSIONES

- a. Las características físico-químicas del agua residual liberadas en el decantador del proceso de extracción de aceite de palma africana es deficiente, ya que sobrepasa los límites permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 por lo cual, se consideran inadecuadas para ser liberadas al medio ambiente.

- b. Las características físico-químicas del agua residual en la laguna de oxidación del proceso de extracción de aceite de palma africana, ocasionan un efecto negativo al momento de ser liberadas al medio ambiente, ya que no cumplen con los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo tanto, presentan características inadecuadas para su liberación. Las lagunas de oxidación no son eficientes debido a que la reducción de los valores de los parámetros evaluados con respecto al decantador es significativa.

- c. Los parámetros de aguas residuales generadas en el decantador y laguna de oxidación con los parámetros establecidos con la NOM-001-SEMARNAT-1996, son inadecuados y de acuerdo con la hipótesis planteada las aguas residuales generadas durante el proceso de extracción de aceite de palma africana en la industria aceitera PAPSA de C.V. sobrepasan el límite que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, provocando serios daños al medio ambiente

RECOMENDACIONES

Es muy importante que exista una buena fase de operación y mantenimiento, alternativas de separación de los residuos sólidos con modificaciones menores en el proceso para reducir así el problema de contaminación del ambiente, el cual consiste en el aprovechamiento total del efluente y un monitoreo adecuado en las lagunas de oxidación y para ser liberadas al medio ambiente apegarse a la NOM-001-SEMARNAT-1996. Implementar un tratamiento de aguas residuales de origen industrial el cual incluye el mecanismo y proceso usado para tratar aguas residuales que han sido contaminadas por algún medio por actividades de origen industrial o comercial y luego son liberadas al medio ambiente o reutilizados.

GLOSARIO

Agua residual: efluentes líquidos acuosos provenientes como desecho de la actividad urbana, industrial, ganadera o agrícola que se caracterizan por haber perdido en el proceso alguna de sus características de calidad principalmente debido a la adición de sustancias disueltas o en suspensión o de agentes biológicos.

Carga orgánica: concentración del contaminante (expresado como DQO O DBO_5) multiplicada por el caudal aplicado.

DBO_5 : demanda bioquímica de oxígeno. Es una prueba es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable.

Decantador: el decantador separador de 3 fases es una centrífuga en que se separan dos líquidos de distinta densidad. Al mismo tiempo, también se separan y se descargan los sólidos.

DQO: demanda química de oxígeno. Esta prueba es una medida de oxígeno requerido y equivalente a la materia orgánica que puede oxidarse en presencia de un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido.

Efluente: agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.

Geomembrana: es la lámina impermeable hecha a partir de diferentes resinas plásticas, su presentación es en rollos y viene en diferentes espesores, cada material sintético tiene cualidades físicas y químicas distintas que hacen la diferencia para cada geomembrana.

Laguna de oxidación: es un proceso abierto en el cual el agua pasa a través de una cuenca, construida especialmente para tratar aguas residuales y residuos industriales biodegradables por procesos naturales que implican bacterias y algas.

pH: es el potencial de hidrógeno, determina la presencia de acidez o alcalinidad del agua.

Sólidos Sedimentables: sólidos suspendidos que se asientan en el agua, aguas negras, u otro líquido en reposo, en el periodo razonable.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Acuña, Ángel. 2000.** Proceso de extracción de aceite de palma africana mediante el desgranado del fruto fresco. Industrias Acuña LTDA. INAL, 2000.
- Arrellano Díaz, Javier. 2002.** Introducción a la ingeniería ambiental. México: 2002, pág. 51.
- Arrieta, Jorge. 2006.** Evaluación del arranque, operación y seguimiento del sistema de tratamiento biológico de efluentes residuales de la empresa palmas oleaginosas de casacará (cesar) palmacará LTDA. Bucaramanga: 24 de febrero de 2006. págs. 28-29.
- Barba Ho, Luz Edith. 2002.** Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Santiago de Cali: 2002. pág. 26.
- Bonomie, María y Reyes, María. 2012.** Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. Venezuela: 2012. Vol. 14, 3, págs. 330-331.
- Brugés Nivia, Carlos, y otros. 2000.** Evaluación económica de sistemas de tratamientos de efluentes para una planta extractora de aceite de palma. Bogotá: 2000. Vol. 21, especial, pág. 257.
- CENIPALMA. 1996.** Manejo de efluentes de plantas extractoras. Bogotá D.C: Centro de investigación en palma de aceite, 1996.
- Cerón Correa, Cidney Renán. 2011.** Posibles beneficios económicos del manejo ambientalmente responsable de los subproductos sólidos que se originan en el proceso de extracción de aceite rojo de palma africana (*Elaeis guineensis*). Quito, Ecuador: julio de 2011. pág. 47.
- Chavez Nava, Irving Albino, y otros. 2007.** Importación del aceite de palma. México: agosto de 2007. pág. 8.
- Chinchilla, Elizabeth. 2004.** Estudio del proceso de trabajo y operaciones, perfil de riesgos y exigencias laborales en el cultivo e industrialización de la palma de aceite. Noviembre de 2004. pág. 11.
- Cortes, Camilo A., y otros. 2006.** Respuestas de palmas de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora. Colombia: PALMAS, octubre de 2006. Vol. 27, 3.
- FAO. 2013.** Agroindustrias para el desarrollo. Roma: FAO FIAT PANIS, 2013. págs. 32-33. 978- 92-5-307413-6.
- García Nuñez, Jesus Alberto. 1996.** Manejo de efluentes de plantas extractoras. Santafé de Bogotá: marzo de 1996. pág. 7.

Gómez, Gilda. 1999. Evaluación del tratamiento de desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma africana . (Ingeniera Química). Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala facultad de ingeniería, 1999. pág. 7.

Hernández Sampieri, Roberto, Fernandez collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2010. Metodología de la investigación. [ed.] Jesus mares chacon. Metodología de la investigación. Quinta edición: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2010, págs. 80-81.

Madriz Paladio, Maura. 2011. Impacto ambiental y social a causa del cultivo de palma africana y la extracción de aceite vegetal en la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS). Nicaragua: Libby Canales Barquero, diciembre de 2011. pág. 24.

Malacatus, Paul, Guerrero, Byron y Llerena, Gerardo. 2017. Generación de efluentes en el proceso de extracción de aceite crudo de palma en el Ecuador. Ecuador: Revista Científica Dominio de la Ciencia, 31 de Octubre de 2017. Vol. 3, 4, págs. 459-469. 2477-8818.

Martínez, Lina, Yáñez, Edgar y García, Jesús. 2011. Estudio de los efluentes líquidos de las plantas de beneficio, orientado al cumplimiento de normas ambientales nacionales. CENIPALMA, Junio de 2011. págs. 12-27.

Muñoz Cruz, Amílcar. 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Hidalgo: junio de 2008. págs. 28-30.

Murales, Arnoldo. 2011. Evaluación del efecto bioestimulante y nutricional de global organic con diferentes frecuencias de aplicación sobre el rendimiento del cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) y servicios prestados en finca sejú. (Ingeniero Agrónomo). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. pág. 16.

Narváez, Estefanía. 2015. Estudio sobre la recirculación de agua de producción utilizada para la extracción del aceite crudo de palma. (Ingeniera Ambiental). Quito: Universidad San Francisco de Quito Colegio de Ciencias e Ingeniería, 2015. pág. 6.

Ngan, Ma Ali. 2000. Innovaciones en el manejo del efluente de las plantas extractoras de aceite de palma. PALMAS, mayo de 2000. Vol. 21, 2, págs. 41-49.

NMX-AA-003-1980 Muestreo. págs. 3-6.

NMX-AA-004-SCFI-2013 Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-005-SCFI-2000 Determinación de grasas y aceites.

NMX-AA-006-SCFI-2010 Determinación de materia flotante.

NMX-AA-007-SCFI-2000 Determinación de Temperatura. pág. 2.

NMX-AA-028-SCFI-2001 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.

NMX-AA-034-SCFI-2001 Determinación de sólidos.

NOM-001-SEMARNAT-1996 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Noyola, Adalberto, Morgan, Juan y Güereca, Leonor. 2013. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Primera. México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2013. 978-607-02-4822-1.

Pérez, Adi. 2015. Caracterización de aguas residuales de la industria aceitera chiapaneca y sus efectos al suelo. (Ingeniero en Producción de alimentos Pesqueros). Acapetahua, Chiapas: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, 2015. pág. 6.

Preciado Angulo, William y Arroyo Caicedo, Jimy Fernando. 2007. Aprovechamiento de subproductos de la industria extractora de aceite de palma africana para la obtención de un alimento balanceado para animales. Guayaquil, Ecuador. 2007. pág. 15.

Ramos Alvaríño, Claridad, y otros. 2003. Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos. Cuba. 22 de diciembre de 2003. Vol. 36, 1, págs. 39-44.

Reinosa, Doris. 2009. Costos ambientales en el proceso de extracción del aceite de palma. Maracaibo, Venezuela: Revista Venezolana de Gerencia, 2009. Vol. 14, 46, págs. 227-247.

Rigola, Miguel. 1990. Tratamiento de aguas industriales. MARCOMBO, S.A., 1990. pág. 32.

Rodier, J. 1998. Análisis de las aguas. [trad.] Santiago Balagué Dolz. Barcelona : Dunod de París, 1998. págs. 820-822. Vol. 243.

Rodríguez-Fernández, Antonio, y otros. 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid. 2006. pág. 17.

Ronquillo Narváez, Mayra Patricia. 2012. Etiología de la pudrición del cogollo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el ecuador. Ecuador. 2012. pág. 5.

Sánchez, Óscar, y otros. 2007. Perpectivas sobre conservacion de ecosistemas acuáticos en México. San Nicolas de Hidalgo, Michoacán, México. 2007. pág. 124.

- Sánchez, Rebeca, y otros. 2009.** El manejo de efluentes en la industria de agroalimentos en Venezuela. Venezuela. Febrero de 2009. Vol. 34, 2, págs. 91-99.
- Saval, Susana. 2012.** Aprovechamiento de residuos agroindustriales pasado, presente y futuro. México, D. F: 2012. Vol. 16, 2, págs. 15-16.
- TECHNOSERVE. 2009.** Manual técnico de palma africana. San pedro Sula, Cortes. Abril de 2009. pág. 14.
- Torres Vaca, Juan Gabriel. 2006.** Evaluación de la influencia de plantaciones adultas sobre cultivos jóvenes en la calidad de conformación de racimos en el híbrido cirad de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Quinindé. Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. 2006. págs. 20-21.
- Truong, Paul y Thai, Luu. 2015.** El sistema vetiver para mejorar la calidad del agua prevención y tratamientos de aguas y suelos contaminados. 2. Australia: La Red Internacional de Vetiver, 2015. pág. 49.
- Velásquez y A, Gómez. 2008.** "Palma de aceite africana" en Palma africana en Tabasco: Resultados de Investigación. Tabasco, México: Colección José Rivorosa, Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo, 2008. págs. 13-21.
- Virto, Iñigo, y otros. 2007.** Riego con aguas residuales de la industria agroalimentaria y calidad del suelo en el Valle del Ebro en Navarra, España. México: julio-septiembre de 2007. Vol. 25, 3, págs. 239-250.
- Zambrano, Paola Daniela Radríguez. 2011.** Aislamiento e identificación de cepas microbianas como potenciales agentes para biorremediación de efluentes en una planta extractora de palma aceitera. Ecuador. 2011. pág. 27.
- Zaror Zaror, Claudio Alfredo. 2000.** Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. Chile. 2000, pág. 119.
- Zúñiga, Moisés. 2017.** La palma africana, una de las principales amenazas para la selva Lacandona, advierten investigadores. San Cristobal de Las Casas, Chiapas: ANIMAL POLITIC, 2017.