

**Identificación de una alternativa tecnológica para
la adecuación del sistema de tratamiento de aguas
residuales de la planta Extractora San Fernando
S.A.**

LAURA XIMENA RAMIREZ ORTIZ

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO
AMBIENTE
MANIZALES
2018**

**Identificación de una alternativa tecnológica para
la adecuación del sistema de tratamiento de aguas
residuales de la planta Extractora San Fernando
S.A.**

**Proyecto para optar al título de Magister en
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, del
estudiante:**

LAURA XIMENA RAMIREZ ORTIZ

Directora:

GLORIA MARÍA RESTREPO FRANCO Ph.D.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO
AMBIENTE
MANIZALES
2018**

Acta de calificación

Identificación de una alternativa tecnológica para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta Extractora San Fernando S.A.

LAURA XIMENA RAMIREZ ORTIZ

**Tesis para optar el título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Nota de aceptación Jurado:

Jurado 1

Jurado 2

Agradecimientos.

A Dios, por darme la fé, la fortaleza y paciencia para no desistir en momentos de dificultad durante este proceso y mostrarme siempre el camino a seguir.

A mis padres y hermano, por apoyarme siempre en los objetivos que me propongo y darme palabras de aliento para lograr mis metas, creer en mí y ser parte de este proceso de aprendizaje conmigo.

A mi novio por su constante apoyo durante este proceso, su fe en mí, nunca dejarme desfallecer en los obstáculos y siempre estar en la adversidad y en la victoria.

A la Extractora San Fernando S.A, por permitir el desarrollo del trabajo y la colaboración en el suministro de la información.

A mi asesora Gloria María Restrepo Franco por la paciencia, dedicación y constancia para el desarrollo de este trabajo.

A los expertos Juan C. Espinosa y Álvaro Cajigas por hacer parte de este proyecto.

Tabla de contenido

Lista de tablas	1
Resumen.....	2
Abstract	2
1. Planteamiento del problema	3
1.1. Pregunta de investigación	4
2. Justificación	5
3. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. Referente teórico y antecedentes	7
4.1. Antecedentes.....	7
4.2. Vertimientos.....	8
4.2.1. Vertimientos generados en el sector palmero.....	9
4.2.2. Normatividad.....	10
4.3. Sistema de tratamiento de agua residual en plantas de beneficio	13
4.3.1. Monitoreos	16
4.3.2. Toma de muestras	16
4.4. Lineamientos para el rediseño de un sistema	18
5. Materiales y métodos.....	19
5.1. Análisis de la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A., en los últimos 4 años.....	19

5.2. Revisión del estado de las investigaciones a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana	19
5.3. Generación de los lineamientos para un rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente	20
6. Resultados y Discusión.....	21
6.1. Análisis de la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A., en los últimos 4 años.....	21
6.2. Revisión del estado de la investigación a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana	29
6.3. Generación de los lineamientos para un rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente.....	36
7. Conclusiones	38
8. Recomendaciones	39
9. Bibliografía.....	40
10. Anexos	49

Lista de tablas

Tabla 1. Valores promedio nacional de las características fisicoquímicas más representativas de los vertimientos del sector palmero.	9
Tabla 2. Valores admisibles del agua para la descarga según el Decreto 1594 de 1974.	11
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de la actividad productiva de agroindustria.....	12
Tabla 4. Análisis de los parámetros evaluados, entre el 2013 y 2016.	21
Tabla 5. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor <i>Oil Palm</i>	29
Tabla 6. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor POME	31
Tabla 7. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor MEMBRANE.....	31
Tabla 8. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor ANAEROBIC DIGESTION.....	32
Tabla 9. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor TREATMENT TECHNOLOGIES.....	33

Resumen

La presente investigación se basó en la identificación de una alternativa tecnológica para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta extractora San Fernando S.A, específicamente para mitigar los impactos y problemas generados por los vertimientos de la extracción de aceite de palma, con la finalidad cumplir con la normatividad ambiental vigente, reducción de costos de tratamiento y mitigación de impactos a los recursos naturales. Para el desarrollo del proyecto primero se evaluó el estado actual de los efluentes teniendo en cuenta los parámetros: pH, temperatura, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y grasas y aceites. Posteriormente, se identificó el estado actual de las investigaciones de otras tecnologías diferentes a las convencionales (lagunas de oxidación) y finalmente se generaron los lineamientos para un rediseño del sistema que permita mitigar toda la problemática alrededor de los vertimientos de la extracción de aceite de palma africana. Los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros de entrada y salida al sistema, mostraron una baja biodegradabilidad en el sistema de tratamiento de aguas residuales. Mediante la t pareada se identificó que el parámetro que no presentó diferencias significativas fue la DBO₅. De acuerdo con la indagación realizada las tecnologías de tratamiento más utilizadas aún siguen siendo las anaeróbicas. Sin embargo, se están utilizando metodologías combinadas como absorción-coagulación para obtener mayores eficiencias. Finalmente los lineamientos para el rediseño del sistema de tratamiento son los mínimos para realizar el rediseño junto con la alternativa de la combinación de tecnología existente y la coagulación.

Palabras clave: Vertimientos; Aceite de Palma; Membrana; Digestión Anaeróbica; Tecnologías de Tratamiento.

Abstract

The present investigation was based on the identification of a technological alternative for the adequacy of the wastewater treatment system of the San Fernando SA extracting plant, specifically to mitigate the impacts and problems generated by the oil palm extraction discharges, with The purpose is to comply with current environmental regulations, reduction of treatment costs and mitigation of impacts on natural resources. For the development of the project, the current status of the effluents was first evaluated taking into account the parameters: pH, temperature, Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Chemical Oxygen Demand (COD) and fats and oils. . Subsequently, the current state of the investigations of other technologies different from the conventional ones was identified (oxidation lagoons) and finally the guidelines for a redesign of the system were generated to mitigate all the problems surrounding the dumping of palm oil extraction. African Given as low biodegradability results in the wastewater treatment system and in the paired t, the parameter that did not present a significant difference was BOD5, the most used treatment technologies still remain anaerobic, but combined methodologies are being used as absorption- coagulation for greater efficiencies, the guidelines for the redesign of the treatment system are the minimum to carry out the redesign together with the alternative of the combination of existing technology and coagulation.

Keywords: POME; Palm oil; Membrane; Anaerobic digestion; Treatment technologies.

1. Planteamiento del problema

La empresa Extractora San Fernando S.A., se encuentra localizada en el municipio de Sabana de Torres, departamento de Santander; su actividad principal se basa en la extracción de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*), con una capacidad instalada para el procesamiento de 20 toneladas/hora. La planta se fundó en el año 2006 y tiene operaciones desde 2007.

En la extractora se generan residuos, relacionados con la actividad productiva, entre los que se encuentran los efluentes o vertimientos provenientes del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI), donde por cada tonelada de fruto procesado se generan aproximadamente $0,6\text{m}^3$ de efluentes. De enero a octubre del año 2017 la planta de beneficio produjo cerca de 63.460m^3 de efluentes, los cuales requieren de tratamiento, manejo y disposición; los efluentes no han sido calculados en términos económicos, como apoyo para realizar un análisis de alternativas adecuadas en el tratamiento de los vertimientos.

La fuente abastecedora y receptora de la compañía, es el Caño Aceite María, que en época de lluvia puede llegar a manejar un caudal promedio de 35L/s. En este sentido la autoridad ambiental competente, ha autorizado a la empresa un caudal de descarga de 3,5L/s. Los vertimientos deben cumplir la normatividad ambiental vigente, que al momento es la Resolución 631 de 2015, donde se establecen unos límites permisibles para cada actividad productiva; en lo referente a la extractora, la actividad está catalogada como extracción de aceite vegetal, con el análisis de 26 parámetros. Sin embargo, por razones como: el aumento de los proveedores de fruto y las limitantes del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, ya no se cumple con las expectativas y necesidades para el desarrollo de la actividad productiva de la empresa. Por lo anteriormente expuesto, la extractora en algunos de los parámetros no ha podido alcanzar los valores límites permisibles, lo cual conlleva a multas, sanciones y demás procesos administrativos y conflictos con la comunidad por posibles olores ofensivos.

De acuerdo con lo anterior, surgió la necesidad de evaluar el estado actual de los vertimientos de la Extractora, con el fin de proponer los lineamientos base para un rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales que supla las necesidades físicas, normativas, ambientales y económicas que tiene la empresa.

1.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es la alternativa tecnológica de mayor potencial para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta extractora San Fernando S.A. que permita cumplir con la normativa ambiental vigente?

2. Justificación

Con este trabajo de investigación se pretende evaluar el sistema actual de los efluentes producidos en la planta Extractora San Fernando S.A. Se espera inicialmente suministrar la información relacionada con los costos del tratamiento, manejo, disposición actual de los efluentes, así como, el análisis de las diferentes alternativas metodológicas para el aprovechamiento de la biomasa líquida generada, lo cual es una oportunidad para la empresa de implementar procesos de producción con sostenibilidad y reducción de los impactos ambientales, tales como, la disminución de los Gases Efecto Invernadero (GEI) generados en la Extractora.

Igualmente se espera aportar a través de los lineamientos de rediseño, en la mitigación del impacto generado por las descargas realizadas a la fuente hídrica Caño Aceite María, para que los vertimientos cumplan los límites permisibles que establece la normatividad ambiental legal vigente en la Resolución 631 de 2015 y de esta manera lograr el mejoramiento de la calidad del agua de la fuente hídrica receptora; así mismo, se espera aportar en la conservación y preservación de los recursos naturales agua, aire y suelo, mejorar la percepción de la actividad productiva por parte de la comunidad, reduciendo los impactos sociales y contribuir en ser un modelo para las demás empresas de la zona dedicadas a la misma actividad productiva.

El desarrollo del trabajo suministrará información a la línea de investigación en Biosistemas Integrados de la Universidad de Manizales, para fortalecer el conocimiento en el tratamiento de aguas residuales y su manejo ambiental. Igualmente se fortalecerá la capacidad de la empresa en la formación de una magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, para contribuir en la cualificación de los procesos productivos y ambientales.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Identificar una alternativa tecnológica para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta Extractora San Fernando S.A.

3.2. Objetivos específicos

- Analizar la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A., en los últimos 5 años.
- Revisar el estado de las investigaciones a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana, que se puedan implementar en la planta Extractora.
- Generar los lineamientos para un rediseño y adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta Extractora San Fernando S.A., teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente.

4. Referente teórico y antecedentes

4.1. Antecedentes

Según (García, 1993), las semillas de palma de aceite que llegaron en primera instancia al país fueron sembradas en 1932. Transcurridos 13 años, en la zona bananera de Santa Marta, la *United Fruit Co.* tenía sembradas 100 hectáreas y la Compañía Frutera de Sevilla 172 ha. Luego en los 60's, iniciaron las primeras plantaciones de palma africana y la implementación de extractoras que podían alcanzar capacidades instaladas entre 350 – 700 KgRFF/h; ya en los años 70's empezaron a funcionar más extractoras en todo el territorio nacional, y en 1978 ya Colombia contaba con 25 plantas de beneficio de aceite de palma.

Actualmente, Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América, esta oleaginosa produce entre 6 a 10 veces más aceite de las demás, convirtiéndola en la más productiva del planeta. Paralelamente, nuestro país cuenta con 483.733 ha sembradas de palma, genera alrededor de 140.000 empleos y sus productos se extienden por todo el mundo en forma de pintura, cosméticos, aceites comestibles, biocombustibles entre otros (Fedepalma, 2016).

En el ámbito internacional, desde el siglo 14, se introdujo en el sudeste asiático la industria del aceite de palma, la cual se ha convertido en un producto agrícola importante, especialmente Malasia e Indonesia, han dominado este sector desde mediados de la década de 1960. En 2011, las plantaciones de aceite de palma produjeron más de 53 millones de toneladas métricas de aceite de palma en 16 millones de hectáreas y durante el último medio siglo, el aceite de palma ha tenido un desarrollo asombroso y constante en el mercado mundial. Se estima que en el período 2016-2020, la producción anual de aceite de palma de Malasia alcance 15,4ton. Actualmente hay 453 plantas operativas en Malasia y junto con Indonesia continúan siendo los mayores productores mundiales de aceite de palma, seguidos por Tailandia, que en 2010 ha sido operada por 12 refinerías de aceite de palma y más de 60 extractoras de aceite de palma y se prevé que estos números seguirán creciendo (Iskandar, Baharum, Anuar, & Othaman, 2018).

Sin embargo, a medida que las industrias de aceite de palma se expanden debido a la demanda del mercado mundial, se incrementó el escenario de descarga de desechos en la corriente de agua, el río y el desagüe. Aunque existen métodos como los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos que se utiliza para tratar estos desechos líquidos, aun así no puede cumplir con el estándar requerido por las autoridades ambientales de cada país. Estos métodos tienen deficiencias, como la necesidad de un área grande para operar y una retención prolongada. Además, pueden liberar CH₄ y CO₂ y este fenómeno causará un efecto invernadero (Iskandar, Baharum, Anuar, & Othaman, 2018).

Así mismo, las metodologías aplicadas internacionalmente, son las mismas convencionales de lagunas de oxidación; sin embargo, con la finalidad de entregar al cuerpo de agua el efluente en las mejores condiciones posibles para mitigar la afectación por las descargas, se han propuesto varios tipos de tratamiento entre ellos el desnatado simple, la evaporación, la adsorción, la coagulación, la biodegradación anaeróbica y aeróbicas. No obstante, solo unos pocos han sido utilizados a gran escala por su alta inversión y costos de mantenimiento frente al desempeño insatisfactorio de los sistemas. Actualmente, países como Malasia mayor productor de aceite de palma africana, revisa posibles aplicaciones a los efluentes de tecnologías de *biofilm* de lecho móvil y otras técnicas para el tratamiento de los efluentes o POME por sus siglas en inglés como la extracción con disolvente, la adsorción, la sedimentación químico-biológica, la coagulación - floculación y la tecnología de membranas (Abu Bakar, y otros, 2018).

4.2. Vertimientos

Los vertimientos se conocen como descargas finales a los cuerpos de agua, suelo o alcantarillado; de sustancias, elementos o compuestos contenidos en un medio líquido; pueden ser de tipo doméstico o no doméstico (comercial e industrial); los vertimientos pueden ser de tipo puntual, correspondientes a las descargas realizadas de un punto fijo directamente o a través de un ducto, del cual se puede conocer el punto exacto de la descarga (IDEAM, 2002).

También, están los vertimientos no puntuales que como su nombre lo indica no es posible determinar el punto exacto de la descarga a la fuente hídrica receptora y son los

provenientes de la aplicación de productos al suelo, tales como, fertilizantes, insecticidas u otro agroquímico y por medio de escorrentía.

4.2.1. Vertimientos generados en el sector palmero

El sector palmero es solo uno de los sectores que se dedica a la extracción de aceites vegetales, pues existen otros sectores que utilizan la soya o el girasol como materia prima.

El aceite de palma crudo manifiesta un color rojo anaranjado muy fuerte, por su alto contenido de carotenoides, el cual alcanza niveles entre 500-700 mg/L. Por lo tanto una de las características del vertimiento del gremio palmicultor es el color del efluente, el cual se torna marrón. La fijación de dicho color en el aceite crudo de palma incrementa con la acidificación (formación de ácidos grasos libres por oxidación) (Cenipalma, 2011). En la Tabla 1 se relacionan los promedios a nivel nacional, de las diferentes características fisicoquímicas del efluente para el sector palmero.

Tabla 1. Valores promedio nacional de las características fisicoquímicas más representativas de los vertimientos del sector palmero.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Promedios Vertimientos Sector palmero</i>
<i>pH</i>	Unidades de pH	7 – 7,9
<i>Temperatura</i>	°C	31
<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)</i>	mg/L	267 - 909
<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	mg/L	724 - 4536
<i>Sólidos Suspendidos Totales</i>	mg/L	964
<i>Sólidos Sedimentables</i>	mg/L	1,15
<i>Grasas y aceites</i>	mg/L	<20
<i>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</i>	mg/L	2,99
<i>Fenoles Totales</i>	mg/L	0,915
<i>Nitrógeno Total</i>	mg/L	270

Fuente: Cenipalma 2011.

4.2.2. Normatividad

Los estándares normativos permiten de manera armónica, la correcta administración de todos los servicios que brinda el medio para el desarrollo del hombre, por ello la importancia de establecer normas que protejan los recursos naturales, pero que a su vez permitan el progreso de la humanidad; a continuación, se presenta la principal normatividad ambiental legal vigente en Colombia, que regula el manejo de vertimientos y los diferentes usos de las fuentes hídricas receptoras.

4.2.2.1. Decreto 2811 de 1974

Se refiere al Código Nacional de los Recursos Naturales, el cual establece que el ambiente es patrimonio común, donde el Estado y los particulares deben participar para su preservación y manejo. Define que los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social (Republica de Colombia, 1974).

4.2.2.2. Constitución Política de 1991

La Constitución Política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece, que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales de una manera sostenible. Además, se debe prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Colombia, Presidencia de la República, 1991).

4.2.2.3. Ley 99 de 1993

Esta ley fue expedida el 22 de diciembre de 1993, por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República, 1993).

4.2.2.4. Decreto 1594 de 1984

El presente decreto fue expedido el 26 de junio de 1984 por el Ministerio de Agricultura y Salud y fue derogado por el artículo 79 del decreto 3930 de 2010, a

excepción del artículo 20 que contiene el listado de sustancias que son consideradas de interés sanitario. También, el artículo 21 define que un usuario de interés sanitario es aquel en cuyos vertimientos se puede encontrar alguna de las sustancias listadas en el artículo anterior. En su artículo 72 se mencionan los parámetros que debe cumplir todo vertimiento a cuerpo de agua sea de referencia Usuario Nuevo o Usuario Existente. (Congreso de la República de Colombia, 1984). En la Tabla 2, se definen los valores admisibles de ciertos parámetros del agua según el uso del recurso.

Tabla 2. Valores admisibles del agua para la descarga según el Decreto 1594 de 1974.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Usuario Existente</i>	<i>Usuario Nuevo</i>
<i>pH</i>	Unidades de pH	5,0 – 9,0	5,0 – 9,0
<i>Temperatura</i>	°C	<40	<40
<i>Material flotante</i>		Ausente	Ausente
<i>Grasas y aceites</i>	mg/L	Remoción >80% en carga	Remoción >80% en carga
<i>Sólidos Suspendidos (domésticos o industriales)</i>	mg/L	Remoción >50% en carga	Remoción >80% en carga
<i>Demanda bioquímica de oxígeno (desechos domésticos)</i>	mg/L	Remoción >30% en carga	Remoción >80% en carga
<i>Demanda bioquímica de oxígeno (desechos industriales)</i>		Remoción >20% en carga	Remoción >80% en carga
<i>Carga máxima permisible</i>	De acuerdo a lo establecido en los artículos 74 y 75 del Decreto 1594 de 1974		

Fuente: Decreto 1594 de 1984, Art.72.

4.2.2.5. Decreto 3930 de 2010

Reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979 y fue expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial el 25 de octubre de 2010, el cual establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos a fuentes hídricas, al suelo y a los alcantarillados. En su capítulo VII, dispone todos los parámetros de la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento (Congreso de la República de Colombia, 2010).

4.2.2.6. Resolución 631 de 2015

Reglamenta el artículo 28 del decreto 3930 de 2010 y fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 17 de marzo de 2015. El objeto principal

de esta normatividad es reducir y controlar la descarga de sustancias contaminantes que se realizan en cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado público, mediante límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales. Para el caso de la actividad de la planta Extractora San Fernando S.A., los 26 parámetros establecidos en el Capítulo VI, Artículo 9, Sector de Agroindustria, Extracción de Aceites de Origen Vegetal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En la Tabla 3 se presentan los límites máximos permisibles de descarga para la Extractora San Fernando S.A.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de la actividad productiva de agroindustria.

Parámetro	Unidades	Extracción de aceites de origen vegetal
<i>Generales</i>		
pH	unidades de pH	6,00 A 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	1500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	600
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	400
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
<i>Hidrocarburos</i>		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00
<i>Compuestos de Fósforo</i>		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Fósforo Total	mg/L	Análisis y reporte
<i>Compuestos de Nitrógeno</i>		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte
<i>Iones</i>		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	500,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	500
<i>Metales y Metaloides</i>		
Arsénico (As)	mg/L	0,50

Parámetro	Unidades	Extracción de aceites de origen vegetal
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Níquel (Ni)	mg/L	0,50
Plomo (Pb)	mg/L	0,20
<i>Otros Parámetros para Análisis y Reporte</i>		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda : 436nm, 525nm y 60nm)	m-1	Análisis y reporte

Fuente: Resolución 631 de 2015. Art.9

4.2.2.7. Decreto 1076 de 2015

Fue expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 26 de mayo de 2015, y es por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde se compila toda la normatividad ambiental vigente en Colombia (Congreso de la República, 2015).

4.3. Sistema de tratamiento de agua residual en plantas de beneficio

Según el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma, 2011), los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la mayoría de plantas extractoras de aceite de palma africana a nivel nacional, incluyen el tratamiento con lagunas de oxidación. Estas generalmente se componen de un preliminar que pueden ser unos florentinos o rejillas, seguido de un sistema de laguna equalizadora, lagunas anaerobias y finalmente lagunas facultativas; este sistema tradicional alcanza eficiencias superiores al 80% como lo estipulaba, el Decreto 1594 de 1984. Sin embargo, con este método para la nueva normatividad, no alcanza a cumplir con todos los parámetros establecidos en la Resolución 631 de 2015.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento de la Extractora San Fernando S.A., está conformado por tres sistemas (Extractora San Fernando S.A. 2018).

El sistema preliminar o pre-tratamiento, el cual está compuesto por una serie de dispositivos que permiten mantener u optimizar el sistema primario y en general todo el funcionamiento de la STAR, estos dispositivos son rejillas en tamiz de lodos, tanques recuperadores de aceite residual, arenas, mejoramiento de pH, hasta llegar en mejores condiciones a la laguna de equalización, pasando por una gran laguna de enfriamiento y estabilización entre otros. Al mismo tiempo, la extractora está implementando un sistema de Decanter (como su nombre lo indica es un decantador dinámico) en su Clarificación después de las Deslodadoras o Centrifugas tipo Storck (son las que retiran todo el aceite que puedan llevar los Efluentes, de una forma dinámica por centrifugación o separación por densidades y luego ese aceite es recirculado hacia el sistema de Clarificación para ser recuperado en su totalidad). Este Decanter recibe todo el efluente que va de salida de la planta de procesamiento a la STAR y mediante la rotación de un Bowl horizontal a 1.400 rpm, hace la separación de los líquidos y los sólidos contenidos en el agua, bajando la carga orgánica del efluente en un 30% aproximadamente de una forma continua o dinámica, entregando un líquido de mejores condiciones para tratar en la STAR, que permite operar durante el tiempo que se esté procesando en Planta. Este nuevo sistema tiene como fin mejorar la calidad del efluente primario estabilizándolo, y haciéndolo de mayor digestibilidad, que hace más eficiente el uso de las Lagunas existentes y a su vez recuperar los sólidos que son fuente de nutrientes como suplemento alimenticio a la dieta de Bovinos o como fertilizante orgánico, aportando una balanceada mezcla de minerales que reemplazan parcialmente la fertilización Química y a su vez mejora la estructura de los suelos, como se menciona anteriormente (Extractora San Fernando S.A. 2018).

El sistema primario, es el área de primer grado en la remoción de la materia orgánica. Su composición varía de acuerdo a la capacidad de la planta y al estimativo en el rendimiento de la COV. En este caso, se realizaron dos lagunas anaerobias cuyo funcionamiento se establece en flujo paralelo, es decir, distribuyendo el vertimiento en dos partes equivalentes al volumen de cada laguna. Se estima que las lagunas anaerobias remuevan el 90% de la materia orgánica remanente. De la misma forma, el sistema anaerobio también se diseñó con un sistema mejorado de entrada y salida hidráulicas del flujo y con un mecanismo de espina de pescado en el fondo para la extracción con mangueras de lodos o biomasa generada en el proceso de metanogénesis. Igualmente, el sistema primario cuenta con paredes deflectoras que permiten retener los sólidos

sedimentables y en suspensión, evitando su paso al sistema secundario (Extractora San Fernando S.A. 2018).

Finalmente, el sistema secundario es una zona para el mejoramiento del efluente en cuanto su color y apariencia, sin embargo, debido a que la altura de la lámina de agua es menor a 2 metros, se presenta la entrada de luz solar, generando fotosíntesis en la zona superficial del licor, esto provoca una formación de macropartículas de oxígeno, las cuales son el sustrato para algas sobrenadantes que permiten remover un excedente de materia orgánica, debido a este metabolismo que ocurre en las lagunas son llamadas facultativas. En la zona de fondo de estas lagunas se presentan también una remoción de la materia orgánica remanente ya que existe actividad biológica de microorganismos ligados a la metanogénesis. Este sistema descrito está compuesto por dos lagunas facultativas en serie (Extractora San Fernando S.A. 2018).

Así mismo, en la Figura 1 se encuentra el plano general del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta Extractora San Fernando S.A., el cual cuenta con una piscina inicial ecualizadora, que distribuye el flujo a dos piscinas anaeróbicas ubicadas en paralelo y finalmente a dos facultativas ubicadas en línea.

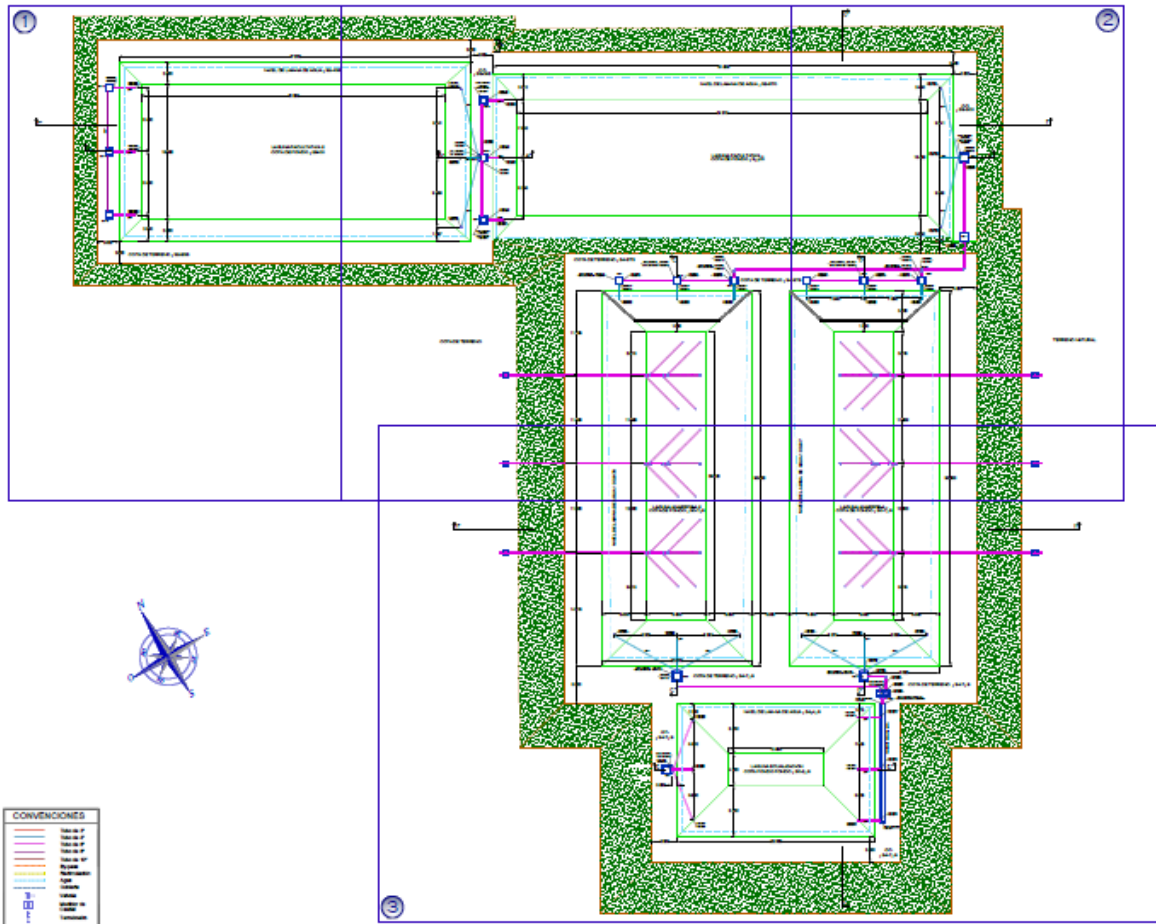


Figura 1. Plano General del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Extractora San Fernando S.A.

Fuente: Extractora San Fernando S.A.

4.3.1. Monitoreos

Un programa de monitoreo, hace referencia a la logística empleada para la toma de muestra y el análisis de las mismas; existen una serie de factores y criterios que deben considerarse para el monitoreo ya sea de vertimientos, cuerpos de agua superficial y/o subterráneas; así mismo, los términos de referencia a emplear para el monitoreo comúnmente se toman los procedimientos establecidos por el IDEAM.

4.3.2. Toma de muestras

Al momento de ejecutar un muestreo es importante conocer los requerimientos y cuidados que se deben tener en cuenta para las mediciones de los parámetros en campo o en *in-situ* y los parámetros *ex-situ*. Los requerimientos para la toma de muestras

incluyen contar con el personal capacitado y los equipos y materiales para poder llevar a cabo el procedimiento. La medición de los caudales, puede ser realizada por diferentes métodos, como el volumétrico, del vertedero, molinete o micromolinete, siendo el primero el más común; así mismo, se recomienda exceder el volumen de muestra requerida en un 20%, con el fin de suplir posibles pérdidas o derrames en la manipulación (IDEAM, 2002).

4.3.2.1. *Parámetros in-situ*

La medición de parámetros en campo (pH, conductividad, y temperatura) se realiza generalmente mediante equipos portátiles como: pH-metros y conductímetro. Estos parámetros deberán ser tomados de las muestras puntuales dado que la representatividad de éstos, se pierde si se toman de muestras compuestas o integradas (IDEAM, 2002).

4.3.2.2. *Procedimiento técnico de muestreo:*

En caso de que la muestra sea compuesta o integrada, se sugiere mantener los recipientes de las diferentes muestras puntuales, ubicados a la sombra y tapados para evitar alteraciones en las características de la muestra por elementos extraños (IDEAM, 2002).

- Muestras Puntuales: Se podrán obtener a través de la utilización de un muestreador si es para agua superficial y subterránea, o de un balde para aguas superficiales y vertimientos.
- Muestras compuestas: Este tipo de muestras se compone tomando y mezclando en un mismo recipiente un volumen (alícuota) de muestra que se calcula de la siguiente forma (IDEAM, 2007):

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

Donde:

V_i = Volumen de cada alícuota o porción de muestra

V = Volumen total a componer

Q_i = Caudal instantáneo de cada muestra

Q_p = Caudal promedio durante el muestreo

n = Número de muestras tomadas

4.4. Lineamientos para el rediseño de un sistema

La palabra lineamiento proveniente del término latino (*laneamentum*). Un lineamiento es una tendencia, una dirección o un rasgo característico de algo o un conjunto de órdenes o directrices (Pérez, 2008). También, son directrices de carácter específico o políticas adjuntas a tema específico (Presidencia de la República de Colombia, s.f.) o un rasgo característico de algo (Real Academia Española, s.f.). El IDEAM (2012), identifica los lineamientos como el contenido de pautas que determinan los estándares que se deben aplicar para el desarrollo de estudios.

En lo referente al ámbito ingenieril, hace referencia a las características mínimas, del sistema de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de que cumplan con el objetivo para el que son diseñados, así mismo, estos establecen la metodología de cálculo, especificaciones y características generales que debe cumplir un STAR; también son de referencia de tipo técnico para los encargados de la instalación, adecuación y/o modificación de los elementos que integran el sistema (CONAGUA, 2016). Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales-MARN de El Salvador (2014), son los criterios técnicos para un diseño y sirven como instrumento para facilitar los procedimientos de gestión.

5. Materiales y métodos

5.1. Análisis de la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A., en los últimos 4 años

Los datos analizados fueron los arrojados en los monitoreos de caracterización de los vertimientos de planta extractora San Fernando, comprendidos entre los años 2013 a 2016. Los monitoreos y la obtención de los datos de los parámetros evaluados, fueron realizados por un laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para este caso el Laboratorio encargado de generar los resultados fue el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga (UPB). Los parámetros analizados fueron: pH, Temperatura de la muestra, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Fenoles, Sólidos Sedimentables, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Grasas y Aceites. La toma de las muestras fue realizada bajo los protocolos establecidos por el IDEAM.

Los datos fueron tabulados y luego analizados con el fin de inferir el comportamiento de los vertimientos a la entrada y a la salida de la planta de beneficio, para lo cual se realizó una T pareada utilizando el *software* R (versión 3.5.1); igualmente se determinó el cumplimiento de la normatividad ambiental.

5.2. Revisión del estado de las investigaciones a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana

Las bases de datos utilizadas en la revisión del estado de la investigación acerca de las metodologías empleadas a nivel nacional e internacional, respecto al manejo de vertimientos en la extracción de aceite de palma, fueron: *Science Direct* y *Scopus*. Igualmente se emplearon buscadores como Google Académico y estudios de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). Se utilizaron diferentes descriptores para la búsqueda bibliográfica tanto en español como en inglés; los descriptores en español para la búsqueda fueron: vertimientos; aceite de palma; membrana; digestión anaeróbica; tecnologías de tratamiento y en inglés POME; *palm oil*;

membrane; anaerobic digestion; treatment technologies. La consulta comprendió los últimos 5 años. El análisis de la información, se realizó en matrices, en las cuales se relacionaron las metodologías con sus ventajas y desventajas. Con lo anterior se identificaron los posibles tratamientos que se podrían implementar en la planta extractora.

5.3. Generación de los lineamientos para un rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente

La generación de lineamientos para la propuesta del rediseño del sistema, se realizó a través de: (i) la identificación de los aspectos indispensables a tener en cuenta en el rediseño, (ii) la definición de la directriz, (iii) la justificación del por qué debía ser tenido en cuenta el lineamiento, (iv) la estimación de las consecuencias que se desencadenarían en caso de que no se tuviera en cuenta dicho lineamiento en el diseño.

Luego se realizó una discusión acerca de los lineamientos identificados, con dos profesionales: uno en hidráulica y sistemas de tratamiento y otro como líder ambiental de FEDEPALMA, con la finalidad de: (i) analizar los lineamientos propuestos, (ii) definir los lineamientos que realmente eran requeridos para ser incluidos en la propuesta y (iii) descartar los lineamientos que no aporten al sistema. Así mismo, se identificó la alternativa tecnológica para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales más viable para la compañía.

6. Resultados y Discusión

6.1. Análisis de la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A., en los últimos 4 años

Los resultados de los análisis realizados a los efluentes de entrada y salida al sistema de tratamiento, se analizaron mediante una t pareada (Tabla 4), en la cual se identificó la existencia de diferencias significativas en los valores de los parámetros: caudal, DQO, fenoles, grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, temperatura de la muestra, en todos los semestres de los años evaluados.

Los parámetros que no presentaron diferencias correspondieron a la DBO₅, en los semestres 2013-2, 2014-1, 2014-2, 2015-1; pH en el primer semestre del 2015; grasas y aceites en el segundo semestre de 2016, temperatura de la muestra en el semestre 2015-1 y fenoles en el primer semestre de 2013.

Tabla 4. Análisis de los parámetros evaluados, entre el 2013 y 2016.

Año- semestre	Parámetro	Promedio valor entrada	Promedio valor salida	Valor p
2013-1	Caudal	2,2±0,57	0,4±0,2	1,991e-05
	DBO ₅	19409 ± 5034	245,0±7,8	0,01804
	DQO	144000±150791	1395±113,5	0,02224
	Fenoles	1,9±0,09	0,2±0,0	0,2431*
	Grasas y aceites	2907±348	24,1±6,1	0,0008669
	pH	4,6±0,06	7,9±0,1	0,004827
	Sólidos Sedimentables	674,5±218,7	0,2±0,2	1,27e-06
	Sólidos Suspendidos Totales	24132±9447	492,3±114,4	0,03334
	Temperatura muestra	40,6±1,40	30,0±3,2	0,004329
2013-2	Caudal	2±0,71	1,7±0,7	0,01664
	DBO ₅	19207±2186	85,4±15,8	0,6208*
	DQO	57120±1280	757,3±26,5	0,004329
	Fenoles	1,4±0,3	0,1±0,0	0,0001709

<i>Año- semestre</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Promedio valor entrada</i>	<i>Promedio valor salida</i>	<i>Valor p</i>
2014-1	Grasas y aceites	2922,7±259,4	12,8±0,0	0,01392
	pH	4,5±0,1	8,1±0,1	0,002638
	Sólidos Sedimentables	739,2±116,2	0,1±0,0	3,845e-05
	Sólidos Suspendidos Totales	27057±2438	130,0±104,9	0,008137
	Temperatura muestra	35,7±1,6	29,4±3,0	0,002681
	Caudal	2,2±0,7	1,3±1,2	0,04533
	DBO ₅	17261±2088	245,3±27,7	0,3647*
	DQO	65741± 5473	1843±119,9	0,004975
	Fenoles	1,3±0,2	0,1±0,0	0,002427
	Grasas y aceites	12062±2160	166,0±33,5	0,01202
2014-2	pH	4,5±0,1	7,8±0,1	0,0108
	Sólidos Sedimentables	832,3±30,4	0,3±0,3	7,522e-06
	Sólidos Suspendidos Totales	29333± 15681	491,7±32,2	0,0004426
	Temperatura muestra	42,3±3,4	30,3±2,9	0,08602*
	Caudal	2,6±0,7	3,2±0,0	0,009809
	DBO ₅	13872±1650	122,6±44,5	0,1419*
	DQO	49512±9103	794,0±0,0	0,002376
	Fenoles	2,3±0,6	0,1±0,0	0,005769
	Grasas y aceites	5263±1173	11,4±7,0	0,01233
	pH	4,6±0,0	8,2±0,0	0,008214
2015-1	Sólidos Sedimentables	693,0±142,8	0,1±0,0	
	Sólidos Suspendidos Totales	20986±771	53,1±8,8	0,007008
	Temperatura muestra	40,9±2,9	27,9±0,7	0,0002255
	Caudal	2,6±1,0	1,3±0,2	0,005852
	DBO ₅	12732±4100	76,0±8,5	0,1463*
	DQO	42411±10364	843,3±22,5	0,03326
	Fenoles	1,7±0,1	0,1±0,0	0,0201
	Grasas y aceites	348,7±268,7	1,1±0,5	0,001579

<i>Año- semestre</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Promedio valor entrada</i>	<i>Promedio valor salida</i>	<i>Valor p</i>
2015-2	pH	4,6±0,0	8,2±0,0	0,1544*
	Sólidos Sedimentables	697,7±254,9	0,1±0,0	7,142e-08
	Sólidos Suspendidos Totales	19255±8818	159,0±12,5	0,04175
	Temperatura muestra	47,9±5,3	29,3±1,5	0,0643
	Caudal	3,1±0,4	1,5±0,2	0,01985
	DBO ₅	17787±896	88,3±21,0	0,01166
	DQO	56274±3704	1238±57,5	0,0008482
	Fenoles	1,8±0,3	0,2±0,0	0,001503
	Grasas y aceites	372,3±137	3,1±1,6	0,01253
2016-1	pH	4,5±0,1	8,2±0,0	0,04318
	Sólidos Sedimentables	890,3±47,4	0,1±0,0	8,688e-05
	Sólidos Suspendidos Totales	35268±3099	133,0±35,8	0,000945
	Temperatura muestra	45,2±2,8	28,7±2,1	0,00258
	Caudal	2,4±0,1	1,0±0,4	0,001611
	DBO ₅	27039±3279	215,0±8,7	0,01676
	DQO	92365±17917	2806±1684	0,004945
	Fenoles	0,00005±0,0	0,0±0,0	0,0125
	Grasas y aceites	2846±600	20,3±0,0	
2016-2	pH	4,5±0,0	8,4±0,0	0,0147
	Sólidos Sedimentables	900±20,5	0,1±0,0	2,77e-07
	Sólidos Suspendidos Totales	46789±17437	317,3±91,4	0,0001732
	Temperatura muestra	51,9±1,4	30,3±1,6	0,04386
	Caudal	2,1±0,4	0,8±0,2	6,65e-05
	DBO ₅	18729±2095	135±33,0	0,01585
	DQO	65751±5824	1084±221	0,004196
	Fenoles	0,000211±0,0	0,0002±0,0	0,002661
	Grasas y aceites	2412±287	26,2±7,3	0,4192
	pH	4,7±0,1	8,5±0,0	0,004765

Año- semestre	Parámetro	Promedio valor entrada	Promedio valor salida	Valor p
	Sólidos Sedimentables	894,7±24,7	0,1±0,0	0,0001461
	Sólidos Suspendedos Totales	36493±7589	222,7±45,0	0,0002533
	Temperatura muestra	54,7±3,1	29,6±0,4	0,01428

*No hay diferencias significativas.
Fuente: Autor, (2018).

El comportamiento de los parámetros evaluados con respecto a la normatividad vigente se puede apreciar en las figuras de 1 a 6. Los resultados de las mediciones de pH y temperatura realizadas en campo a la salida del STARI, presentaron un promedio de 8,2 unidades de pH y 29,5°C, respectivamente; de acuerdo con lo anterior, se puede apreciar que ambos parámetros cumplen con la normatividad ambiental vigente de la normatividad ambiental colombiana la resolución 631 de 2015 (Figura 2 y Figura 3).

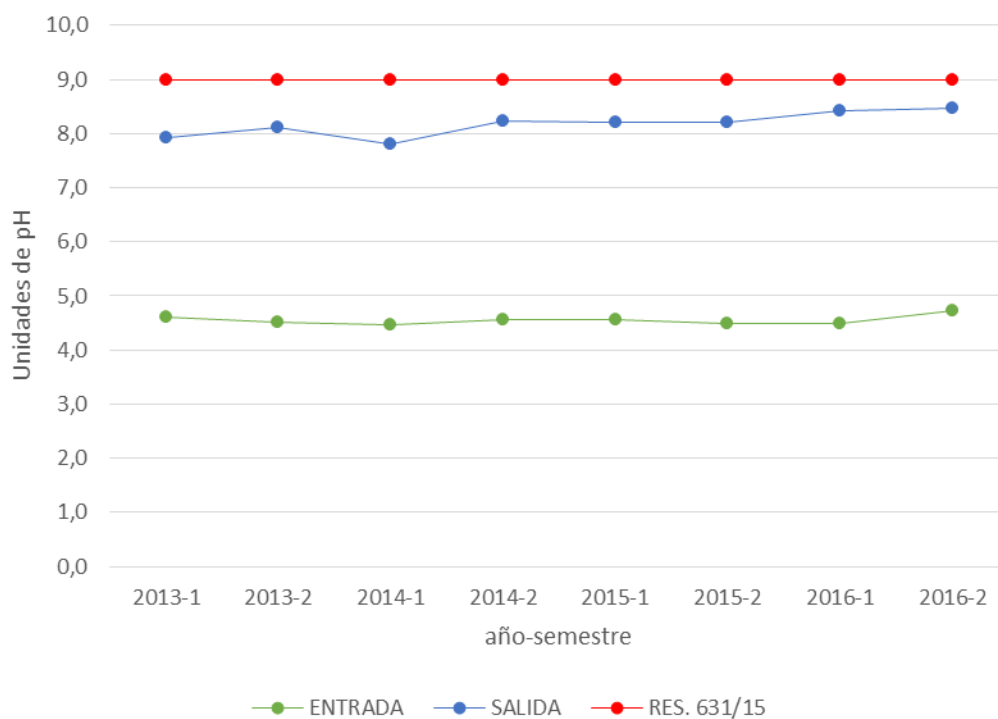


Figura 2. Comportamiento del pH en los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

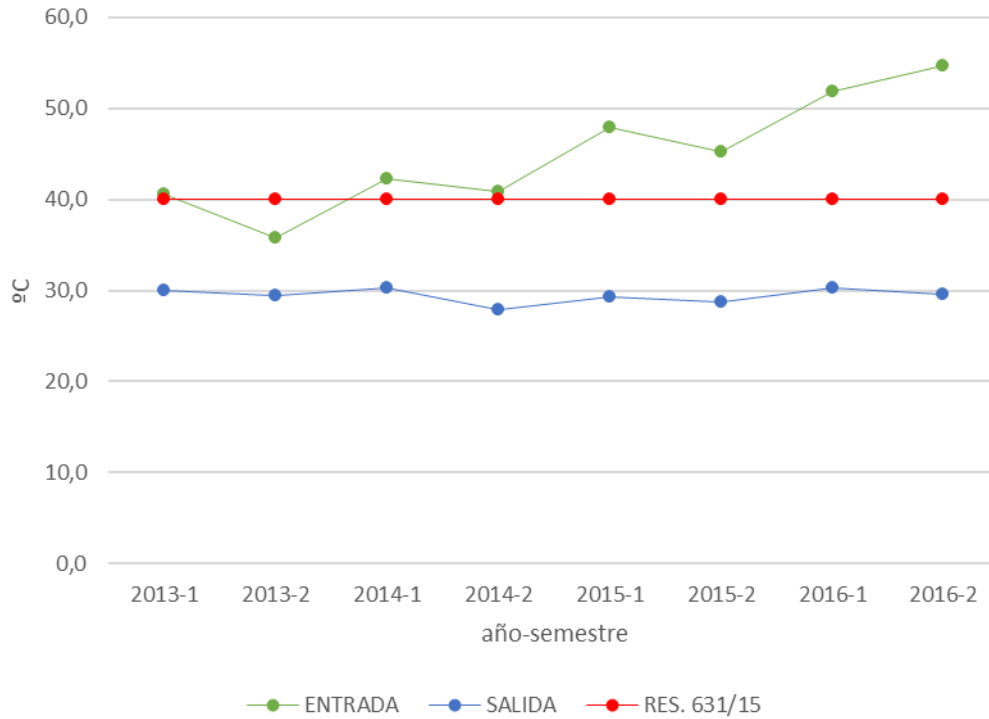


Figura 3. Evaluación de la temperatura en los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

La relación DBO_5/DQO es un índice de biodegradabilidad, cuando es superior a 0,5 indica que existe buena biodegradabilidad en el sistema, es decir que las bacterias están descomponiendo la materia orgánica y cuando es menor es indicio de 0,5 baja biodegradabilidad (Metcalf & Eddy, 2003). Lo ideal en un sistema de tratamiento de aguas residuales es que esa relación esté por encima de 0,6. Para la Extractora San Fernando S.A los resultados muestran que la biodegradabilidad del sistema de tratamiento está en un valor de 0,3 (ver Figura 4), indicando una biodegradabilidad del 30%. Puesto que la mayoría de los valores se encuentran por debajo de 0,5 se indica una baja biodegradabilidad, lo cual se puede atribuir a dos razones principalmente: (i) falta de microorganismos para degradar la materia orgánica o (ii) que las grasas y aceites no permiten el proceso de degradación, lo que conlleva al no cumplimiento de la normatividad ambiental y la descarga a la fuente hídrica receptora en condiciones no ideales, afectando la microfauna y provocando cambios en las características fisicoquímicas de la fuente.

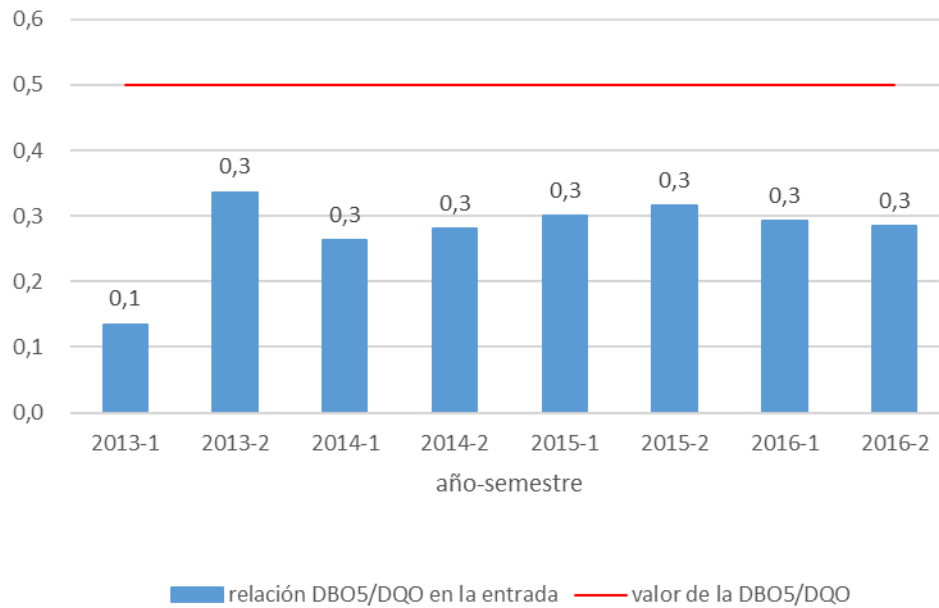


Figura 4. Relación DBO₅/DQO en los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

Para los sólidos suspendidos totales, los resultados presentan un valor promedio de 336,8 mg/L muy cerca del límite de la norma que es de 400 mg/L. Sin embargo, en los años 2013 y 2014, en el primer semestre se puede ver en la Figura 5 se sobrepasaron los valores máximos permisibles establecidos en la normatividad. Lo anterior se puede atribuir a que en el primer semestre de cada año, se da el pico de la cosecha y se podría decir que la planta no es eficiente y el sistema de tratamiento no tiene la capacidad para tratar el aumento de efluente.

En lo referente a las grasas y aceites, se obtuvo un valor promedio de 31,6 mg/L superando el límite de 20 mg/L establecido en la norma (Figura 6). En este aspecto la planta puede estar teniendo pérdidas en la extracción y falencias en el sistema para retener grasas y cuales los posibles efectos al medio ambiente están relacionados con el cambio en las características fisicoquímicas del agua, lo cual conlleva en ocasiones a que la microfauna y flora de la fuente se adapte o muera dependiendo de las nuevas características que adquiera la fuente de agua. De la misma manera, desplazamiento de

fauna que se abastezca de la fuente o problemas de salud pública si es usada por humanos.

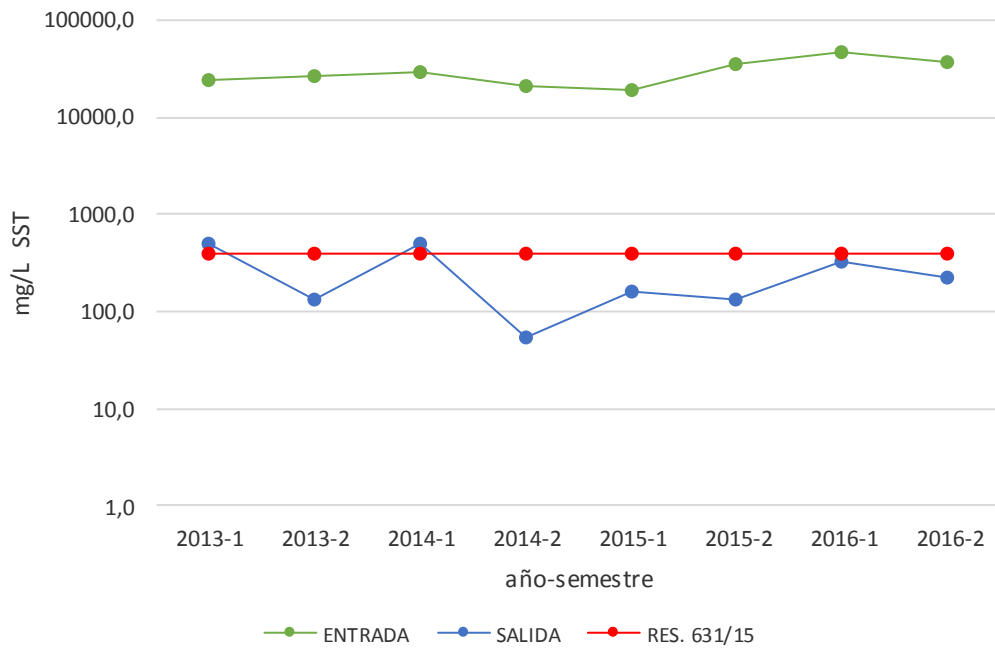


Figura 5. Sólidos Suspendidos Totales en los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

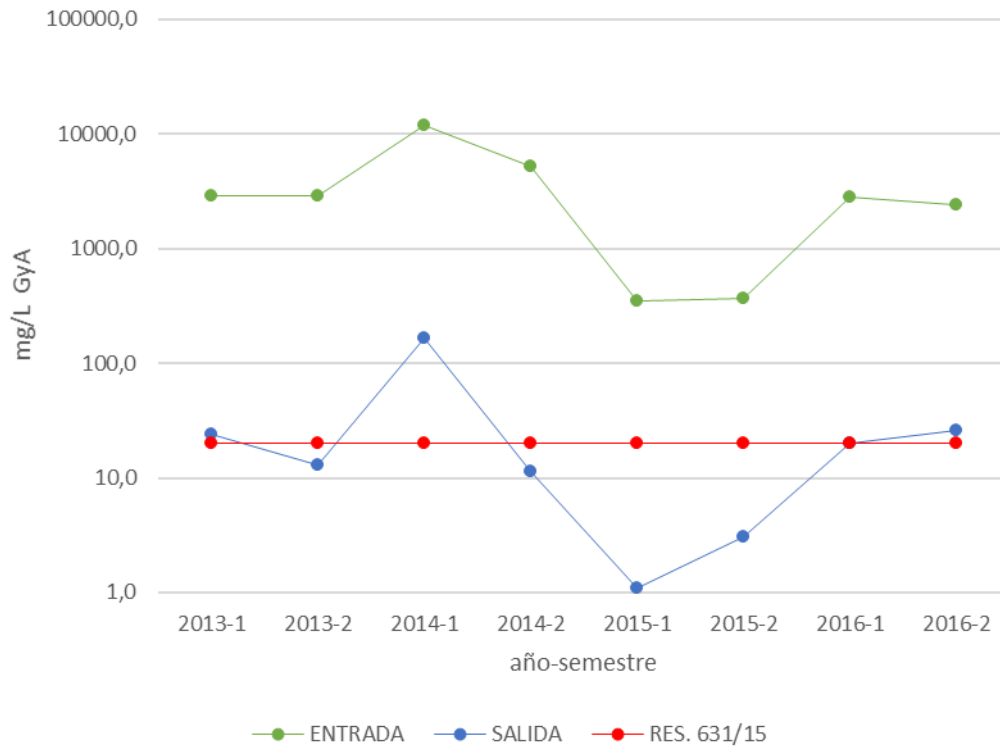


Figura 6. Concentración de grasas y aceites. En los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

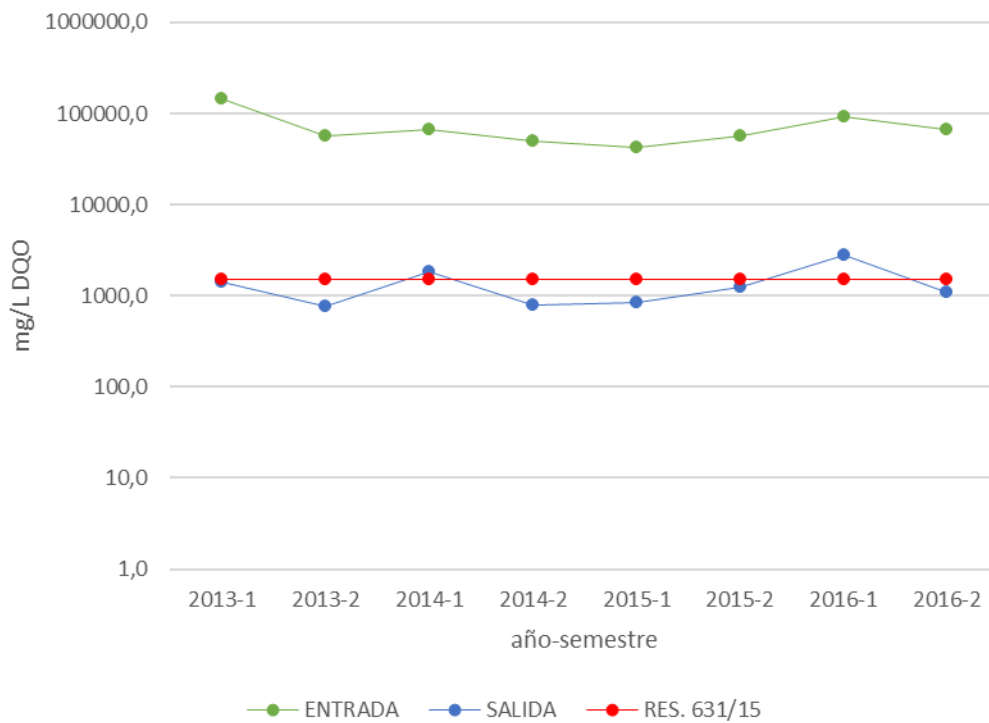


Figura 7. Demanda Química de Oxígeno. En los vertimientos de la extractora San Fernando S.A., generados entre 2013 y 2016. La línea de color rojo representa el valor máximo permisible en la normatividad ambiental vigente.

6.2. Revisión del estado de la investigación a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana

Luego del análisis realizado por medio de la matriz de relación entre descriptores, años y bases de datos, se obtuvieron un total de treinta y uno (31) artículos provenientes de la base de datos *Science Direct*, puesto que aunque se realizó la búsqueda en la base de datos Scopus y un rastreo por Google Académico, se encontró la misma información ya que *Science Direct* es una base de datos robusta que incluye a *Scopus*. En el caso de FEDEPALMA, la información encontrada está más relacionada con temas de bioenergía, biohidrógeno, biogás, biocombustibles y no en temas de tecnologías de tratamiento.

A continuación, en las Tabla 5, 7, 8, 9 y 10 se relaciona la información encontrada en la base de datos *Science Direct*, para cada uno de los cinco (5) descriptores utilizados. Las tablas contienen la información relevante del artículo, tal como: el año, el título con su respectiva cita bibliográfica, el tipo de tratamiento o tecnología, las ventajas y desventajas del tratamiento.

La Tabla 5 contiene la información relacionada con el descriptor de *Oil Palm*, para el cual se encontraron un total de diez artículos, de los cuales el 50% fueron en el 2014. Solo se presentan reportes de un artículo por año en el 2015, 2016 y 2018 y para el año 2017 dos artículos.

Tabla 5. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor *Oil Palm*.

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	Treatment of effluents from palm oil mill process to achieve river water quality for reuse as recycled water in a zero emission system (Othman, y otros, 2014)	Carbon activado y coagulación con polialuminio	Al usar este nuevo tratamiento propuesto, la DQO final y la SS del agua residual resultante del proceso del molino de aceite de palma fueron de 10 mg L ⁻¹ y 2 mg L ⁻¹ , respectivamente, que es mejor que la calidad del agua del río.	Carbón activado (AC), con una relación de 10 g AC por 1 L de aguas residuales (POME), seguido de coagulación usando una proporción de 0,6 g de cloruro de polialuminio por 1 L de POME tratado

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	Performance evaluation of a field-scale pilot bioreactor for anaerobic treatment of palm oil mill effluent (Shin, Pyeon, Son, Jeong, & Park, 2014)	Reactores anaerobicos	70% remoción de DQO	
2014	Investigation on micro-bubble flotation and coagulation for the treatment of anaerobically treated palm oil mill effluent (POME) (Poh, Ong, Lau, & Chong, 2014)	Microburbujas generadas a partir de un tubo de Venturi y la coagulación con cloruro de polialuminio (PAC)	Las microburbujas generadas del venturi son capaces de eliminar el 57,3% del total de sólidos suspendidos (SST) y el 74,5% de aceite y grasa (O & G). Se mejoró la demanda química de oxígeno (DQO) en un 53,7% y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en 77,0% con un tiempo de burbujeo de 12,5 min y un caudal de 19,8 L / min	Dosis de coagulante PAC y la dosificación óptima es de 2 g / L, lo que resulta en al menos un 93% de eliminación de DQO
2014	Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration Membrane Separation Technique Coupled with Adsorption Treatment as Pre-treatment (Azmi & Yunos, 2014)	Separación de membrana junto con el tratamiento de adsorción (pretratamiento)	71,26% del sólido suspendido	Costos
2014	Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent (POME) using banana peel as novel biosorbent (Mohammed & Chong, 2014)	Absorción	El porcentaje máximo de eliminación de color, TSS, DQO, DBO y tanino y lignina (95,96%, 100%, 100%, 97,41% y 76,74% respectivamente)	Costos Un pH optimizado de 2, tiempo de contacto de 30 h y dosis adsorbente de 30 g / 100 mL.
2015	An integrated method for palm oil mill effluent (POME) treatment for achieving zero liquid discharge – A pilot study (Tabassum, Zhang, & Zhang, 2015)	bioAX (anaeróbico)	Baja inversión de capital y bajo costo de operación en comparación con otros sistemas existentes y porcentaje de DBO de 80,76%	
2016	A novel hybrid approach of activated carbon and ultrasound cavitation for the intensification of palm oil mill effluent (POME) polishing (Parthasarathy, Mohammed, Fong, Gomes, & Manickam, 2016)	Adsorción de carbón activado (AC) y la cavitación por ultrasonidos (EE. UU.)	Se observó que una dosis de adsorción de 50 g / L daba como resultado 73,08% de DQO y 98,33% de absorciones de SST en 15 minutos de la irradiación de EE. UU.	Costos de los equipos de radiación y el carbón activado
2017	An Integrated Ultrasonic Membrane An aerobic System (IUMAS) for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment (Abdurahman, Azhari, & Nurdin, 2017)	Ultrasonidos y membrana	Eliminación de DQO fue de 91,6% a 98,5%	El tiempo de retención hidráulica, HRT de 400 a 9 días

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2017	Electro persulphate oxidation for polishing of biologically treated palm oil mill effluent (POME) (Bashir, Wei, Aun, & Abu Amr, 2017)	Electrooxidación	La eficiencia de tratamiento óptima lograda fue de 77,7% de DQO, 97,96% de color y 99,72% de SS.	Condiciones operativas óptimas con 45 mA / cm ² , el pH y el producto aplicar
2018	Electrode design for electrochemical cell to treat palm oil mill effluent by electrocoagulation process (Nasrullah, Singh, Krishnan, Sakinah, & Zularisam, 2018)	Proceso de electrocoagulación	Eficiencia de eliminación de 74, 70 y 66% para DQO, DBOy SS	Conseguir el material y la adecuación de los sistemas

Fuente: Autor, (2018).

Tabla 6. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor POME

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	Combined magnetic field and adsorption process for treatment of biologically treated palm oil mill effluent (POME) (Mohammed, Ketabchi, & McKay, 2014)	Campo magnético combinado y proceso de adsorción	Eliminación de color, TSS y DQO en un 39%, 61% y 46%, respectivamente.	20 g de adsorbente y el equilibrio se alcanzó a las 5 h
2015	Application of CCD in RSM to obtain optimize treatment of POME using Fenton oxidation process (Saeed, Azizli, Isa, & Bashir, 2015)	Procesos de Oxidación Avanzada Reactivo Fenton	Los resultados más altos fueron 97,36% de eliminación para el color y 91,11% de eliminación para la DQO a pH 3,5 y 30 minutos de tiempo de reacción	Mantener el pH
2015	Blocking mechanism of PES membrane during ultrafiltration of POME (Said, Ahmad, Mohammad, Nor, & Abdullah, 2015)	Ultrafiltración	Eliminaba más del 80% de los valores de DQO y SST	Las condiciones óptimas se encontraron en 5 bares, 40 ° C y pH de 9.05
2016	Dielectric Barrier Discharge Plasma Analysis and Application for Processing Palm Oil Mill Effluent (POME) (Nur, y otros, 2017)	Reactor de plasma de descarga de barrera dieléctrica (DBD)	En 60 minutos con un valor de demanda química de oxígeno (DQO) de 115,62 mg / L o aún el 18% se comparan con un valor inicial y de TSS de 1018 mg / L o un descanso del 85%.	Las condiciones del electrodo
2018	Reduction of POME final discharge residual using activated bioadsorbent from oil palm kernel shell (Zainal, y otros, 2018)	Bioadsorbente activado	Reducción de TSS, DQO, color y DBO hasta 90%, 68%, 97% y 83%, respectivamente	Tiempo de retención de 7 h

Fuente: Autor, (2018).

Tabla 7. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor MEMBRANE

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
-----	--------	-----------------------------------	----------	-------------

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2016	Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) using response surface methodology (Darajeh, y otros, 2014)	Fitorremediación (Sistema de Vetiver Flotante)	Una disminución extraordinaria en materia orgánica medida por BODY DQO (96% y 94% respectivamente) se registró durante la duración experimental de 4 semanas usando una densidad de 30 plantas Vetiver	La duración de las plantas
2017	Novel GO/OMWCNTs mixed-matrix membrane with enhanced antifouling property for palm oil mill effluent treatment (Ho, Teow, Ang, & Mohammad, 2017)	Membrana de matriz mixta	TDS, fósforo, dureza, DQO, cloro, turbidez, color y SST con un porcentaje máximo de rechazo de 1,51%, 6,55%, 21,79%, 75,5% , 76%, 81,94%, 86,3% y 100%, respectivamente aumentaba la hidrofiliidad de la membrana y formaba una barrera de frontera repulsiva que mejoraba las propiedades antiincrustantes.	
2018	A novel photocatalytic self-cleaning PES nanofiltration membrane incorporating triple metal-nonmetal doped TiO ₂ (K-B-N-TiO ₂) for post treatment of biologically treated palm oil mill effluent (Zangeneh, Zinatizadeh, Zinadini, Feyzi, & Bahnemann, 2018)	Membrana de nanofiltración	Eficiencias máximas de eliminación de flujo, tinte y DQO de permeación de aproximadamente 27 kg / m ² h, 98% y 90%, respectivamente	Matriz mixta de auto-limpieza novela KBN Triple dopado-TiO ₂ / PES membrana de nanofiltración
2018	Preparation and characterization of inexpensive kaolin hollow fibre membrane (KHFM) prepared using phase inversion/sintering technique for the efficient separation of real oily wastewater (Hubadillah, Othman, Rahman, Ismail, & Jaafar, 2018)	Inversión de fase / sinterización	Mayor rechazo de aceite de 99.99% de turbidez y carbono orgánico total (TOC), y 91.8% de la demanda química de oxígeno (DQO) con un alto flujo estable de 320 L / m ² h	Temperaturas desinertización que oscilan entre 1200 y 1500 ° C

Fuente: Autor, (2018).

Tabla 8. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor ANAEROBIC DIGESTION

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	COD removal from anaerobically treated palm oil mill effluent (AT-POME) via aerated heterogeneous Fenton process: Optimization study (Taha & Ibrahim, 2014)	Proceso de Fenton heterógeno Aireado	75% remoción DQO	La dosificación de compuestos 3,91 g / L de dosificación nZVI, 1,84 g / L de H ₂ O ₂ dosis, y 23,84l / h de aireación y 240min de tiempo de reacción
2014	Upflow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor for thermophilic palm oil mill effluent (POME) treatment (Poh & Chong, 2014)	Anaeróbico	El 88% de DQO y el 90% de DBO se eliminaron a una OLR de 28,12 g de DQO / L durante la puesta en marcha	Requirió HRT de 2 días y OLR de 27,65 g DQO / L.día para producir 60% de metano

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	Performance comparison between mesophilic and thermophilic anaerobic reactors for treatment of palm oil mill effluent (Jeong, Son, Pyon, & Park, 2014)	Reactores anaeróbicos mesófilos y termófilos	La eliminación total de DQO fue de 90-95% en ambas condiciones en el OLR de 15 kg [DQO] / m ³ / d.	Acondicionamiento de los reactores
2017	Direct hydrolysis of palm oil mill effluent by xylanase enzyme to enhance biogas production using two-steps thermophilic fermentation under non-sterile condition (Prasertsan, Khangkhachit, Mamimin, & O-Thong, 2017)	Fermentación termófila	La eliminación de COD de POME por hidrólisis de xilanas seguida de producción de biogás fue 78-89%	La condiciones a 50 ° C durante 12 h
2018	Disintegration of palm oil mill effluent organic solids by ultrasonication: Optimization by response surface methodology (Wong, Isa, & Bashir, 2018)	Ultrasonido	La solubilización óptima y SCOD fueron 16.91% y 33297 mg / L, respectivamente. bajo costo	La aplicación de la ultrasonificación
2018	Combinative treatment of phenol-rich retting-pond wastewater by a hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor and solar photofenton process (Sokkanathan, y otros, 2018)	Reactor de manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente híbrido y un proceso de fotofusión solar	El proceso combinado de HUASB y photofenton eliminó 97,5% y 98,4% de DQO y fenol	30 h de TRH

Fuente: Autor, 2018.

Tabla 9. Matriz de revisión del estado de la investigación descriptor TREATMENT TECHNOLOGIES

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2014	Role of H ₂ O ₂ in the fluctuating patterns of COD (chemical oxygen demand) during the treatment of palm oil mill effluent (POME) using pilot scale triple frequency ultrasound cavitation reactor (Manickam, y otros, 2014)	Reactor de cavitación por ultrasonidos de triple frecuencia	Una prometedor y fructífera técnica de ingeniería de procesos verdes para el tratamiento de POME. Una capacidad impresionante de más de 40,000 ppm de reducción neta concluye que la combinación de ultrasonido / H ₂ O ₂ (30% p / v) es adecuada para el tratamiento con POME cambio en el color de POME de marrón a amarillo	
2015	Fuzzy optimisation approach on the treatment of palm oil mill effluent (POME) via up-flow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor (Chan, Tan, How, Lee, & Lau, 2015)	Reactor de lecho asfáltico (UASB-HCPB) de lecho anaeróbico de flujo ascendente	Eliminación de (DQO) optimizada del 86,7% y metano volumétrico.tasa de producción de 0,448 LCH ₄ / L.día al tiempo de retención hidráulica (HRT) de 4,33 días	Se requieren más estudios para mejorar la confiabilidad de esta nueva técnica de optimización introducida en la industria del tratamiento de aguas residuales.

Año	Título	Tipo de tratamiento o metodología	Ventajas	Desventajas
2016	Photocatalytic treatment technology for palm oil mill effluent (POME) – A review (Alhaji, y otros, 2016)	Fotocatalítico	Técnica también es rentable y puede llevarse a cabo de manera eficiente en condiciones ambientales	Poca información reportada en la literatura sobre el proceso
2016	Performance evaluation of a hybrid system for efficient palm oil mill effluent treatment via an air-cathode, tubular upflow microbial fuel cell coupled with a granular activated carbon adsorption (Tee , y otros, 2016)	Adsorción de carbón activado granular	El híbrido reduce eficazmente los contaminantes COD, BOD, TOC, TS, turbidez, color y conductividad. Bajo costo	
2017	Photocatalytic restoration of liquid effluent from oil palm agroindustry in Malaysia using tungsten oxides catalyst (Cheng, Chang, Ng, Wu, & Cheng, 2017)	Restauración fotocatalítica	Degradación fotocatalítica del 84.70% y una decoloración fotocatalítica del 98,28%.	El tiempo de reacción óptimo fue de 16 h
2018	Comparative environmental impact evaluation of palm oil mill effluent treatment using a life cycle assessment approach: A case study based on composting and a combination for biogas technologies in North Sumatera of Indonesia (Nasution, Wibawa, Ahamed, & Noguchi, 2018)	Evaluación del ciclo de vida	La aplicación de COLT-Biogas A para el tratamiento con POME podría reducir aproximadamente el 77,65% de las emisiones de CO ₂	

Fuente: Autor, 2018

En la Figura 8, se puede apreciar el número de artículos encontrados por descriptor. En el descriptor *oil palm*, se encuentra la mayor cantidad de artículos (10), seguido de los descriptores *digestic anaerobic* y *treatment technologies* con seis (6) artículos cada uno. Finalmente para los descriptores *membrane* y *POME* se encontraron cinco (5) y cuatro (4) artículos respectivamente.

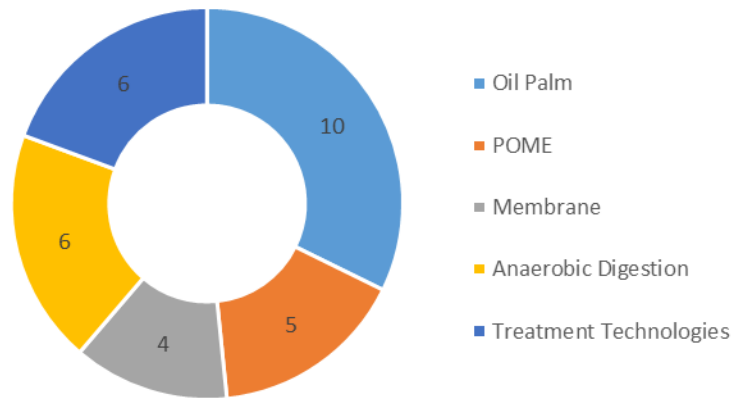


Figura 8. Número de artículos por descriptor.
Fuente: Autor, (2018).

La distribución de artículos por año de publicación se aprecia en la Figura 9. Los años con mayor número de artículos son 2014 y 2018, con diez (10) y siete (7) artículos respectivamente; seguidamente se encuentran los años 2016 y 2017 con la misma cantidad de artículos cinco (5) artículos cada uno y finalmente el año 2015 solo con cuatro (4).

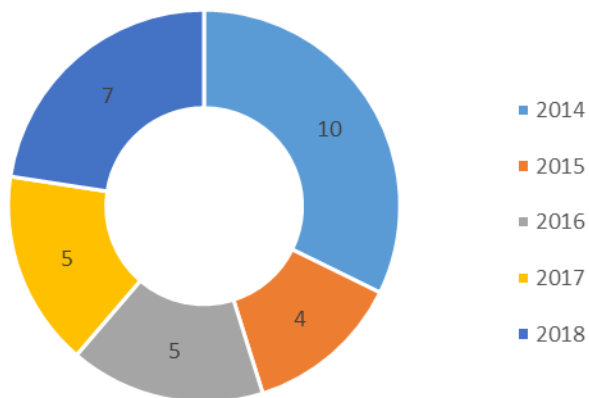


Figura 9. Número de artículos por año.
Fuente: Autor, 2018.

En las tecnologías de tratamiento empleadas se encontró que aún la de mayor frecuencia es la tecnología con tratamientos anaeróbicos con microorganismos como *Methanosarcina sp.* (ver Tabla 5, Tabla 8 y Tabla 9), seguido por las tecnologías de absorción (ver Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 9) y de membrana (ver Tabla 5 y Tabla 7). También se encontraron otras tecnologías aplicadas como son las de coagulación (ver Tabla 5) y nuevas tecnologías como las de ultrasonidos (ver Tabla 8 y Tabla 9), fotocatalíticas (ver Tabla 9) y electrocoagulación. Se resaltan tecnologías de carácter combinado, es decir, absorción-coagulación, anaeróbico-fotofusión solar, campo magnético-absorción, entre otros.

Las tecnologías de tratamiento con mayor porcentaje de remoción de DQO son las metodologías de membrana (98,5%) y anaeróbicas (91,11%) de remoción de DQO. Sin embargo, mantener las membranas limpias y las condiciones para las tecnologías anaeróbicas no es fácil, aunque los tiempos de contacto son cortos (solo de 30 minutos), la coagulación también maneja remoción del 93% de DQO, con una adición de coagulante de 2g/L de efluente.

6.3. Generación de los lineamientos para un rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente.

Los lineamientos mínimos para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales escogidos fueron área para el sistema de tratamiento, caudal a tratar, costos de operación, porcentaje de remoción, normatividad ambiental vigente, tecnología de tratamiento a implementar, tiempo de retención hidráulico (TRH), carga de diseño, fuente receptora de la descarga, operación del sistema de tratamiento, suelo, topografía, mantenimiento del sistema y análisis de aguas, para un total de 10 lineamientos.

Sin embargo, luego del debate con el experto Juan Carlos Espinosa, líder ambiental de la Federación Nacional se adicionó otro lineamiento que no se había contemplado y de gran importancia como es el lineamiento “plan de contingencia”; es decir, los lineamientos finales son 11 lineamientos necesarios y mínimos para el rediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

La matriz de los lineamientos seleccionados se encuentra en el Anexo V, donde se especifica la definición de la directriz con sus respectiva justificación y consecuencia de no ser tenida en cuenta, los resultados del análisis de la matriz de lineamientos y los objetivos uno y dos anteriores, conllevaron a la elección de combinar la tecnología ya existente con una tecnología de coagulación.

La propuesta de rediseño, seria antes de iniciar el sistema primario hacer una fase de coagulación para mejorar el funcionamiento del sistema primario y secundario.

7. Conclusiones

- La realización del análisis de la caracterización de los vertimientos de la planta Extractora San Fernando S.A, en los últimos 5 años, dio como resultado que los parámetros de grasas y aceites y sólidos suspendidos totales en algunos años y semestre superan la normatividad ambiental vigente. Adicionalmente, muestra la baja biodegradabilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales con tan solo un 30% y las diferencias significativas de los valores bajo el método estadístico de la t pareada de ocho de los nueve parámetros analizados siendo la DBO₅ el parámetro que menos presentó diferencias significativas lo que respalda el resultado de la biodegradabilidad.
- Con la revisión de las investigaciones a nivel nacional e internacional sobre las metodologías empleadas para el manejo de vertimientos producto de la extracción de aceite de palma africana, se encontraron tecnologías de absorción, coagulación, ultrasonificación, de membrana y las convencionales que son los sistemas anaeróbicos entre otras.
- La generación de los lineamientos para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta Extractora San Fernando S.A., indicó las directrices mínimas para que se pueda realizar el rediseño. Con la investigación de las tecnologías se definió que la mejor tecnología aplicable es la ya existente combinada con una tecnología de coagulación.

8. Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa Extractora San Fernando S.A., implementar un rediseño del sistema con los lineamientos expuestos en este trabajo de investigación, junto con tecnología existente combinada con una tecnología de coagulación que permita mejorar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales y de esta manera cumplir con la normatividad ambiental vigente.

9. Bibliografía

- Tee , P. -F., Abdullah, M., Tan, I. A., Amin, M. A., Nolasco-Hipólito, C., & Bujang, K. (September de 2016). Performance evaluation of a hybrid system for efficient palm oil mill effluent treatment via an air-cathode, tubular upflow microbial fuel cell coupled with a granular activated carbon adsorption. *Bioresource Technology*, 216, 478-485. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0960852416307714>
- Abdurahman, N. H., Azhari, H., & Nurdin, S. (October de 2017). An Integrated Ultrasonic Membrane An aerobic System (IUMAS) for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment. *Energy Procedia*, 138, 1017-1022. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1876610217350610>
- Abu Bakar, S., Abu Hasan, H., Mohammad, A., Sheikh Abdullah, S. R., Teow YeitHaan, Y. H., Ngteni, R., & Yusof, K. (10 de January de 2018). A review of moving-bed biofilm reactor technology for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1532-1545. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652617323934>
- Academia Online*. (s.f.). Obtenido de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/medicion-del-flujo-volumetrico>
- Alhaji, M. H., Sanallah, K., Lim, S.-F., Khan, A., Hipolito, C., Abdullah, M., . . . Jamil, T. (July de 2016). Photocatalytic treatment technology for palm oil mill effluent (POME) – A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 673-686. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0957582016300799>
- American Planning Association. (s.f.). *Fundamentos de Planificación de Sitios*. Obtenido de <https://www.planning.org/planificacion/2/1.htm>
- Azmi, N. S., & Yunos, K. (2014). Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration Membrane Separation Technique Coupled with Adsorption Treatment as Pre-treatment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 257-264. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2210784314000382>

- Bashir, M. J., Wei, C. J., Aun, N. C., & Abu Amr, S. (15 de May de 2017). Electro persulphate oxidation for polishing of biologically treated palm oil mill effluent (POME). *Journal of Environmental Management*, 193, 458-469. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0301479717301391>
- Cenipalma. (Junio de 2011). *Estudio de los efluentes líquidos de las plantas de beneficio, orientado al cumplimiento de las normas ambientales Nacionales*. Obtenido de <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Estudio%20efluentes%20liquidos%20Cenipalma.pdf>
- Chan, Y. J., Tan, W., How, B. S., Lee, J., & Lau, V. (April de 2015). Fuzzy optimisation approach on the treatment of palm oil mill effluent (POME) via up-flow anaerobic sludge blanket–hollow centered packed bed (UASB–HCPB) reactor. *Journal of Water Process Engineering*, 5, 112-117. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2214714415000070>
- Cheng, Y., Chang, Y., Ng, K. H., Wu, T., & Cheng, C. (20 de Septiembre de 2017). Photocatalytic restoration of liquid effluent from oil palm agroindustry in Malaysia using tungsten oxides catalyst. *Journal of Cleaner Production*, 162, 205-219. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652617311927>
- Colombia, Presidencia de la República. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Obtenido de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Documents/Constitucion-Politica-Colombia.pdf>
- CONAGUA. (Abril de 2016). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de Lineamientos Técnicos: sistema de tratamiento de aguas a nivel vivienda zona rural: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152777/LINEAMIENTOS_TRATAMIENTO_AGUAS_NIVEL_VIVIENDA.pdf
- Congreso de la República. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99*. Obtenido de Ministerio del Interior: https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/dacn_ley_99_de_1993_0.pdf
- Congreso de la República. (26 de Mayo de 2015). Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de

<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (26 de Junio de 1984). Decreto 1594 de 1984. Bogotá, Colombia. Obtenido de Diario Oficial 36700

Congreso de la República de Colombia. (25 de Octubre de 2010). Decreto 3930 de 2010. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de Diario Oficial 47837

Cruz Roja Colombiana. (2007). *Guía para la elaboración de planes de respuesta y contingencia*. Obtenido de http://web.cruzrojacolombiana.org/publicaciones/pdf/planes_de_respuesta_y_contingencia_1722011_044520.pdf

Darajeh, N., Idris, A., Fard Masoumi, H. R., Nourani, A., Truong, P., & Sairi, N. A. (1 de October de 2014). Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by *Chrysopogon zizanioides* (L.) using response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 181, 343-352. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0301479716304261>

FAO. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s06.htm>

Fedepalma. (Febrero de 2016). *Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite*. Obtenido de Infografía General: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Infografi%CC%81a%20General%20de%20COLOMBIA.pdf>

García, J. (Enero de 1993). Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. *Revista Palmas*, 14. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/408/408>

Ho, K. C., Teow, Y. H., Ang, W. L., & Mohammad, A. (28 de April de 2017). Novel GO/OMWCNTs mixed-matrix membrane with enhanced antifouling property for palm oil mill effluent treatment. *Separation and Purification Technology*, 117, 37-349. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1383586616321979>

- Hubadillah, S. K., Othman, M., Rahman, M. A., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (15 de May de 2018). Preparation and characterization of inexpensive kaolin hollow fibre membrane (KHFM) prepared using phase inversion/sintering technique for the efficient separation of real oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1878535218301072>
- IDEAM. (2002). *Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas*. Recuperado el 2017, de Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales De Colombia: file:///C:/Users/user/Downloads/guia_para_monitoreo_de_vertimientos.pdf
- IDEAM. (10 de Septiembre de 2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Instructivo para la toma de muestras de Aguas Residuales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- IDEAM. (2012). *Lineamientos metodológicos*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/lineamientos-metodologicos>
- Iskandar, M. J., Baharum, A., Anuar, F. H., & Othaman, R. (February de 2018). Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review. *Environmental Technology & Innovation*, 9, 169-185. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2352186417301694>
- Jeong, J. -Y., Son, S. -M., Pyon, J. -H., & Park, J. -Y. (August de 2014). Performance comparison between mesophilic and thermophilic anaerobic reactors for treatment of palm oil mill effluent. *Bioresource Technology*, 165, 122-128. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0960852414005021>
- Jeong, J. -Y., Son, S. -M., Pyon, J. -H., & Park, J. -Y. (August de 2014). Performance comparison between mesophilic and thermophilic anaerobic reactors for treatment of palm oil mill effluent. *Bioresource Technology*, 165, 122-128. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0960852414005021>
- Manickam, S., Zainal Abidin, N. b., Parthasarathy, S., Alzorqi, I., Ng, E., Tiong, T., . . . Ali, A. (July de 2014). Role of H₂O₂ in the fluctuating patterns of COD (chemical

- oxygen demand) during the treatment of palm oil mill effluent (POME) using pilot scale triple frequency ultrasound cavitation reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(4), 1519-1526. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1350417714000078>
- Metcalf, E., & Eddy, H. (2003). Constituents in Wastewater. En E. Metcalf, & H. Eddy, *Wastewater Treatment Plants* (págs. 96-97).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631 de 2015. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de Diario Oficial 49486
- Mohammed, R. R., & Chong, M. F. (January de 2014). Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent (POME) using banana peel as novel biosorbent. *Journal of Environmental Management*, 132, 237-249. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S030147971300724X>
- Mohammed, R. R., Ketabchi, M. R., & McKay, G. (1 de May de 2014). Combined magnetic field and adsorption process for treatment of biologically treated palm oil mill effluent (POME). *Chemical Engineering Journal*, 243, 31- 42. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1385894713016653>
- Mohammed, R., & Chong, M. F. (January de 2014). Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent (POME) using banana peel as novel biosorbent. *Journal of Environmental Management*, 132, 237-249. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S030147971300724X>
- Nasrullah, M., Singh, L., Krishnan, S., Sakinah, M., & Zularisam, A. (February de 2018). Electrode design for electrochemical cell to treat palm oil mill effluent by electrocoagulation process. *Environmental Technology & Innovation*, 9, 323-341. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2352186417301438>
- Nasution, M. A., Wibawa, D., Ahamed, T., & Noguchi, R. (20 de May de 2018). Comparative environmental impact evaluation of palm oil mill effluent treatment using a life cycle assessment approach: A case study based on composting and a combination for biogas technologies in North Sumatera of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 184, 1028-1040. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652618306371>

- Nur, M., Amelia, Y. A., Arianto, F., Kinandana, A. W., Zahar, I., Susan, A. I., & Wibawa, J. P. (2017). Dielectric Barrier Discharge Plasma Analysis and Application for Processing Palm Oil Mill Effluent (POME). *Procedia Engineering*, 170, 325-331. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1877705817311542>
- Othman, M. R., Hassan, M. A., Shirai, Y., Baharuddin, A. S., Ali, A., & Idris, J. (15 de March de 2014). Treatment of effluents from palm oil mill process to achieve river water quality for reuse as recycled water in a zero emission system. *Journal of Cleaner Production*, 67, 58-61. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652613008585>
- Parthasarathy, S., Mohammed, R. R., Fong, C. M., Gomes, R. L., & Manickam, S. (20 de January de 2016). A novel hybrid approach of activated carbon and ultrasound cavitation for the intensification of palm oil mill effluent (POME) polishing. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1218-1226. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652615007040>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2009). Obtenido de <https://definicion.de/area/>
- Pérez, J. (2008). *Definición de*. Obtenido de Que es un lineamiento: <https://definicion.de/lineamiento/>
- Poh, P. E., & Chong, M. (August de 2014). Upflow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor for thermophilic palm oil mill effluent (POME) treatment. *Biomass and Bioenergy*, 67, 231-242. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0961953414002566>
- Poh, P. E., Ong, W., Lau, E. V., & Chong, M. N. (June de 2014). Investigation on micro-bubble flotation and coagulation for the treatment of anaerobically treated palm oil mill effluent (POME). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(2), 1174-1181. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2213343714000918>
- Prasertsan, P., Khangkhachit, W., Mamimin, C., & O-Thong, S. (9 de November de 2017). Direct hydrolysis of palm oil mill effluent by xylanase enzyme to enhance biogas production using two-steps thermophilic fermentation under non-sterile condition.

- 42(45), 27759-27766. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0360319917320487>
- Presidencia de la República de Colombia. (s.f.). *Lineamientos*. Obtenido de <http://es.presidencia.gov.co/dapre/procedimientos-y-lineamientos/lineamientos-dapre>
- Real Academia de Ingeniería. (s.f.). *Carga Contaminante*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/carga-contaminante>
- Real Academia Española. (s.f.). *Lineamiento*. Obtenido de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=lineamiento>
- República de Colombia. (28 de Diciembre de 1974). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co//images/normativa/app/decretos/9d-dec_2811_1974%20\(2\).pdf](http://www.minambiente.gov.co//images/normativa/app/decretos/9d-dec_2811_1974%20(2).pdf)
- República de Colombia. (Noviembre de 2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Económico: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Saeed, M. O., Azizli, K., Isa, M. H., & Bashir, M. J. (December de 2015). Application of CCD in RSM to obtain optimize treatment of POME using Fenton oxidation process. *Journal of Water Process Engineering*, 8, e7-e16. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2214714414001251>
- Said, M., Ahmad, A., Mohammad, A. W., Nor, M., & Abdullah, S. (25 de January de 2015). Blocking mechanism of PES membrane during ultrafiltration of POME. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 182-188. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1226086X14001087>
- Servicio de Evaluación Ambiental. (s.f.). *Normatividad Ambiental Aplicable*. Obtenido de <http://www.sea.gob.cl/documentacion/permisos-autorizaciones-ambientales/normativa-ambiental-aplicable>

- Shin, J. -W., Pyeon, J. -H., Son, S. -M., Jeong, J. -Y., & Park, J. -Y. (November de 2014). Performance evaluation of a field-scale pilot bioreactor for anaerobic treatment of palm oil mill effluent. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95(Parte A), 89-92. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0964830514001401>
- SIAC. (s.f.). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de Suelo: <http://www.siac.gov.co/suelo>
- Sokkanathan, G., Sharmila, V., Kaliappan, S., RajeshBanu, J., Yeom, I., & Rani, R. (15 de January de 2018). Combinative treatment of phenol-rich retting-pond wastewater by a hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor and solar photofenton process. *Journal of Environmental Management*, 206, 999-1006. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0301479717311581>
- Tabassum, S., Zhang, Y., & Zhang, Z. (15 de May de 2015). An integrated method for palm oil mill effluent (POME) treatment for achieving zero liquid discharge – A pilot study. *Journal of Cleaner Production*, 95, 148-155. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652615001699>
- Taha, M. R., & Ibrahim, A. H. (April de 2014). COD removal from anaerobically treated palm oil mill effluent (AT-POME) via aerated heterogeneous Fenton process: Optimization study. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 8-16. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S2214714414000038>
- Wong, L. -P., Isa, M. H., & Bashir, M. (February de 2018). Disintegration of palm oil mill effluent organic solids by ultrasonication: Optimization by response surface methodology. *114*, 123-132. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0957582017304159>
- Zainal, N. H., Aziz, A. A., Idris, J., Jalani, N. F., Mamat, R., Ibrahim, M. F., . . . Abd-Aziz, S. (1 de May de 2018). Reduction of POME final discharge residual using activated bioadsorbent from oil palm kernel shell. *Journal of Cleaner Production*, 182, 830-837. Obtenido de <https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S0959652618304220>
- Zangeneh, H., Zinatizadeh, A. A., Zinadini, S., Feyzi, M., & Bahnemann, D. (June de 2018). A novel photocatalytic self-cleaning PES nanofiltration membrane

incorporating triple metal-nonmetal doped TiO₂ (K-B-N-TiO₂) for post treatment of biologically treated palm oil mill effluent. *Reactive and Functional Polymers*, 127, 139-152. Obtenido de

<https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2148/science/article/pii/S1381514818300221>

10. Anexos

Anexo I. Carta de Autorización de la empresa Extractora San Fernando S.A



Bucaramanga, Junio de 2018

Señores
UNIVERSIDAD DE MANIZALES
Facultad de Ciencias Contables, económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Cordial Saludo,

Yo FERNANDO HIGUERA DELGADO, identificado con CC 16.615.161 de CALI, en mi calidad de representante legal de la empresa EXTRACTORA SAN FERNANDO S.A., autorizo a LAURA XIMENA RAMIREZ ORTIZ, estudiante del programa MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE, de la Universidad de Manizales, a utilizar información confidencial de la empresa para el proyecto denominado Identificación de una alternativa tecnológica para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta Extractora San Fernando S.A. Como condiciones, el estudiante se obliga a (1) no divulgar ni usar para fines personales la información (documentos, expedientes, escritos, contratos, estados de cuenta y demás materiales) que, con objeto de la relación de trabajo, le fue suministrada; (2) no proporcionar a terceras personas, verbalmente o por escrito, directa o indirectamente, información alguna de las actividades y/o procesos de cualquier clase que fuesen observadas en la empresa durante la duración del proyecto y (3) no utilizar completa o parcialmente ninguno de los productos (documentos, metodología, procesos y demás) relacionados con el proyecto. El estudiante asume que toda información y el resultado del proyecto serán de uso exclusivamente académico.

El material suministrado por la empresa será la base para la construcción de un estudio de caso. La información y resultado que se obtenga del mismo darán como resultado la mejor alternativa para la problemática planteada.

Atentamente,

Nombre del Representante legal.
CC 16615161

Fábrica: Kilómetro 14 Cayumbita
Via La Fortuna - Sabana de Torres

Oficina: Centro Internacional de Negocios La Triada
Calle 34 No. 19 - 46 Oficina 505 N
Telefax 652 6600 Bucaramanga Colombia

Anexo II. Matriz de datos para la t pareada de 2013-1 a 2014-2

POSICIÓN	PARAMETRO	2013-1	2013-1	2013-1	PRO	DE	2013-2	2013-2	2013-2	PRO	DE	2014-1	2014-1	2014-1	PRO	DE	2014-2	2014-2	PRO	DE
E	PH	4,65	4,54	4,57	4,6	0,1	4,68	4,44	4,44	4,5	0,1	4,53	4,39	4,48	4,5	0,1	4,55	4,55	4,6	0,0
E	TMUESTRA	40,7	41,9	39,1	40,6	1,4	35,2	37,5	34,5	35,7	1,6	39	45,7	42,3	42,3	3,4	38,8	42,9	40,9	2,9
E	CAUDAL	1,62	2,76	2,23	2,2	0,6	1,269	2,692	1,951	2,0	0,7	1,37	2,5	2,69	2,2	0,7	3,07	2,11	2,6	0,7
E	DBO5	13883	23736	20609	19409	5035	21664	18482	17475	19207	2187	15026	19161	17597	17261	2088	12705	15038	13872	1650
E	SST	13254	28872	30272	24133	9447	26840	24734	29596	27057	2438	12207	42988	32803	29333	15681	20441	21531	20986	771
E	DQO	318080	53760	60160	144000	150792	55840	58400	57120	57120	1280	60305	71250	65668	65741	5473	43075	55949	49512	9103
E	FENOLES	1,79	1,96	1,88	1,9	0,1	1,15	1,45	1,7	1,4	0,3	1,6	1,25	1,15	1,3	0,2	2,72	1,86	2,3	0,6
E	GA	2505	3098	3119	2907,3	348,6	2680	3196	2892	2922,7	259,4	14556	10814	10816	12062	2160	4433	6092	5263	1173
E	SS	423,9	827,5	772	674,5	218,8	873,3	674,2	670	739,2	116,2	827	865	805	832,3	30,4	592	794	693,0	142,8
S	PH	7,84	7,95	7,99	7,9	0,1	8,04	8,11	8,18	8,1	0,1	7,78	7,73	7,94	7,8	0,1	8,23	8,23	8,2	0,0
S	TMUESTRA	33,6	29	27,5	30,0	3,2	32,3	29,5	26,4	29,4	3,0	32	32	27	30,3	2,9	27,4	28,4	27,9	0,7
S	CAUDAL	0,62	0,28	0,15	0,4	0,2	2,452	1,279	1,268	1,7	0,7	2,74	0,66	0,566	1,3	1,2	3,24	3,25	3,2	0,0
S	DBO5	254	240	241	245,0	7,8	103	80,7	72,5	85,4	15,8	222	238	276	245,3	27,7	154	91,1	122,6	44,5
S	SST	621	454	402	492,3	114,4	186	195	9	130,0	104,9	484	527	464	491,7	32,2	46,8	59,3	53,1	8,8
S	DQO	1523	1357	1306	1395	113,5	749	787	736	757,3	26,5	1806	1977	1746	1843	119,9	794	794	794,0	0,0
S	FENOLES	0,21	0,21	0,21	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,075	0,075	0,1	0,0
S	GA	18,5	30,6	23,3	24,1	6,1	12,8	12,8	12,8	12,8	0,0	199	132	167	166,0	33,5	6,4	16,3	11,4	7,0
S	SS	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,7	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0

Continuación Anexo II Matriz de datos para la t pareada de 2015-1 a 2016-2

POSICIÓN	PARAMETRO	2015-1	2015-1	2015-1	PRO	DE	2015-2	2015-2	2015-2	PRO	DE	2016-1	2016-1	2016-1	PRO	DE	2016-2	2016-2	2016-2	PRO	DE
E	PH	4,59	4,56	4,53	4,6	0,0	4,43	4,48	4,55	4,5	0,1	4,53	4,47	4,5	4,5	0,0	4,63	4,74	4,8	4,7	0,1
E	TMUESTRA	41,7	51	50,9	47,9	5,3	48,4	43,6	43,6	45,2	2,8	52,2	50,4	53,2	51,9	1,4	53,3	58,2	52,5	54,7	3,1
E	CAUDAL	1,44	3,2	3,29	2,6	1,0	3,13	3,54	2,69	3,1	0,4	2,5	2,37	2,47	2,4	0,1	2,43	2,2	1,67	2,1	0,4
E	DBO5	8271	16337	13587	12732	4100	18820	17217	17325	17787	896	26480	24075	30562	27039	3279	16331	19657	20200	18729	2095
E	SST	10262	27887	19617	19255	8818	31718	37433	36653	35268	3099	40034	33740	66593	46789	17437	27732	40724	41024	36493	7589
E	DQO	30464	48998	47770	42411	10364	60235	52896	55692	56274	3704	86976	77760	112358	92365	17917	59612	66441	71199	65751	5824
E	FENOLES	1,68	1,56	1,78	1,7	0,1	2,14	1,7	1,52	1,8	0,3	5,0E-05	5E-05	5E-05	0,0	0,0	0,0002	0,0002	0,0002	0,0	0,0
E	GA	309	635	102	348,7	268,7	217	422	478	372,3	137	3411	2216	2912	2846	600	2485	2096	2656	2412	287
E	SS	406	878	809	697,7	254,9	923,8	911	836	890,3	47,4	879	920	901	900,0	20,5	878	883	923	894,7	24,7
S	PH	8,17	8,21	8,25	8,2	0,0	8,22	8,22	8,22	8,2	0,0	8,39	8,41	8,48	8,4	0,0	8,49	8,47	8,48	8,5	0,0
S	TMUESTRA	30,1	30,2	27,5	29,3	1,5	31	28,4	26,8	28,7	2,1	31,7	30,7	28,6	30,3	1,6	29,8	29,8	29,1	29,6	0,4
S	CAUDAL	1,01	1,36	1,48	1,3	0,2	1,34	1,54	1,74	1,5	0,2	1,38	0,89	0,68	1,0	0,4	0,98	0,71	0,66	0,8	0,2
S	DBO5	84,9	74,9	68,1	76,0	8,5	104	96,4	64,5	88,3	21,0	210	225	210	215,0	8,7	102	168	135	135,0	33,0
S	SST	172	158	147	159,0	12,5	94,9	138	166	133,0	35,8	376	212	364	317,3	91,4	224	267	177	222,7	45,0
S	DQO	824	838	868	843,3	22,5	1185	1229	1299	1238	57,5	2147	1552	4720	2806	1684	843	1133	1276	1084	221
S	FENOLES	0,075	0,075	0,075	0,1	0,0	0,157	0,157	0,157	0,2	0,0	5E-05	5E-05	5E-05	0,0	0,0	0,0002	0,0002	0,0002	0,0	0,0
S	GA	1,7	0,8	0,8	1,1	0,5	2,2	4,9	2,2	3,1	1,6	20,3	20,3	20,3	20,3	0,0	20,3	23,9	34,4	26,2	7,3
S	SS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0

Fuente: Autor, (2018).

Anexo III. Resultados de la caracterización de los vertimientos de la extractora San Fernando S.A.

PUNTO	PARAMETRO		AÑO –SEMESTRE									
			2013-1	2013-2	2014-1	2014-2	2015-1	2015-2	2016-1	2016-2	2017-1	2017-2
ENTRADA	pH	Unidades de pH	4,6	4,5	4,5	4,6	4,6	4,5	4,5	4,7	4,9	4,7
	Temperatura Muestra	°C	40,6	35,7	42,3	40,9	47,9	45,2	51,9	54,7	53,0	48,3
	DBO5	mg/L	19409,3	19207,0	17261,3	13871,5	12731,7	17787,3	27039,0	18729,3	37536,3	22878,7
	SST	mg/L	24132,7	27056,7	29332,7	20986,0	19255,3	35268,0	46789,0	36493,3	39659,0	32723,3
	DQO	mg/L	144000,0	57120,0	65741,0	49512,0	42410,7	56274,3	92364,7	65750,7	68170,3	70158,7
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	2907,3	2922,7	12062,0	5262,5	348,7	372,3	2846,3	2412,3	2248,7	2988,3
	Sólidos Sedimentables	mg/L	674,5	739,2	832,3	693,0	697,7	890,3	900,0	894,7	907,7	924,7
SALIDA	pH	Unidades de pH	7,9	8,1	7,8	8,2	8,2	8,2	8,4	8,5	8,0	8,3
	Temperatura Muestra	°C	30,0	29,4	30,3	27,9	29,3	28,7	30,3	29,6	30,6	28,5
	DBO5	mg/L	245,0	85,4	245,3	122,6	76,0	88,3	215,0	135,0	345,7	547,3
	SST	mg/L	492,3	130,0	491,7	53,1	159,0	133,0	317,3	222,7	1145,3	224,0
	DQO	mg/L	1395,3	757,3	1843,0	794,0	843,3	1237,7	2806,3	1084,0	2146,0	2159,7
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	24,1	12,8	166,0	11,4	1,1	3,1	20,3	26,2	30,6	20,3
	Sólidos Sedimentables	mg/L	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1
RES. 631/15	pH	Unidades de pH	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	Temperatura Muestra	°C	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
	DBO5	mg/L	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
	SST	mg/L	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0
	DQO	mg/L	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	Sólidos Sedimentables	mg/L	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Fuente: Autor, (2018).

Anexo IV. Matriz de Lineamientos

LINEAMIENTO	DEFINICIÓN	JUSTIFICACIÓN	CONSECUENCIAS DE NO TENERLO EN CUENTA
área para el sistema de tratamiento	Del latín arēa, el concepto de área se refiere a un espacio de tierra que se encuentra comprendido entre ciertos límites. En este sentido, un área es un espacio delimitado por determinadas características geográficas, zoológicas, económicas o de otro tipo. (Pérez Porto & Merino, 2009)	necesario para reducir costos de inversión, poder cumplir la normatividad ambiental que exige la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, porque permite tener un sitio donde se pueda implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales	compra de predios para colocar el sistema, excavaciones, o adecuación de tierra y reducción del espacio de producción
caudal a tratar	Se acepta que el flujo volumétrico significa el volumen de un medio que se mueve a través de una sección transversal dentro de un período de tiempo dado. (Academia Online, s.f.)	nos permite saber la cantidad de agua residual a tratar y con ello podemos saber las dimensiones del sistema de tratamiento	dentro de las consecuencias tenemos que el sistema no pueda tratar el caudal porque es más de lo que puede tratar o lo contrario que este sobre dimensionado y no funcione hidráulicamente de la manera correcta
costos de operación	Son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar (FAO, s.f.)	permite determinar el tipo de tecnología que se acomode de la mejor manera a la empresa en términos económicos identificar la viabilidad del proyecto relación beneficio/costo	que los costos sean superiores al beneficio del sistema de tratamiento de aguas residuales y el proyecto no sea viable
Porcentaje de remoción	Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje. (República de Colombia, 2000)	el porcentaje de remoción me indica si el sistema está funcionando o no de la mejor manera	en caso de no apreciarse este parámetro no se podría saber si el sistema está funcionando de la manera que se quiere, si presenta algunas fallas
normatividad ambiental vigente	Comprende aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, e imponen una obligación o exigencia cuyo cumplimiento debe ser acreditado por el titular del proyecto o actividad durante el proceso de evaluación. (Servicio de Evaluación Ambiental, s.f.)	cumplimiento de la normatividad ambiental vigente en el país para poder realizar los vertimientos de la empresa	multas por parte de la autoridad ambiental, impactos ambientales a la fuente receptora, cambios en la calidad del agua de la fuente receptora
tecnología de tratamiento a implementar	hace referencia al sistema de tratamiento que se va a emplear para el tratamiento de las aguas residuales dependiendo de las características del vertimiento	tener claro la tecnología a implementar es la clave para tratar el vertimiento generado	de no tener presente la tecnología a implementar las consecuencias serán altas a nivel económico, el vertimiento no cumplirá los parámetros permisibles por la autoridad ambiental, adicionalmente, no se podrá tratar el vertimiento
TRH	Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. (República de Colombia, 2000)	es indispensable para que el sistema funcione de la manera adecuada, y el sistema pueda funcionar	si es un TRH bajo no me permita llegar a la concentración deseada, y si es muy alto requiere de más área de tratamiento

LINEAMIENTO	DEFINICIÓN	JUSTIFICACIÓN	CONSECUENCIAS DE NO TENERLO EN CUENTA
carga de diseño	Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T). (Real Academia de Ingeniería, s.f.)	la carga de diseño me indica las dimensiones del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales	en caso de no tener en cuenta la carga puede ser que la carga sea superior a lo que puede tratar el sistema y no cumpla los límites permisibles
fuente receptora de la descarga	fuente hídrica a la cual se realiza el vertimiento	por ser la fuente que recibe el vertimiento debe tener la capacidad de carga para depurar ese vertimiento	que la fuente no tenga la capacidad de carga para recibir los vertimientos y se causen impactos ambientales negativos a la fuente hídrica receptora
operación del sistema de tratamiento	todas las acciones necesarias para operar el sistema de tratamiento	es clave en el sentido que hay sistemas y requerimientos para operar el sistema, es necesario tener el conocimiento sobre el funcionamiento correcto de la planta para una buena operación	Gastos económicos en compra de accesorios que se dañan por mala operación, reproceso por desconocimiento del operario de planta.
suelo	El suelo es un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta. (SIAC, s.f.)	Es fundamental tener en cuenta el tipo de suelo en el que se va a construir el sistema de tratamiento de aguas residuales, puesto que dependiendo del mismo serán las necesidades de la construcción en términos económicos, ambientales, operativos y legales.	en caso de no ser tenido en cuenta puede que el agua residual del sistema de tratamiento se infiltre en el suelo y cause impactos ambientales
topografía	La topografía se refiere a la forma tridimensional de un terreno. Describe los cerros, valles, pendientes, y la elevación de la tierra. El determinar la topografía es uno de los pasos iniciales en el diseño de terrenos ya que indica como puede ser usada la tierra. (American Planning Association, s.f.)	dependiendo de la topografía del terreno se puede tener un sistema por gravedad o por bombeo, por ello la importancia influye en los costos, en la operación y el mantenimiento	Si no es tenido en cuenta se podrían acarrear costos superiores en bombeo, operación mantenimiento, por zonas de difícil acceso porque
mantenimiento del sistema	mantenimiento de las purgas	importante para poder realizar el mantenimiento de manera fácil y rápida, con sistemas de purgas que permitan realizar los mantenimientos necesarios sin necesidad de parar el sistema	cuando no se tiene en cuenta esta directriz se incurre en gastos económicos derivados del tiempo para realizar los mantenimientos, adicionalmente mayor cantidad de personal para realizarlo y equipos adicionales como mangueras, bombas y demás
análisis de aguas	Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio	en este caso el análisis de agua hace referencia al seguimiento de las piscinas como control del proceso para tener información de seguimiento y toma de decisiones ya que dentro del lineamiento de normatividad ambiental se encuentra incluido el análisis de aguas pero el que solicita la autoridad ambiental,	en caso de no tener presente este lineamiento podría pasar que el sistema de tratamiento no esté funcionando bien y no se tenga ese conocimiento y la descarga a la fuente hídrica no esté cumpliendo los parámetros permisibles y se puedan causar impactos ambientales negativos que incurran en sanciones económicas y legales

LINEAMIENTO	DEFINICIÓN	JUSTIFICACIÓN	CONSECUENCIAS DE NO TENERLO EN CUENTA
plan de contingencia	Los planes de contingencia son instrumentos de gestión que definen los objetivos, estrategias y programas que orientan las actividades institucionales para la prevención, la reducción de riesgos, la atención de emergencias y la rehabilitación en casos de desastres, permitiendo disminuir o minimizar los daños, víctimas y pérdidas que podrían ocurrir a consecuencia de fenómenos naturales, tecnológicos o de la producción industrial, potencialmente dañinos. (Cruz Roja Colombiana, 2007)	permite realizar las acciones de prevención, mitigación y corrección necesarias para no afectar el medio ambiente y saber qué hacer en caso de un evento de contingencia en el sistema de tratamiento de aguas residuales, además de tenerlo, pues debe funcionar es decir que si el nivel de la piscina llego a cierto nivel y pase el agua al sistema de contingencia	afectación al medio ambiente por derrames de las aguas residuales causando impactos ambientales negativos

Fuente: Autor, (201