

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

**METODOLOGÍAS PARA EVALUAR SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL ECUADOR**

Autor

Nasamues Morillo Jessica Lizbeth

Tutor

Ing. José Gregorio Prato Moreno PhD.

Riobamba – Ecuador

Año 2021

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación: **“METODOLOGÍAS PARA EVALUAR SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ECUADOR”**, presentado por, Jessica Lizbeth Nasamues Morillo y dirigida por Ing. José Prato PhD.

Los miembros de tribunal, luego de haber receptado el trabajo por escrito, y su defensa oral, constataron el cumplimiento de las observaciones realizadas y se remite el presente para uso y custodia en la biblioteca de la Universidad Nacional del Chimborazo.

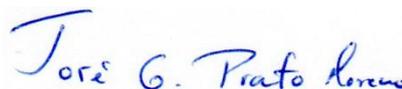
Para constancia de lo expuesto firman:

Dra. Julia Calahorrano

Presidente del Tribunal

.....

PhD. José Prato



.....

Tutor del Proyecto de Investigación

Ing. María Fernanda Rivera Castillo



.....

Miembro del Tribunal

PhD. Iván Ríos



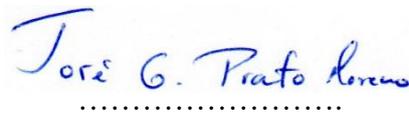
.....

Miembro del Tribunal

DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención de grado de Ingeniero Ambiental, elaborado por la señorita Jessica Lizbeth Nasamues Morillo con el tema: **“METODOLOGÍAS PARA EVALUAR SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ECUADOR”**, fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de guía y tutor, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que puedo informar en honor a la verdad.



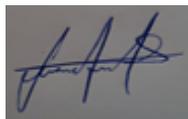
.....

Ing. José Prato PhD.

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **JESSICA NASAMUES**, con cédula de identidad N.º 220025762-0; hago constar que soy la autora del presente trabajo de investigación, titulado: **“METODOLOGÍAS PARA EVALUAR SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ECUADOR”**, el cual constituye una elaboración original y dirigida por la Tutor del Proyecto, *Ph.D.* José G. Prato M.

En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado debidamente en el texto del documento.



Jessica Nasamues

CI. 220025762-0

AGRADECIMIENTO

A mi tutor PhD. José Prato, por su respetable forma de transmitir sus conocimientos no solo como tutor si no también como docente. Agradezco haber sido guía y permitir cumplir con mi objetivo.

A mis docentes, formadores de profesionales, por esa entrega, la enseñanza, por el esfuerzo de prepararse día a día y compartirnos su valioso conocimiento.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, mi segundo hogar donde no solo me formé como profesional si no también como ser humano, gracias al haber conocido muchas personas de quienes he aprendido.

Jessica Lizbeth Nasamues Morillo

DEDICATORIA

A mis padres, Campo Elías y María Oliva, por sus consejos, por su ejemplo, por ser el apoyo incondicional durante toda mi etapa universitaria.

A mis hermanos, a Daimy porque eres el humano detallista más pequeño que conozco, deseo que sepas que todo es posible, y quiero que logres todo lo que desees con lo poco que te he podido demostrar.

A mis compañeros y amigos, por los días compartidos, por el apoyo, por todos los momentos buenos y malos.

A mi hija de cuatro patas, por la compañía, quien me esperaba ansiosa luego del medio día, quien a pesar de los días malos tenía para mí siempre sus muestras de cariño, mi amor infinito para ti Frida.

A mí por la perseverancia, porque a pesar de que el camino fue difícil, el hecho de tener a mi familia lejos, continué con lo que había llegado a buscar. Mis ánimos para quienes tienen la valentía de salir de sus pueblos con el fin de forjar un mejor futuro.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a mi tutor *PhD*. José Prato, por la sabiduría que lo caracteriza.

Jessica Lizbeth Nasamues Morillo

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador

OD: Oxígeno Disuelto

COT: Carbono Orgánico Total

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

pH: Potencial Hidrógeno

TDS: Sólidos Disueltos Totales

TPH: Total Petroleum Hydrocarbons - Hidrocarburos Totales del Petróleo

NTU: Nephelometric Turbidity Unit – Unidades de Turbidez Nefelométricas

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....	i
DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRAC.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.1. El agua como elemento imprescindible	5
2.2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas	5
2.2.1. Parámetros físicos.....	5
2.2.2. Parámetros químicos	6
2.2.3. Parámetros microbiológicos	6
2.3. Aguas residuales	7
2.4. Características de las aguas residuales.....	7
2.5. Clasificación de las aguas residuales	8
2.6. Tipos de muestreo de aguas residuales	8

2.7.	Tratamiento de aguas residuales	9
2.8.	Importancia del tratamiento de aguas residuales	9
2.9.	Unidades de tratamiento de aguas residuales	10
2.10.	Procesos básicos para el tratamiento de aguas residuales	10
2.11.	Procesos esquemáticos para depuración de aguas.....	11
2.12.	Aguas residuales de las industrias	11
2.13.	Industria de lácteos.....	12
2.13.1.	Impacto de las aguas residuales en lácteos	12
2.13.2.	Características de las aguas residuales de la industria láctea	13
2.14.	Industria hidrocarburífera.....	13
3.14.1	Impacto de las aguas residuales en hidrocarburos	13
3.14.2.	Características de las aguas residuales de la industria hidrocarburífera	14
2.15.	Industria textil	14
2.15.1.	Impacto de las aguas residuales en industria textil.....	14
2.15.2.	Características de las aguas residuales de la industria textilera.....	15
CAPÍTULO III		16
3.	METODOLOGÍA	16
3.1.	Diseño de la investigación	16
3.2.	Tipo de investigación.....	16
3.3.	Población	17
3.4.	Muestra	17
3.5.	Técnica de estudio y análisis de datos	17
3.5.1.	Etapa 1	17
3.5.2.	Etapa 2.....	18
CAPÍTULO IV		19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1.	Metodología de muestreo y caracterización de aguas residuales.....	19

4.1.1. Industria láctea.....	19
4.1.2. Industria petrolera.....	33
4.1.3. Industria textil.....	39
4.2. Sistemas de depuración más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales	44
4.2.1. Sistema de tratamientos más adecuados para las aguas residuales de la industria láctea.....	44
4.2.2. Sistema de tratamientos más adecuados para las aguas residuales de la industria de petróleos	48
4.2.3. Sistema de tratamientos más adecuados para la industria textil.....	52
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES	57
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
8. ANEXOS.....	65
Anexo 1. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de DBO ₅	65
Anexo 2. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de DQO	66
Anexo 3. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de Aceites y Grasas	67
Anexo 4. Procesos productivos en la industria petrolera.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de producción de leche	22
Figura 2. Proceso de producción de quesos.....	24
Figura 3. Proceso productivo del yogurt	25
Figura 4. Proceso de toma de muestras de aguas residuales en la industria.....	30
Figura 5. Proceso llevado a cabo en la producción de petróleo	35
Figura 6. Proceso llevado a cabo en la tinturación de la tela en la industria textil.....	40
Figura 7. Sistema de tratamiento para aplicar a aguas residuales de la industria láctea	46
Figura 8. Sistema de tratamiento para aplicar a aguas residuales de la industria petrolera.....	49
Figura 9. Sistema de tratamiento para aplicar a aguas residuales de la industria textilera	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración cualitativa del consumo de agua en la industria láctea.	27
Tabla 2. Parámetros analizados en la industria láctea	28
Tabla 3. Parámetros y metodologías a seguir para el análisis de aguas residuales de la industria productora de lácteos.	32
Tabla 4. Parámetros analizados en la industria productora de petróleo	36
Tabla 5. Parámetros y métodos a aplicar	38
Tabla 6. Parámetros analizados en la industria productora de textiles	42
Tabla 7. Parámetros y métodos a aplicar	43
Tabla 8. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria de lácteos comparados con la normativa.	45
Tabla 9. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de lácteos.	47
Tabla 10. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de lácteos.	48
Tabla 11. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria productora de hidrocarburos comparados con la normativa.	49
Tabla 12. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de petróleos.	50
Tabla 13. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de petróleos.	51
Tabla 14. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de petróleos.	52
Tabla 15. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria productora de textiles comparados con la normativa.	53
Tabla 16. Porcentajes de remociones en las fases de tratamiento de las aguas residuales de la industria textilera.	55

RESUMEN

Las industrias producen un alto impacto a diferentes recursos naturales y uno de ellos es el agua que al no aplicarles tratamientos adecuados generan una huella negativa al momento de desecharlas. En el Ecuador existen industrias tales como la productora de lácteos, petrolera y textilera son muy importantes dentro de la economía del país, por lo tanto, es importante que estas empresas desde su proceso productivo, ya sea grande, pequeña o artesanal, cumplan con los requerimientos de las normativas nacionales al momento de descartar sus aguas tratadas por los sistemas de alcantarillado, por lo tanto, deben tener sistemas de tratamientos adaptados a sus efluentes.

Es por ello que el propósito de esta investigación documental fue realizar un estudio de los procesos productivos de estas industrias y proponer como se debe realizar el muestreo y caracterización de los residuales, y evaluar un sistema de depuración acorde a los principales parámetros contaminantes de cada tipo de empresa. El análisis realizado muestra que para poder tener un adecuado tratamiento de las aguas residuales es necesario aplicar un plan de tomas de muestras ajustado a las características de los efluentes generados, además de aplicar siempre métodos normalizados para la caracterización inicial de los mismos y de las aguas tratadas para controlar el buen funcionamiento del sistema de depuración. La aplicación de balances de masa teóricos permite una evaluación del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales.

Palabras clave: agua residual, industrias, lácteos, petrolera, textil, sistemas de tratamiento, muestreo.

ABSTRAC

Industries generate a high impact on several natural resources and one of them is water, which when the adequate treatments are not applied, it generates concern about the impact in the moment of disposal outside the water treatment plants. In Ecuador there are industries such as dairy, oil and textile producers, some of which meet the requirements of the regulations when disposing their treated water through sewerage systems, but there are opposite situations in which treatment systems are applied to the residual waters that appear in the productive process of these industries which exceed the permissible limits and are disposed generating contamination to the water sources where these waters finally arrive.

It is important to constantly carry out wastewater analysis through which it is important to evidence that the values of the parameters are within the ones required by Ecuadorian regulations. In cases in which the characterization of wastewater does not comply with the regulations, it will be analyzed which the most impacted parameters are for further application of processes that allow the reduction of them.

With the effectiveness percentages of the treatment systems, an analysis can be made of how much removal of pollutants these waters will suffer once they leave the treatment system.

Keywords: waste water, industries, dairy, oil, textile, treatment systems.

Reviewed by:
Mgs. Geovanny Armas Pesántez
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0602773301

INTRODUCCIÓN

El agua y su gestión es un problema que se viene suscitando con mayor intensidad desde la época de la industrialización. El crecimiento demográfico también es un factor que influye, además de un manejo inadecuado de los acuíferos y los efluentes.

La contaminación del agua debe entenderse como un concepto relativo, asociado a las características físicas, químicas y biológicas que impiden o dificultan su uso según a las aplicaciones a las que vaya destinada. En la naturaleza, el agua en estado líquido no se encuentra pura, si no que va incorporando diversas sustancias desde su caída a la superficie de la tierra como agua de lluvia hasta que llegue al mar, a lo largo del ciclo del agua. Durante este recorrido, el agua va disolviendo gases y compuesto minerales, y van incorporando partículas en suspensión de naturaleza inorgánica y orgánica, etc. Finalmente, el agua es utilizada por el hombre para el suministro municipal y para usos agrícolas, industriales, y recreativos, impurificándose de forma considerable (Osina & Vargas, 2011).

El origen de la contaminación de las aguas hay que buscarlo en procesos naturales, pero, sobre todo, en la actividad humana. La contaminación inducida por el hombre es un fenómeno antiguo. (Osina & Vargas, 2011). Existe un consumo desmedido de este recurso el cual es limitado y por lo tanto, de alguna manera se busca preservar desde un punto de vista sostenible y sustentable. La legislación con el paso del tiempo ha ido en constante evolución y cambia hasta el punto de que, en Ecuador la naturaleza posee derechos descritos en la constitución, por ello se plantean reglamentos, normas, códigos orgánicos y demás legislación que permitan de alguna manera cumplir con estándares encaminados hacia el cuidado de los recursos, con especial aplicación a los efluentes industriales.

Por lo tanto, es necesario destacar una gestión adecuada del recurso agua, como un sistema de tratamiento de aguas residuales que permitan mitigar de alguna manera el impacto que generan al desechar estos contaminantes a los cuerpos de agua dulce. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son varios, pero su metodología dependerá de la procedencia de los efluentes, donde en algunos casos la carga contaminante será elevada a diferencia de otros. Es por ello que este tema de investigación busca describir los sistemas de tratamiento de aguas residuales y las técnicas de evaluación de su funcionamiento aplicables a diversos procesos industriales de Ecuador.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los puntos principales en los que se enfocan los Objetivos del Desarrollo Sostenible, ya que es un recurso indispensable para el desarrollo adecuado de la vida, pero desafortunadamente no todos los habitantes del planeta tienen acceso a este derecho imprescindible (Naciones Unidas, 2015). Los países que sí tienen acceso a este recurso lamentablemente aun no aplican políticas severas que busquen un abastecimiento y uso responsable del recurso hídrico.

En el año 2018, según el informe presentado por la Organización Mundial de las Naciones Unidas “se prevé que la escasez de agua aumente considerablemente en 2050. A lo largo de la década de 2010, el 27 % de la población mundial vivían en áreas con una escasez de agua potencialmente grave y podría aumentar a entre 4800 y 5000 millones de personas en 2050”. Este informe identifica a las extracciones de riego como una de las principales causas de agotamiento de las aguas subterráneas y se ha predicho que para el 2050 se extraerá entorno al 39 % de los niveles actuales (García, 2019)

La contaminación del medio acuático es responsabilidad por parte generalmente del hombre, ya sea de manera directa o indirecta, de sustancias o energía que producen efectos nocivos, entre ellos, daños a los recursos vivos, riesgos para la salud humana, obstaculización de las actividades acuáticas y deterioro de la calidad del agua en relación con los procesos de consumo deseados, ya sea la agricultura, industria, usos recreativos o abastecimiento doméstico (García, 2019)

Una de las grandes consumidoras del recurso agua son las industrias, generando residuos con calidades distintas dependiendo del uso que se les haya dado. Estas aguas industriales, no solo en nuestro país, aún no son tratadas de manera adecuada haciendo que esto sea otro problema aun mayor, ya que a estas aguas se aplican procedimientos inadecuados y son enviadas a los cuerpos de agua más cercanos, causando un impacto negativo al factor biótico y abiótico que los rodea. Aun la sociedad no es consciente de la falta de preparación del área del Tratamiento de Aguas Residuales y se comete errores al querer dar un diagnóstico sobre un PTAR, o peor aún existen empresas que confían en la capacidad de profesionalismo a quienes encargan sus sistemas de tratamiento de aguas.

La función básica de la planta de tratamiento de aguas residuales es acelerar los procesos naturales por los cuales el agua se purifica. A medida que nuestra población e industria crecieron a su tamaño actual, se hicieron necesarios mayores niveles de tratamiento antes de descargar las aguas residuales (Guyer, 2019).

Por lo tanto, el presente estudio, tiene como objetivo realizar una investigación de manera bibliográfica que permita analizar las diferentes técnicas para evaluar los sistemas de tratamiento de aguas residuales dependiendo del uso que se les haya dado, en las industrias en estudio tales como la industria productora de lácteos, industria de la producción petrolera y de la industria textil. Un aspecto importante a analizar antes de aplicar un proceso de tratamiento de aguas es conocer la procedencia de las mismas, el proceso industrial llevado a cabo en cada una de las industrias, las sustancias que se aplican para el proceso de producción, cual es el proceso productivo que llevan las empresas, las sustancias químicas utilizadas en cada uno de los subprocesos de la cadena productiva, este caso de las industrias antes descritas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es uno de los temas que se vienen discutiendo hoy en día, debido a una gestión inadecuada del mismo. Existen sectores donde las personas aún no tienen acceso a este derecho trascendental y necesario para el desarrollo de comunidades y regiones.

Ecuador posee normativa denominada; Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua – LIBRO VI ANEXO 1 (MAE, 2015); donde se refleja el manejo adecuado del agua, se describen los límites permisibles para la evacuación de líquidos, para lo cual previamente debieron ser tratados mediante procesos, físicos, químicos o biológicos, dependiendo de la procedencia de estas aguas residuales.

Las diferentes entidades, públicas y privadas, buscan de alguna manera implementar proyectos de tratamiento de aguas residuales con el afán de cumplir con la normativa establecida, pero en la mayoría de los casos los métodos aplicados no son los adecuados, volviéndose difícil acercarse a los parámetros solicitados por la norma ambiental.

Para el tratamiento de aguas residuales existen casos donde hay infraestructura de gran magnitud, pero no cumple con el principal objetivo como es el de tratar el agua para que cumpla con los parámetros necesarios. Es por ello que es necesario realizar un análisis

sobre cuáles serían los aspectos por los cuales no funcionan bien las plantas de tratamiento de aguas residuales, todo ello dependiendo de la procedencia de estos líquidos.

En este análisis las industrias de lácteos podrían tener en sus procesos de tratamiento de aguas, sistemas muy parecidos siempre y cuando en su proceso productivo también sea similar, pero en mayoría de los casos esto no sucede, así que es necesario un análisis del sistema a aplicar para cada industria láctea y lo mismo sucede con las aguas residuales de las industrias del petróleo y textiles que son los que se abordan en este documento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Describir los sistemas de tratamiento de aguas residuales y las técnicas de evaluación de su funcionamiento aplicables a diversos procesos industriales de Ecuador.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las metodologías de muestreo y caracterización de aguas residuales aplicables para la evaluación de los sistemas de tratamiento de tres tipos de procesos industriales del país.
- Describir los sistemas de depuración más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales de los casos de estudio dentro de procesos industriales de Ecuador.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

2.1.El agua como elemento imprescindible

El agua es un recurso fundamental para garantizar el desarrollo de la vida y de la mayoría de las actividades humanas (urbana, industrial, agrícola, ganadera, ambiental, recreativa y para generar energía) (Rodríguez, Corominas, Poch, & Comas, 2018).

La buena gestión del agua es esencial para desatar el potencial de las ciudades de América Latina. La escasez de este recurso, además de afectar a la salud de los habitantes más vulnerables, reduce su productividad. Por esta razón, asegurar el acceso universal a agua y saneamiento se ha convertido en algo primordial para los gobiernos latinoamericanos en su propósito de crear ciudades más inclusivas (CAF, 2016).

2.2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas

2.2.1. Parámetros físicos

- Color: se debe a la absorción de ciertas longitudes de onda de la luz blanca por parte de sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en el agua (Rodríguez, Corominas, Poch, & Comas, 2018).
- Conductividad eléctrica: es una forma de verificar la pureza del agua, una conductividad elevada también puede ser indicador de presencia de sales.
- Olor y sabor: estos son medios de verificación rápidos, un agua con baja concentración de contaminantes podría presentarse con bajo olor y sabor.
- Sólidos: para las aguas residuales domésticas e industriales el contenido de mineral disuelto disminuye, mientras las partículas en suspensión aumentan. Se suelen utilizar varios términos relacionados con la medida de los sólidos de un agua residual: sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos en suspensión, sólidos disueltos (Raposo, 2018).
- Temperatura: este parámetro es importante ya que este aumenta la solubilidad de las sales cambiando el pH y la conductividad.

— Turbidez: afecta el hidroecosistema, causa mal aspecto en el agua (Lozano, 2013).

2.2.2. Parámetros químicos

— pH: indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua, es decir si un agua es más ácida o básica (Soriano, 2012).

— Dureza: corresponde a la suma de calcio y magnesio, a los que se añaden los iones hierro, aluminio, manganeso.

— Alcalinidad: se trata de la capacidad de un agua para neutralizar compuestos ácidos, suele definirse como el contenido en bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos de un agua (Raposo, 2018).

— Cloro residual: se trata del compuesto más usado como agente desinfectante del agua de consumo humano.

— Fósforo: actualmente hay una fuente mayoritaria de fósforo vertida en forma de detergentes (Raposo, 2018).

— Compuestos nitrogenados: como amonio, nitritos nitratos. Con los estados de oxidación bajo, intermedio, elevado, respectivamente.

— Oxígeno disuelto (OD): se calcula mediante la Ley de Henry, la cual establece la relación que existe entre la concentración de un gas disuelto en un líquido y la presión parcial de dicho gas en la atmósfera en contacto con el líquido cuando se alcanza el equilibrio (Osina Torrez, 2011).

— Carbono orgánico total (COT): cuantifican la cantidad de Carbono contenido en compuestos orgánicos (Raposo, 2018).

— Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación (Raffo & Ruiz, 2015).

— Demanda química de oxígeno (DQO): se trata de una de las determinaciones más aplicadas al análisis de aguas con un grado medio/alto de contaminación orgánica (Raposo, 2018).

2.2.3. Parámetros microbiológicos

— Coliformes fecales y totales: la presencia de estos elementos podrían ser un indicativo de las aguas estarían contaminadas con heces sean humanas o animales.

2.3. Aguas residuales

Las aguas residuales se originan en los hogares, instituciones, oficinas e industrias, y pueden ser diluidas por agua de lluvia, aguas subterráneas y aguas superficiales. No tratar las aguas residuales antes de su descarga en los cuerpos receptores tiene como consecuencia efectos dañinos sobre la salud humana y el ambiente, como la generación de olores, el agotamiento del oxígeno disuelto y la liberación de nutrientes, contaminantes tóxicos y patógenos (López, Buitrón, García, & Cervantes, 2017).

2.4. Características de las aguas residuales

Existe una serie de características comunes a todos los tipos de aguas (brutas, potables envasadas, superficiales, residuales, destinada a baños públicos, de piscifactorías, etc.), aunque con ciertas particularidades según la procedencia concreta de la muestra (Díaz J., 2018).

Tradicionalmente, se consideró a las aguas sanitarias como una presión menor con las aguas industriales, ya que las segundas pueden contener en su composición compuestos extremadamente peligrosos con el medio ambiente y la salud humana, respecto con la contaminación más comúnmente aportada por las segundas, que de modo básico se puede englobar en materia orgánica y sólidos en suspensión.

Si bien es cierto que estos compuestos, relativamente tienen un impacto menor que los industriales, también lo es que, debido a la magnitud en cuanto a volumen de los vertidos que generan las comunidades urbanas, estos se han convertido también en una potente fuente de degradación de los recursos hídricos, por lo que ha sido necesario el desarrollo de sistemas capaces de depurar dichos efluentes que logren alcanzar los objetivos de calidad que, en los últimos años, se han establecido por diferentes normativas desarrolladas con el fin de preservar la salud humana y la calidad medioambiental (Cirujeda, 2019).

2.5. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales las constituyen desde la escorrentía generada por la lluvia, que circula por las vías, hasta de las aguas que han recorrido en todo un proceso industrial. Generalmente, se pueden agrupar en tres tipos (Trapote, 2013):

Aguas blancas o pluviales

Estas aguas proceden de drenajes o de escorrentía superficial. Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación

Aguas negras o urbanas

Son las aguas procedentes de los vertidos de la actividad humana, doméstica, comercial, industrial, agrícola. Sus caudales son menores, más continuos y contaminados.

Aguas grises

Son aguas procedentes de las bañeras, duchas, lavabos, lavadoras, y lavaplatos, con escasa contaminación.

2.6. Tipos de muestreo de aguas residuales

Este proceso puede resultar complejo, ya que hay que tomar en cuenta que este tipo de aguas en la mayoría de los casos presentan elevadas cargas contaminantes y su caudal de salida es variable. A continuación, se describen algunos tipos de muestreo (López, Buitrón, García, & Cervantes, 2017):

Muestreo de agarre: es una muestra recogida en una botella o balde a una hora fija. Este tipo de muestreo tiene resultados muy variables.

Muestreo proporcional en el tiempo: son muchas muestras simples, por ejemplo, una muestra cada una hora, que al final se mezclan para obtener una única muestra final (o muestra compuesta). Este tipo de muestreos puede ser adecuado si el agua residual no tiene grandes variaciones de concentración de contaminantes.

Muestreo proporcional al caudal: en general se realiza durante 24 horas y se extraen muestras simples de un volumen representativo al caudal generado industrialmente. Este método da una estimación fiable de la calidad del agua residual.

Variaciones de 24 horas: por ejemplo, una muestra por hora es analizada para obtener la variación de la concentración de contaminantes en el tiempo. Es un sistema utilizado para modelados.

Muestreo semanal: proporcional en el tiempo o flujo. Como en el caso anterior son útiles para diseñar y/o modelar.

2.7. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas en la naturaleza disponen de mecanismos de purificación que, aunque suficientes en la mayoría de los casos de contaminación natural, son limitados, por lo que debe cuidarse su calidad y evitar su contaminación (Grau & Muñoz, 2013).

El tratamiento de aguas puede efectuarse para tres categorías diferentes: para el uso doméstico, para la aplicación industrial y para su acondicionamiento previo vertido de aguas residuales urbanas e industriales (Grau & Muñoz, 2013).

2.8. Importancia del tratamiento de aguas residuales

El motivo principal de tratar las aguas residuales es cuidar la salud pública y el medio ambiente. Si las aguas residuales no son tratadas y se vierten directamente a ríos, lagos o mares, es bastante probable introducir elementos de contaminación que acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno ambiental y enfermedades de salud pública (causadas por virus y bacterias) en las personas y comunidades que entren en contacto con esas aguas contaminadas.

Otro motivo importante es la reutilización de estas aguas. Algunas actividades humanas que necesitan el consumo de agua no requieren que sea agua potable, hablamos por ejemplo del riego de zonas verdes o el agua utilizada para usos industriales o de servicios (limpieza de zonas industriales, lavado de vehículos, mantenimiento de calderas, etc.) (Lacasadeltanque, 2018).

2.9. Unidades de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos queden convertidos en sólidos minerales u orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completado todo el proceso de tratamiento es necesario disponer de los líquidos y sólidos que se hayan generado.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales se integran con operaciones y procesos unitarios. En las operaciones unitarias, la remoción de los contaminantes se realiza por las fuerzas físicas. En los procesos unitarios, el tratamiento se realiza con reacciones químicas y biológicas. El conjunto de operaciones y procesos unitarios es conocido como tren de tratamiento o tren de proceso.

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para seleccionar un tren de tratamiento dependerán de las características de la calidad de agua de abastecimiento. Entre las principales variables están: las variaciones de tiempo, los límites permisibles en la normativa vigente, las condiciones del sitio para la construcción de la planta, la tecnología disponible, la economía del proceso y otros factores (Ronces, 2018).

2.10. Procesos básicos para el tratamiento de aguas residuales

Físicos: Los contaminantes en suspensión, coloidales y disueltos (orgánico e inorgánicos), en las aguas residuales se pueden separar físicamente. Los contaminantes se eliminan de las aguas residuales en orden de dificultad creciente: Primero se retienen; los trapos, palos, y objetos grandes, después se separa a arenilla, por sedimentación, en tanques o cámaras desarenadoras (Altunar, 2014).

Biológico: En la naturaleza se encuentran microorganismos capaces de consumir y transformar la materia orgánica en sustancias menos complejas. En la década de 1920, los científicos observaron que estos procesos naturales podían ser contenidos y acelerados en sistemas para eliminar material orgánico de las aguas residuales (Guyer, 2019).

Químicos: Los productos químicos se pueden utilizar para crear cambios en los contaminantes que aumentan la eliminación de estas nuevas formas de procesos físicos.

Se pueden agregar productos químicos simples como el alumbre, cal o sales de hierro a las aguas residuales (Guyer, 2019).

2.11. Procesos esquemáticos para depuración de aguas

Los procesos Físicos, Químicos y Biológicos son parte estructural de un sistema de depuración, en el cual se integran en diversas etapas (Cirujeda, 2019):

Pre-tratamiento: conjunto de operaciones para eliminar los sólidos gruesos de gran tamaño, sólidos finos, arenas, y sólidos flotantes más ligeros como aceites y grasas.

Tratamiento primario: es el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión

Tratamiento secundario: es el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria y otro proceso de separación de la fase líquida de la sólida.

Tratamiento de lodos: los lodos residuales, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, van a requerir de una serie de operaciones encaminadas a la estabilización de su contenido en agua para disminuir su volumen inicial, de manera que puedan ser gestionados como residuo de forma económicamente viable para la explotación.

Tratamiento terciario: Es el tratamiento de las aguas residuales urbanas que ya han sufrido un proceso de depuración que las hace alcanzar los valores especificados en sus autorizaciones de vertido, mejorando su calidad, haciéndolas aptas para su reutilización directa en nuevas actividades

2.12. Aguas residuales de las industrias

En la Directiva 91/271 CEE, del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, se define a las aguas residuales industriales como: “Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial” (Díaz J. , 2018).

Las aguas industriales presentan una compleja naturaleza, y sus características fisicoquímicas dependen de la industria que las genera, por lo que su tratamiento es complicado. En general, se caracterizan por tener una elevada carga orgánica, por la presencia de componente tóxicos para los microorganismos (que son los responsables de los procesos biológicos de tratamiento), por la presencia de sustancias no biodegradables o difícilmente biodegradables (Díaz J. , 2018).

El número de industrias que vierten residuos a las redes de alcantarillado domésticas ha aumentado notablemente en los últimos 20 a 30 años. Se está replanteando la validez de la práctica general de combinar vertidos industriales con vertidos domésticos debido a los efectos tóxicos que a menudo generan los residuos industriales, incluso cuando su presencia se da en concentraciones muy bajas. De cara al futuro, muchos municipios estudian la posibilidad de tratar ambos tipos de vertidos por separado, o bien exigir un tratamiento más avanzado de los vertidos industriales antes de ser vertidos a los colectores de aguas domésticas, con el fin de que no produzcan daño alguno (Metcalf & Eddy, 1995).

2.13. Industria de lácteos

Esta industria genera importantes ingresos económicos en el país al ser Ecuador un productor principalmente de lácteos. Dependiendo de la magnitud de la empresa estas transforman la materia prima en leche pasteurizada, queso, yogurt, mantequilla y otros, resultado de estos procesos se genera gran cantidad de aguas residuales que por su procedencia implican alto contenido de materia orgánica.

Estas aguas en algunos casos reciben tratamiento, pero estos suelen resultar inefficientes siendo difícil alcanzar los límites permisibles solicitados por la normativa ambiental, especialmente, en las empresas pequeñas o artesanales de productos lácteos.

2.13.1. Impacto de las aguas residuales en lácteos

En relación al tema ambiental estas aguas producen alto impacto debido a la cantidad que se generan y por la carga orgánica que se genera, que esto a su vez implicar procesos complejos para el tratamiento de estas aguas. Estas aguas por su procedencia presentan alto contenido graso, nitrógeno y fósforo para lo cual es necesario la aplicación de técnicas que permitan la eliminación a corrector de este tipo de contaminantes.

2.13.2. Características de las aguas residuales de la industria láctea

La caracterización de aguas residuales que provienen de las industrias lácteas resulta compleja debido a los procesos que cada una de estas realiza, sin embargo, varios estudios coinciden en un aumento considerable en diversos parámetros como aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos, entre otros. Todo ello depende de la cantidad de leche y suero que se introduzca en el efluente final provocando una mayor carga orgánica contaminante (Miranda G. , 2017).

2.14. Industria hidrocarburífera

Esta área ha sido por muchos años una de las fuentes más importantes de ingresos económicos al país, ya sea por la cantidad existente o por la facilidad que representa en cierto modo la extracción de este recurso a diferencia de otros. Con el paso de los años se han ido aplicando tecnologías que permitan de alguna manera mitigar el impacto que implica la explotación y aprovechamiento de este recurso.

En temas de protección al ambiente también se ha puesto mucho énfasis, como es el caso en los campos de extracción con el control de ruidos, olores, vertidos sólidos, líquidos, entre otros. En el caso de los residuos líquidos que se generan, estos debido a su procedencia resultan muy tóxicos no solo para las personas si no también al ambiente donde se encuentran expuestos. Tratar estas aguas resulta complejo ya que en ella encontramos, grasas - aceites, agua, y sólidos de diferente composición hidrocarburífera.

En el año 2000 las empresas petroleras se gastaron 40 billones de dólares en el manejo del agua, mientras que para el año 2002 esta cifra ascendió a 45 billones (El-Karsani, Al-Muntasheri, & Hussein, 2014).

3.14.1 Impacto de las aguas residuales en hidrocarburos

Esta industria requiere de grandes cantidades de agua desde la extracción de este recurso hasta los procesos finales de transformación. Los procesos de inyección de pozos y extracción de petróleo se necesitan y se generan cantidades importantes de aguas, para lo cual la normativa expresa el tratamiento de estas aguas por los volúmenes generados y por las características de toxicidad que presentan las mismas.

3.14.2. Características de las aguas residuales de la industria hidrocarburífera

El agua producida conocida como salmuera, agua de formación, ha sido desde hace mucho tiempo el mayor productor de desperdicio en un yacimiento petrolero. Es frecuente encontrar aguas y petróleo en los yacimientos petroleros, el agua a consecuencia de su alta densidad con respecto al aceite se encuentra bajo capas enormes de hidrocarburos en el medio poroso. Existe la posibilidad de un cambio en su composición ya que los pozos se someten a diferentes métodos para mejorar la producción como son la inyección de agua, gas, estimulación en el yacimiento, actividad bacteriana, introducción de productos químicos, entre otros. El agua producida es básicamente una mezcla de agua de formación y de inyección y contiene pequeñas cantidades de: disueltos orgánicos, algunos metales pesados, minerales disueltos, sólidos (arena y sedimentos), gas disuelto y bacterias, aceite en suspensión, productos químicos (Sánchez, 2013).

2.15. Industria textil

La industria textil tiene un consumo de agua muy elevado en todos sus procesos: dimensionamiento, descolado, mercerización, limpieza, decoloración, impresión y acabado. Pero el volumen de agua utilizada es solo una parte del impacto ambiental de la industria. Los efluentes de la producción textil también pueden contener una amplia gama de contaminantes que dañan los recursos hídricos externos (Fluence, 2019).

A lo largo del tiempo, las diversas empresas dedicadas a la actividad textil ubicaron sus instalaciones en diferentes ciudades del país. Sin embargo, se puede afirmar que las provincias con mayor número de industrias dedicadas a esta actividad son: Pichincha, Imbabura, Tungurahua, Azuay, y Guayas (Zapata, 2016).

2.15.1. Impacto de las aguas residuales en industria textil

La textilera es una de las industrias que consume cantidades importantes de agua, energía y productos químicos en sus procesos de producción, además genera grandes volúmenes de agua residual. La contaminación de las aguas residuales textiles proviene de las impurezas o residuos presentes en la materia prima, así como de los productos químicos (Zapata, 2016).

Los colorantes textiles tienen una gran persistencia en el ambiente y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que oxidaciones o reducciones pueden generar productos altamente tóxicos (Castro, 2008)

2.15.2. Características de las aguas residuales de la industria textilera

Estas aguas poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componente inhibidores, clorados, tensoactivos. Por lo cual, este sector industrial genera efluente que se vuelven complejos al tratar. Productos químicos tales como tintes, ácidos, bases, sales, agentes humedecedores son utilizados durante su procesamiento, estos no permanecen en el producto textil terminado y alrededor del 20 al 30 % de estos se eliminan al momento del lavado y pasan a formar parte del efluente final (Zapata, 2016).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la investigación

Para llevar a cabo el presente trabajo hay que destacar que se basó en un tipo de investigación bibliográfica donde se recolectó información que permitió dar solución y alcance a los objetivos descritos.

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica en:

Descriptiva

Para la elaboración de este documento, fue necesaria la revisión bibliográfica, en donde se buscó describir los procesos llevados a cabo en las líneas de producción, en cuales de estas etapas se generan aguas residuales y por lo tanto requieren tratamiento ya que por su alto impacto no cumplen con lo requerido por la normativa.

Documental

Este documento al ser un trabajo de revisión bibliográfica no requirió el uso de variables, por lo tanto, no se vieron alteradas las condiciones existentes y establecidas.

Corte Transversal

El presente estudio se desarrolló en un lapso de tiempo correspondiente al periodo académico actual, comprendido entre noviembre 2020 – abril 2021.

Retrospectivo

En el proyecto se trabajó con diferentes fuentes de datos para recolectar información del tema de investigación propuesto.

3.3.Población

La población de este estudio se basó en documentos de tipo científico que se enfocan en la temática de los procesos llevados a cabo en las líneas de producción de las industrias lácteas, petrolera y de textiles, además de cuales etapas del proceso productivo son las que provocan más contaminación de aguas y como pueden ser tratadas las mismas. Las publicaciones analizadas fueron las que se encuentran en bases de datos de tipo científico académico como, Scielo, Dspace, Science Direct, Google Académico, Scopus, páginas web y otros, que permitieron obtener información válida para el logro de objetivos de la investigación y finalmente conclusiones.

3.4.Muestra

La muestra que se seleccionó consta de 89 fuentes bibliográficas de carácter científico, comprendidas por revistas extraídas de los buscadores: Scielo, Scopus, Science Direct y Google Académico, tesis de grado referentes al tema obtenidas de diversos Dspace de universidades, además de fuentes de información como sitios web de empresas de las ramas textil, láctea y petrolera y libros especializados en el tratamiento de aguas residuales.

3.5.Técnica de estudio y análisis de datos

Se aplicó una técnica de análisis documental, debido a que se analizó información de diferentes fuentes primarias y secundarias, de artículos científicos, revistas, tesis de grado y post grado, entre otras que aportaban información importante

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el tema de investigación presente se llevaron a cabo dos fases, las cuales muestran el proceso aplicado durante toda la etapa investigativa

3.5.1. **Etapa 1:** Se planteó la búsqueda de información mediante consulta en fuentes secundarias, en donde de manera bibliográfica se realizó la recopilación de información de bases de datos científicas antes mencionadas, además de libros especializados en el tratamientos y caracterización del agua (Metcalf & Eddy, 1995; Sawyer, McCarty y Parkin, 2011; APHA, AWWA, & WPCF, 2017; Valdez y Vásquez, 2010), así mismo, fue importante consultar las normativas nacionales

(TULSMA, 2015) y sitios web de organismos internacionales como CEPIS, EPA, AEMA, entre otras, todas estas fuentes permitieron ampliar y generar conocimiento acerca de tema en investigación. La información recolectada se clasificó inicialmente en los siguientes grupos: Sistemas de tratamiento, metodologías de caracterización de aguas, normativas de calidad y vertidos. Por otra parte, se realizó un análisis bibliográfico, de los procesos productivos y sistemas de tratamiento aplicados en tres empresas nacionales y procesos a fines a nivel mundial.

3.5.2. **Etapa 2:** Con la información recabada de datos secundarios y clasificada con anterioridad, se hizo un análisis de los procesos de tratamiento usados y de las características de las aguas residuales, de manera de poder plantear los parámetros de control que de forma teórica que deben ser aplicados, basados en metodologías de caracterización normalizadas o estandarizadas internacionalmente (APHA, AWWA, & WPCF, 2017; ANDI y BID 2012) y cumpliendo con las normativas nacionales (TULSMA, 2015). En función de las características de los procesos productivos y sus aguas residuales, se propuso la metodología de seguimiento adecuada en cada caso para el control del funcionamiento de los sistemas de depuración, y se analizó la opción del uso de laboratorios de control internos o externos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describe el desarrollo de los objetivos propuestos en el tema de investigación basados en la investigación documentada bibliográficamente, acerca de las metodologías de muestreo existentes y caracterización de aguas residuales de las industrias productoras de lácteos, petróleo y textiles para posteriormente hacer un análisis acerca de los tratamientos más adecuados de las aguas procedentes de las industrias antes mencionadas.

4.1. Metodología de muestreo y caracterización de aguas residuales

En este apartado se describe cual sería un proceso adecuado a llevar a cabo el muestreo de aguas residuales, de acuerdo a cómo lo describe la normativa. Una vez realizado el muestreo es necesario caracterizar dichas aguas con el fin de llegar a objetivos planteados.

A continuación, se detallan cada una de los tres tipos de procesos industriales en el siguiente orden: la industria productora de lácteos, productora de petróleo y textilera y los procesos llevados a cabo para obtener resultados confiables al momento de realizar una caracterización de sus aguas residuales y posterior toma de decisiones.

4.1.1. Industria láctea

De acuerdo con el mercado mundial de la leche y de los productos que se derivan de la misma, esta industria continua en crecimiento. Este sector perteneciente a la agroindustria se caracteriza por un algo grado de innovación en sus productos, de acuerdo con los hábitos alimenticios y exigencias para la salud y el bienestar de los consumidores. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), la producción y el consumo mundial de leche fluida crecieron a una tasa promedio anual de 1,9 % entre el 2006 y el 2016, al ubicarse en un máximo histórico de 597 millones de toneladas (Gaucín, 2017).

La elaboración como yogures, quesos y mantequillas tiene un gran impacto medioambiental, según numerosos estudios. Por una parte, está el gasto energético: cada año se producen en Europa 140 millones de toneladas de leche cruda, lo que se supone un gasto de energía promedio de 18400 GW/h, entre esterilización de equipos, iluminación, calentamiento y enfriamiento, transporte, etc. Por otra parte, esta industria consume una gran cantidad de agua que se convierte en residual y sueros contaminantes. Concretamente, entre 2 y 5 veces el volumen de leche producida, a causa de fugas y derrames, limpieza de equipos e instalaciones, etc. (RETEMA, 2016).

El problema ambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada, fundamentalmente de carácter orgánico. La mayor parte del agua consumida en el proceso productivo se convierte finalmente en agua residual (RENAPRA, 2016).

La industria láctea que procesa leche líquida y productos con una vida útil corta, tales como yogures, cremas y quesos blandos, tienden a estar ubicados en la periferia de los centros urbanos cercanos a los mercados de consumo. Las plantas que elaboran elementos de vida útil más larga, como la mantequilla, la leche en polvo, queso y suero en polvo, tienden a estar situados en zonas rurales cercanas a la producción de leche (Tuset, Cordorchem envitech, 2017).

En 2017, en Ecuador se obtuvieron 5319000 litros de leche diarios, de los cuales el 65 % se destinó a la industria, siendo el 36,9 % de este volumen empleado para la elaboración de quesos (Cortez, 2018).

La producción de leche en Ecuador se concentra en la provincia de Pichincha con más de 845000 litros/año (2016), en segundo lugar, está la provincia de Azuay con 561000 litros/año y, en tercer lugar, Cotopaxi con cerca de 484000 litros/año. La Sierra Andina de Ecuador abarca la mayor cantidad de producción de leche a nivel nacional, lo que equivale al 64 % de la producción, mientras que la región Costa ocupa el 30 %, y la región Oriental mantiene un 6 % (INEC, 2016). Así mismo en las regiones donde más producción hay, es donde más transformación de la materia prima se da, ya que las industrias se concentran en estos sectores principalmente para abaratar costos por el transporte de la leche principalmente.

Las aguas residuales de esta industria dependerán principalmente de qué tipo de productos elabora, es decir, que sus efluentes se verán aún más impactadas de manera negativa si la

industria se dedica a la transformación de la materia prima no solo leche procesada sino también a quesos, yogures, mantequillas y otros posibles con la tarea de esta industria.

Para el desarrollo de esta investigación se ha seleccionado una industria láctea del Ecuador en la cual se puede observar la producción de lácteos y por consiguiente la generación de aguas residuales.

Proceso de producción de aguas residuales en la industria láctea

En los procesos lácteos el caudal del efluente no es constante, ya que por lo general es en horas de la mañana donde se receipta la materia prima para iniciar con la transformación, luego de esta primera etapa se dan procesos de enfriamiento para lo cual es necesario la circulación de agua y también es muy importante destacar que inicialmente también se deben tener en cuenta los procesos de limpieza e higienización de las maquinarias y áreas de trabajo que es una de las actividades que más consumo de agua requiere.

Como se ha descrito ya anteriormente la industria productora de lácteos se dedica a la elaboración de varios subproductos, en donde el consumo de agua y producción de efluentes residuales dependerán de estos, es decir, los contaminantes de las aguas generadas, van en función del tipo línea productiva (leche, queso, yogurt, mantequilla, etc.) y de las características finales de determinado producto, ya sea con mayor o menor contenido por ejemplo de sal o grasa. A continuación, se detallan los procesos productivos de la leche, queso y yogurt y se describen algunos de las etapas en donde se van generando residuos líquidos (Figura 1).

Antes de la recepción de la materia prima es necesario realizar un proceso de limpieza de los recipientes en los que se recolecta la leche, seguido del acondicionamiento de las instalaciones productivas materiales y equipos a usar dentro de la línea de producción. Todos estos procesos de limpieza se realizan en cada sector de la empresa y principalmente se utiliza abundante agua y detergentes.

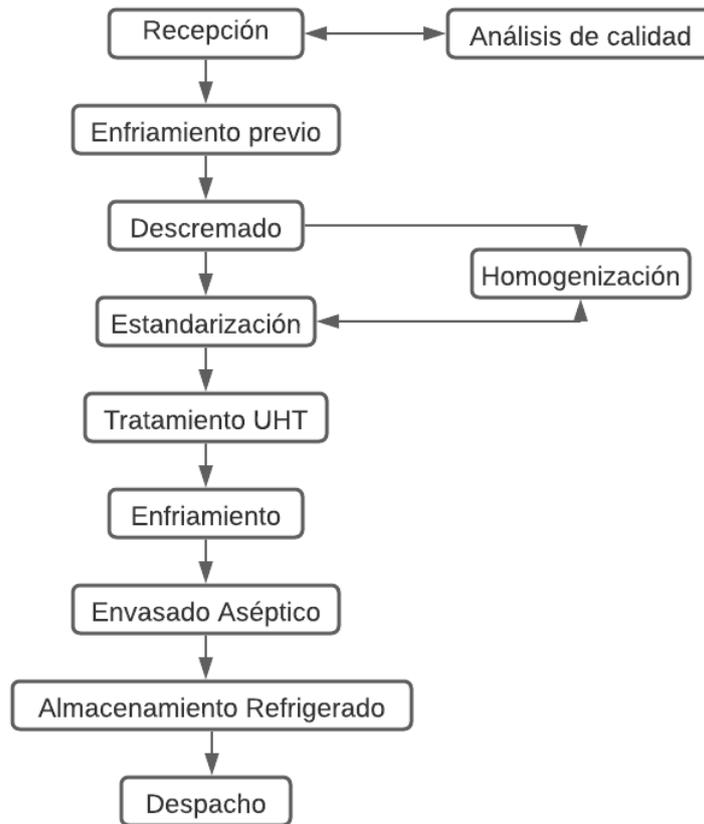


Figura 1. Proceso de producción de leche

Fuente. (Aldana & Ingeniería, 2009)

- De acuerdo con lo que se observa en la Figura 1, el proceso inicia con la recepción de la leche, que por lo general se realiza en cisternas y luego en tanques de almacenamiento, luego estos equipos de almacenaje se higienizan generando efluente con trazas de nata y residuos líquidos principalmente, su volumen dependerá principalmente de la cantidad de leche tratada.
- Dentro de los procesos de enfriamiento y descremado no existe un gran consumo de aguas y por lo tanto, tampoco producen aguas como residuos.
- En el siguiente subproceso de estandarización de la leche se crea un balance en la cantidad de grasas que deberá poseer la leche, es decir, se ajusta el nivel de grasa con la adición o eliminación de nata mediante la tecnología de centrifugación, generándose residuos en pequeñas cantidades.

- En los Tratamientos térmicos se realiza la eliminación de microorganismos. Al usarse vapor de agua a través de intercambiadores de calor el residual se caracteriza por altos grados de temperatura que pueden alterar a los procesos siguientes que se apliquen al residuo líquido.
- Para el transporte de los productos lácteos líquidos se lleva a cabo mediante tuberías las cuales conducen la leche hacia zonas de empaque, produciéndose restos líquidos los cuales luego se mezclan con agua mediante la limpieza, en esta etapa la cantidad de residuos generados es baja.
- Finalmente, en la limpieza de las líneas de producción se generan residuos con sustancias en la mayoría de los casos muy ácida o muy básicas lo que se convierte en un factor que hay que tener en cuenta a la hora de aplicar un tratamiento a estas aguas producidas.

Como se ha descrito en el proceso de producción de leche lo mismo pasa con el uso del agua, en la producción de queso como se detalla en la Figura 2, es decir, en la etapa de higienización y lavado de material de trabajo, utensilios, maquinaria y área donde se lleva a cabo los procesos productivos, se generan gran cantidad de residuos líquidos con cargas de compuestos químicos provenientes de los productos de limpieza.

- El proceso de producción de quesos inicia con la recepción de la materia prima como es la leche, donde se le verifican que sus parámetros se encuentren en los límites que permitan un producto final de calidad.
- Luego se aplica calor para eliminar sustancias patógenas que puedan afectar la salud del consumidor (etapa de terminación) nuevamente se usa vapor de agua que finalmente se convertirá en un residuo con aporte térmico.
- En el desnatado y normalización se verifica la cantidad de grasas, y se pueden generar residuos sólidos de nata, pero este subproducto se puede colocar en otros recipientes y darle un tratamiento para consumo humano y de esta manera no se produciría efluente líquido.

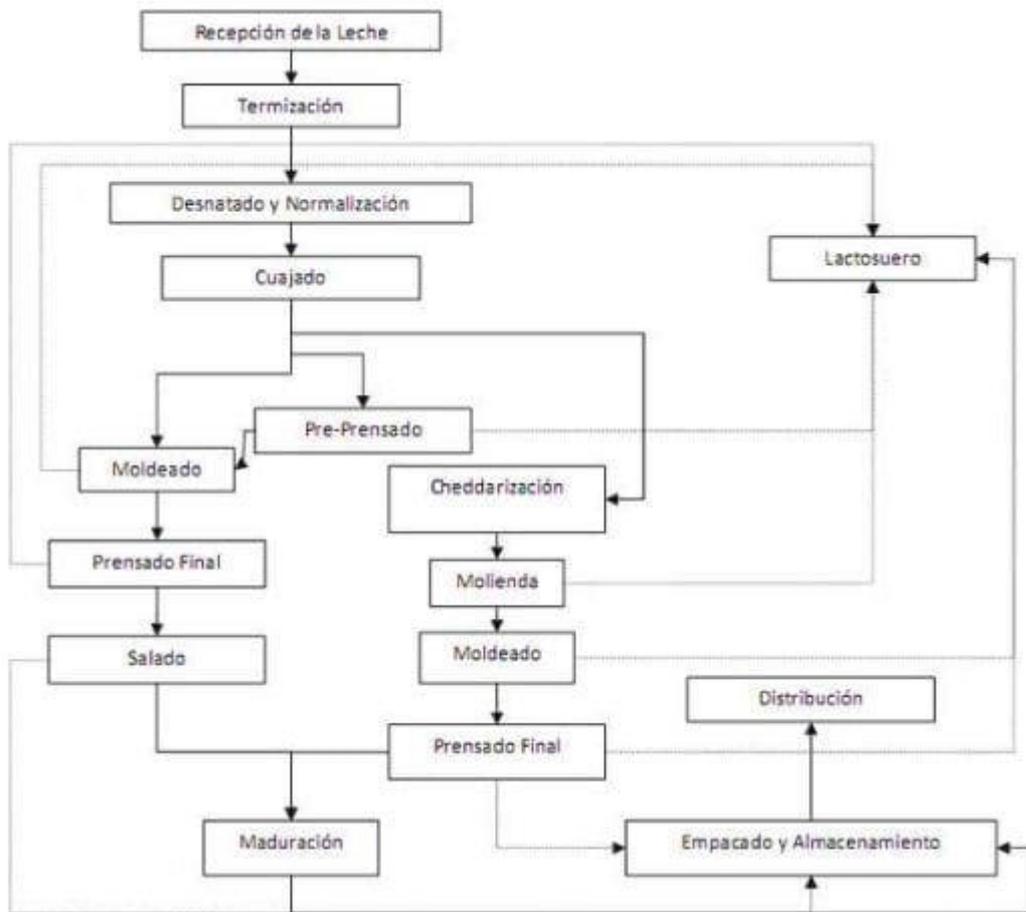


Figura 2. Proceso de producción de quesos.

Fuente. (Aldana & Ingeniería, 2009)

- Para la elaboración de quesos es necesario la aplicación de cuajos, el cual es una enzima que es posible extraerla del estómago de algunos ganados. En el cuajado aparece el suero o lactosuero y este es otro de los residuos líquidos que provoca dificultades al momento de tratar las aguas ya que su presencia aumenta la concentración de materia orgánica en dichas aguas. En el momento de separar el suero del queso se generan residuos sólidos los cuales son arrastrados en el proceso de higienización llegando hasta las plantas de tratamiento de aguas, ralentizando su proceso de tratamiento.
- En el moldeado y prensado de los quesos se generan residuos de pequeños cortes de éste, que son importantes a tener en cuenta porque pueden ocasionar taponamientos y aportan DBO al efluente.

- Otro de los procesos a tomar en cuenta es el salado, que es donde se coloca los quesos en salmuera para que estos absorban la sal y su tiempo de conservación sea mayor. Por lo tanto, esta salmuera provoca alto impacto en las aguas residuales salientes del proceso al incrementar enormemente el contenido de sales.
- En el proceso de empackado y almacenamiento se generan residuos como suero mezclado con sal, y residuos sólidos que se pueden desprender al momento de empackar los quesos.
- Al final de la jornada se realiza la higienización y lavado de todos los equipos y área de trabajo generando grandes cantidades aguas residuales cargadas de detergentes y que a su vez también arrastran a los residuos sólidos.

Al igual que en los anteriores procesos en la Figura 3 se muestra un diagrama de la línea de producción de yogures.

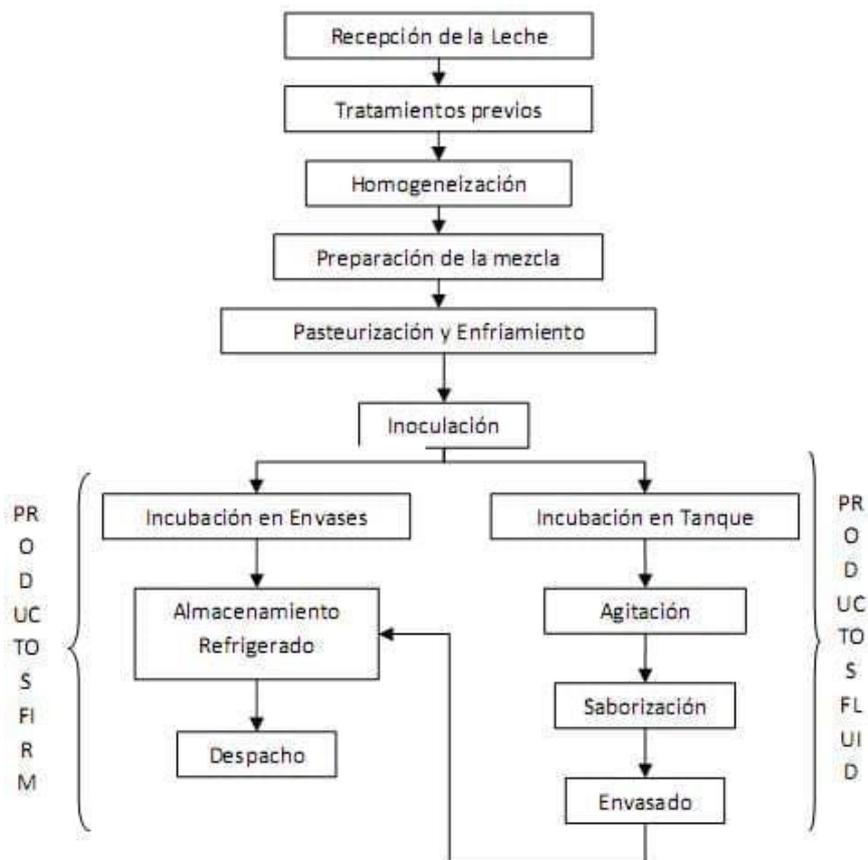


Figura 3. Proceso productivo del yogurt

Fuente. (Aldana & Ingeniería, 2009)

- En la Figura 3 para la producción de yogurt al igual que en la producción leche y quesos, se inicia con la recepción de la materia prima, tomando en cuenta de que los recipientes deben estar debidamente higienizados, además, se realizan los análisis y tratamientos previos para conocer la calidad y comprobar que cumple con los estándares necesarios para la producción de yogurt.
- En la etapa de homogenización se controla la formación de natas en la leche y el producto final tenga un sabor y consistencia acorde a la característica de los yogures, no generando aguas residuales.
- El proceso pasteurización y enfriamiento requiere el uso de agua y puede transformarse en un inconveniente al momento de tratar los efluentes generados ya que salen a temperaturas elevadas.
- La inoculación consiste en la adición de los cultivos de bacteria para que realicen el trabajo respectivo, sin producir efluentes.
- De igual manera en la incubación no se generan efluentes líquidos, solo consiste en tratamiento en recipientes tomando en cuenta de si el producto final tendrá algún tipo de sabor, caso contrario se procede a almacenar, refrigerar y despachar. De ser necesario, se adicionan frutas o saborizantes antes del almacenaje.
- Por último, también se contempla el proceso de lavado e higienización de toda el área de trabajo, común en las anteriores líneas, donde más aguas residuales se producen.

Como se ha descrito en las Figuras 1, 2 y 3, existen dentro de las industrias lácteas diversas etapas donde se generan los efluentes que deben ser tratados en los sistemas de depuración de aguas residuales, coincidiendo o no según el producto, los residuales, pero siempre es importante resaltar que, la cantidad de de contaminantes y sus concentraciones dependen del tamaño de la fábrica.

En la Tabla 1. se hace una valoración de la cantidad de agua que consumen los diferentes procesos productivos en la industria productora de lácteos. Y como ya se ha venido haciendo énfasis anteriormente las operaciones de limpieza y desinfección, de la generación de vapor y refrigeración son las que más agua consumen y por lo tanto donde más se generan aguas residuales. Estas aguas al ser producto de transformación de leche resultan con altas concentraciones de materia orgánica lo que puede volverse en un problema, si se desea aplicar un proceso de tratamiento ya que no solo aumentarían sus costos si no también el tiempo requerido para que finalmente estas aguas presenten los parámetros permitidos por la normativa.

Tabla 1. Valoración cualitativa del consumo de agua en la industria láctea.

PROCESO PRODUCTIVO	NIVEL DE CONSUMO	OPERACIONES CON MAYOR CONSUMO DE AGUA	OBSERVACIONES
Leche	Bajo	Tratamiento térmico Envasado	
Mantequilla	Bajo	Pasterización de la nata Batido-Amasado	Lavado de la mazada antes del amasado
Yogurt	Bajo	-	Principalmente en operaciones auxiliares
Queso	Medio	Salado	Salado mediante salmueras
Operaciones Auxiliares	Alto	Limpieza y desinfección Generación de vapor Refrigeración	Estas operaciones suponen el mayor consumo de agua

Fuente: (CAR/PL, 2002)

Características de los efluentes de una industria de lácteos

Como se mostró en la Tabla 1, en la industria láctea la producción de quesos es ciclo productivo con la mayor generación y carga contaminante de las aguas. Una manera de poder cuantificar los niveles de concentración de los compuestos dentro de los efluentes en el agua y al mismo tiempo saber el buen funcionamiento del sistema de depuración se debe realizar un muestreo adecuado y una caracterización del efluente.

Como las características del efluente depende de los factores antes explicados y al ser una investigación documental, para poder tener un referente del nivel de contaminación que se produce en la industria láctea, se realizó una revisión bibliográfica de diferentes

caracterizaciones de aguas residuales generadas en este tipo de donde se manejan las tres líneas de procesos como es la producción de leche, queso y yogurt.

Tabla 2. Principales parámetros afectados por los efluentes en la industria láctea

PARÁMETRO	VALORES*	VALORES**	VALORES***	VALORES****
DBO₅ (mg/L)	3026,8	2980	2997	3581
DQO (mg/L)	9099,3	3940	6415	6881
Aceites y grasas (mg/L)	382,6	120	306	289
Nitrógeno total (mg/L)				56,68
pH	7,3	4,75	6,18	5,34
Conductividad (mS/cm)	4,0	7700	2895	2683
Temperatura (°C)		29	18,22	
Turbidez (NTU)	1281,6	420	1026	875

Fuente: (Cuvi, 2017)*, (Miranda G. , 2017)**, (Haro, 2015)***, (Soria, 2019)****

Elaborado por: Autor (2021)

Como se puede observar en la Tabla 2, se detallan los valores de parámetros analizados por diferentes autores, y es evidente que de algunos valores no son constantes, esto dependerá de cómo manejan su línea de proceso dentro de dichas industrias o de cuanta cantidad de materia prima ingresa y transforman a productos ya elaborados.

Estas aguas residuales debido a su procedencia tienen alta carga orgánica por lo tanto para su control serán necesarios realizar estudios de los parámetros mayormente afectados como la DBO, DQO. También se deben realizar análisis de aceites y grasas debido al alto contenido de estas sustancias en los lácteos. Los niveles de nitrógeno se deben no solo por la presencia de la de la materia prima sino también por el uso de sustancias necesarias para higienización como son los detergentes.

Aunque el valor promedio del pH indica neutralidad, es importante controlarlo debido a que por la naturaleza de las aguas este podría verse afectado no cumpliendo con los estándares de la norma nacional. Como se mencionó anteriormente, los procesos de enfriamiento hacen que el agua usada como vapor sea un problema ya que esta puede llegar a altas temperaturas al proceso de tratamiento de aguas, por lo tanto, es importante

también medir temperatura. Es necesario medir la turbidez ya que esta nos indica de manera rápida de que entre más turbia el agua esta podría estar más contaminada.

Aunque en la Tabla 2 no hay reportes de niveles de sales de forma específica, aunque la bibliografía si resalta la conductividad, este es un parámetro que no presenta límites por su naturaleza, pero es un buen indicativo de las sales disueltas, por lo tanto, siempre es recomendable usar un parámetro de control específico como podría ser la dureza o salinidad del agua, el contenido de iones bivalentes (dureza) es más común usar por la facilidad de medición, y hay que recordar que en las aguas residuales de este tipo de industria se encuentran sales disueltas que afectan a este parámetros especialmente en la producción de quesos por el proceso de salado.

Muestreo de aguas residuales de la industria láctea

El muestreo de aguas se describe en la Norma Técnica Ecuatoriana 2176:(2013). Agua: Calidad de Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, donde se menciona cual es el proceso para llevar a cabo al momento de toma de muestras de aguas de cualquier tipo para realizar análisis necesarios con algún fin específico.

Al iniciar un proceso de muestreo es importante considerar el objetivo del análisis para así determinar cuál será el alcance del estudio y organizar de manera ordenada el proceso a llevar, cumpliendo así dentro de tiempos establecidos en el cronograma de trabajo.

En la Figura 4 se detalla el proceso que se lleva generalmente a cabo al momento de tomar muestras de aguas residuales en la industria para posteriormente analizar las mismas en el laboratorio. La toma de muestras de aguas residuales en las diferentes industrias es un proceso el cual debe ser planificado, donde se establezca para qué se van a realizar dichos análisis ya que de acuerdo a ello se seleccionan también los parámetros a analizar y para ello existen parámetros que para su muestreo es necesario seguir protocolos mucho más rigurosos.

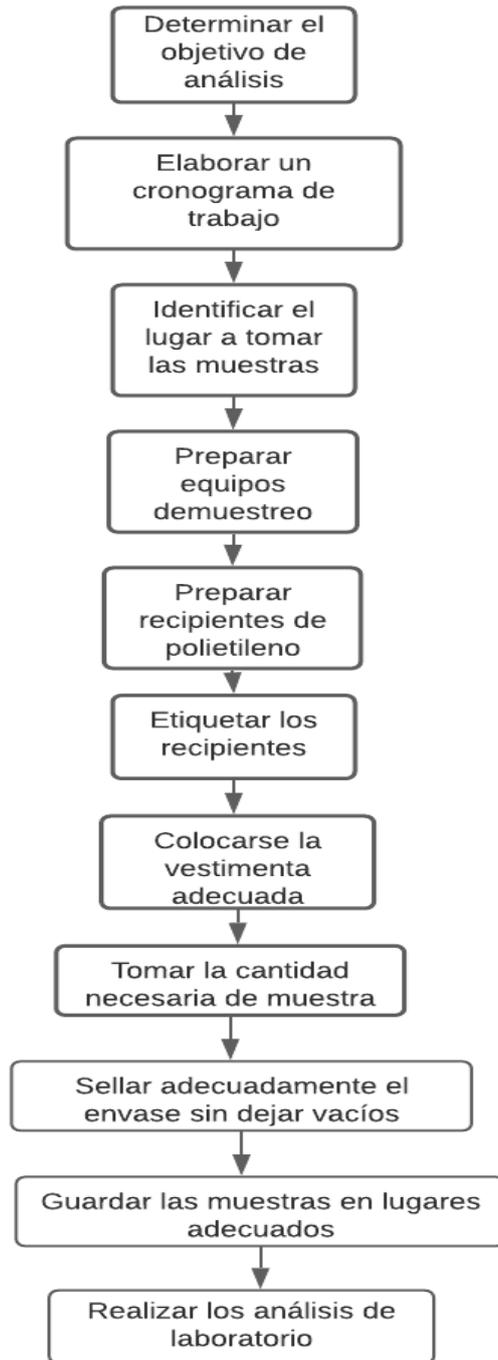


Figura 4. *Proceso de toma de muestras de aguas residuales en la industria*

Fuente. Autor (2021)

- Para iniciar un proceso de muestreo es importante determinar cuál o cuáles serán los objetivos que yo pretenda al obtener los valores de los parámetros analizados.

- Se debe contar con un cronograma de trabajo que permita cumplir de manera ordenada y planificada con todos los procesos necesarios para obtener los valores del muestreo.
- Identificar el lugar de toma de muestras para constatar que tan difícil va a ser recolectar las muestras o cuanto tiempo consumirá el recolectar las mismas.
- Contar con equipos para el muestreo calibrados.
- Los recipientes de muestreo deben ser adecuados, de manera que eviten derrames o corrosión del envase, todo dependerá de la naturaleza de la muestra.
- Etiquetar los recipientes para evitar confusiones y general datos no válidos.
- Emplear vestimenta adecuada que permita la protección de la persona que toma la muestra ya que dependiendo de la procedencia de las aguas unas podrían provocar daños al tener contacto con las mismas.
- La cantidad de agua recolectada como muestra dependerá de los parámetros que se vayan a analizar.
- Sellar o evitar de que se generen derrames de la muestra que produzcan variaciones en los parámetros.
- Almacenaje de las muestras en lugares adecuados permite que los parámetros no se vean alterados.
- Una vez las muestras en el laboratorio, su análisis deberá ser lo más pronto posible con ellas a que mientras pasa el tiempo los parámetros cambian y nos arrojarían datos no reales.

Las aguas residuales procedentes de la industria láctea por lo general, no representan mayor peligro al momento de su manipulación, presentan solo alta carga orgánica pero no sustancias tóxicas (Tabla 2), por ello que se suelen utilizar recipientes plásticos de polietileno, rotulados para no provocar confusiones en las muestras, esterilizados que al momento de cerrarlos no provoquen derrames.

Caracterización de las aguas residuales de la industria láctea

Una vez realizado el proceso muestreo de las aguas residuales es necesario hacer la caracterización de las mismas, como se mostró en la Tabla 2, los principales contaminantes de las aguas residuales que manejan la producción de leche, quesos y

yogures son la DBO, DQO, aceites y grasas, nitrógeno, por lo tanto, en la caracterización es necesario un enfoque y medición de estos parámetros para lo cual es necesario seguir procesos estandarizados como son los reportados por el Manual de Métodos Estándar (APHA, 2017), los cuales detallan un proceso correcto al momento de realizar los análisis de laboratorio.

En la tabla 3, se muestran los parámetros que más se analizan en la industria de lácteos, además se nombran los métodos de análisis normalizados a aplicar según la Asociación Americana de Salud Pública, la Asociación Americana de Obras Hidráulicas, y la Federación de Medio Ambiente de Agua. En la tabla también se detallan las técnicas a ocupar en cada uno de los parámetros en análisis. En los Anexos 1, 2 y 3 se muestran los protocolos estándar de los parámetros DBO, DQO y aceites y grasas.

Tabla 3. Parámetros y metodologías a seguir para el análisis de aguas residuales de la industria productora de lácteos.

PARÁMETRO	MÉTODOS	TÉCNICA
DBO₅	Ref: Standard Methods 5210 B	Incubación y electrometría
DQO	Ref: Standard Methods 5220-D	Dicromato de Potasio
Aceites y Grasas	Ref: Standard Methods 5520-B	Gravimetría
Nitrógeno Total	Ref: Standard Methods 4500-N	Kjeldahl
pH	Ref: Standard Methods 4500-H ⁺	Potenciométrico
Conductividad	Ref: Standard Methods 2510-B	Conductimetría
Temperatura	Ref: Standard Methods 2550-B	Termómetro, Electrodo
Turbidez	Ref: Standard Methods 2130-B	Nefelométrico

Fuente: APHA (2017)

Analizando las técnicas de la Tabla 3, se pueden destacar los siguientes puntos:

- La DBO₅ el método consiste en medir el oxígeno consumido en un periodo de 5 días.
- Para el análisis de la DQO este método es más económico en el uso de reactivos y generan cantidades más pequeñas de residuos peligrosos.
- Aceites y grasas se aplica este método ya que es útil para aguas residuales superficiales domésticas e industriales.

- En el análisis del nitrógeno total es el método más adecuado ya que mide diferentes especies de nitrógeno presentes en las aguas.
- Para el análisis del pH es la técnica más rápida de valoración.
- En la conductividad este método es efectivo tanto para aguas superficiales, potable y aguas residuales.
- Al medir temperatura se aplica este método mediante la aplicación de termómetro para el análisis de agua a residuales.
- Para conocer la turbidez este es medido a través de un turbidímetro el cual mide el grado de dispersión de la luz por la muestra analizada

4.1.2. Industria petrolera

En la actualidad, el petróleo es una de las materias más valiosas del mundo y se conoce como “oro negro”. Como consecuencia, los países con mayores reservas petrolíferas son los más ricos. A menudo, eso significa también que tienen más poder de influencia sobre los asuntos internacionales (Fernández, 2019).

En la industria de hidrocarburos, cada gota de agua que se emplea antes, durante o después de la operación no puede ser usada libremente. Por cada barril de petróleo que se produce en los campos de Ecopetrol en el país, también se extraen otros 12 barriles de agua en promedio; sin embargo, esto depende de la condición del mecanismo de producción del yacimiento. En el mundo se invierten unos US\$50 billones anuales para el manejo de aguas de producción. En los próximos seis años, Ecopetrol invertirá en el campo Castilla US\$1.400 millones para el tratamiento y disposición final del agua (Ecopetrol.S.A., 2014).

El petróleo es sin lugar a duda el principal producto de exportación del Ecuador, que representa aún cerca del 40 % de las exportaciones totales, con una participación importante del PIB, representando el 9 % al 2019. Ha sido el eje fundamental de la economía ecuatoriana en las tres últimas décadas. El petróleo sigue siendo la columna vertebral de la que dependen las finanzas y la economía del Ecuador y sigue siendo el factor fundamental en el crecimiento del país pues es la principal fuente de divisas, equilibra la balanza comercial y contribuye al financiamiento del presupuesto del Estado (Pastor, 2020).

La producción de agua no deseada cuesta a las operadoras millones de dólares al día. Los costos del manejo y eliminación del agua producida a menudo acortan la vida económica de un pozo. Por otra parte, la eliminación del agua producida es una preocupación ambiental. Especialmente en pozos offshore. Las compañías petroleras en el Ecuador buscan formas económicas para mejorar la eficiencia de la producción de petróleo y los servicios de control del agua resultan ser uno de los métodos más rápidos y menos costosos (Villegas, 2013).

Proceso de producción de aguas residuales en la industria petrolera

Esta industria al igual que la industria productora de lácteos tiene varias líneas de procesos las cuales son amplias y complejas, así mismo se obtienen varios productos finales. Para lo cual es necesario hacer un análisis de cuál es el proceso donde más se genera contaminación de aguas residuales, que según (Ecopetrol, 2016) es la fase de producción con un 91,72 % del total, a diferencia de fases como exploración, transporte y refinación.

Según (Bianchi, 2018), esta industria usa términos como el upstream, midstream, downstream: y es en este primero donde se enfoca el análisis de este estudio ya se enfoca principalmente en la exploración, descubrimiento y la producción en sí del petróleo y gas. En el del Anexo 4 se pueden apreciar un esquema de los procesos productivos que componen esta importante industria.

En la fase de producción se incluyen actividades como: vertimientos industriales, vertimientos domésticos, aguas de producción, reinyección para recobro mejorado, inyección como destino final, y vertimiento a cuerpos de agua (IDEAM, 2015).

El agua de producción es un término usado en la industria petrolera para describir el agua que viene asociada con la extracción del petróleo y el gas. Este recurso usualmente es el fluido que se produce en mayor volumen. Para hacer disposición del agua generada es necesario tratarla, generalmente en tres etapas: tratamiento primario, secundario y terciario (PGSSAS, 2014).

A continuación, en la Figura 5, se detallan los procesos en los que se enfoca el proceso productivo de esta industria y además de estos son los que impactan significativamente el recurso agua ya sea por la cantidad que se requiere sino también por los contaminantes químicos a las que son expuestas.



Figura 5. Proceso llevado a cabo en la producción de petróleo

Fuente. Montaña (2015)

- Dentro del esquema de la Figura 5, los procesos que más requieren agua son la de preparación de lodos, que es en donde se adicionan sustancias que permiten o facilitan la perforación de las capas inferiores del suelo.
- También en la etapa de perforación se generan grandes cantidades de agua las cuales aparecen por el rompimiento de las capas internas del suelo y que además éstas se contaminan con los lodos inyectados y con las sustancias químicas propias de las rocas bajo la superficie.
- En la extracción debido a la presión existente no solo sale a superficie petróleo si no también agua, por lo tanto, el efluente contiene hidrocarburos y otras sustancias químicas que representan peligro en el agua si no son tratadas adecuadamente.
-
- El transporte es un proceso que se lo lleva a cabo mediante tuberías y no genera mayor impacto en lo que a consumo de agua respecta. Al igual que, la desgasificación que es un proceso que consiste en separar el gas del hidrocarburo para ser llevado a otra línea de procesos.

- Otros subprocesos tampoco generan aguas residuales como: el proceso de calentamiento que ayuda a disminuir la viscosidad para su transporte por las tuberías recorriendo largas distancias hasta llegar a las refinerías, y el proceso de almacenamiento, cuando se aplica de manera adecuada.
- En la etapa de desemulsificación se elimina el agua que contiene el crudo, generando efluentes con cargas de hidrocarburos.

Características de las aguas residuales de la extracción de petróleo

Es importante destacar que este estudio se enfoca en un análisis de las aguas generadas en la etapa extractiva – productiva del petróleo que es donde más aguas residuales se generan. Por lo tanto, para conocer los niveles de los principales contaminantes presentes en los efluentes se realiza una revisión bibliográfica sobre las características que presentan estas aguas (Tabla 4) y que parámetros se toman en cuenta para realizar dicha caracterización (Tabla 5).

Tabla 4. Principales parámetros analizados en los efluentes de extracción de la industria productora de petróleo

PARÁMETRO	VALORES*	VALORES**	VALORES***	VALORES****
pH (pH)	7,1	7,22	6,93	
DQO (mg/L)	749	650		2998
Fenoles (mg/L)	7,63	8,04		
TDS (g/L)	10,50	8		
Cloruros (mg/L)	6220,12	3000	5900	5698
TPH (mg/L)	30,2		50	22,7

Fuente: (Tapia, 2016)*, (Ortega, 2019)**, (Prieto & Puente, 2016)***, (Paredes, 2016)****

Elaborado por: autor (2021)

En la Tabla 4, se toma en consideración los parámetros que más se analizan al momento de caracterizar las aguas residuales de esta industria. Y uno de los parámetros que se analiza es el pH ya que este describe un límite permisible en la normativa tanto del TULSMA (2015) como del RAOHE (2010), aunque se puede apreciar que los reportes indican niveles de neutralidad en los efluentes. El parámetro de DQO es importante medirlo debido a que en el proceso de preparación de lodos se adicionan sustancias

químicas fuertes que pueden alterar de manera drásticas las propiedades de las aguas residuales generadas.

Los fenoles son sustancias nocivas que al llegar al ambiente generan efectos muy negativos para lo cual en la normativa del RAOHE (2010) detalla un límite permisible muy bajo el cual es importante tratar si se encuentra sobre los límites sugeridos por tal normativa que según esta debería ser $< 0,15$ mg/L de fenoles.

Los TDS es un parámetro que es muy característico en este tipo de aguas, pero su tratamiento no implica mayor dificultad y su presencia en las aguas no tiene mayor impacto. Mientras que los cloruros al tener valores elevados hacen que por su naturaleza causen obstrucciones y problemas de corrosión en las tuberías.

Y finalmente los TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) que son un parámetro imprescindible en este tipo de aguas y que tanto el TULSMA (2015), como el RAOHE (2010), especifican un límite permisible de <20 mg/L y <30 mg/L respectivamente, para la descarga de este tipo de aguas.

Es importante resaltar que en las plantas de refinación en cada uno de los procesos que se llevan a cabo se realizan muestreos de hidrocarburos; que si no se hacen con cuidado pueden ocasionar descargas al alcantarillado que se dirige a la planta de tratamiento de agua residual (Torres & Gutiérrez, 2017), lo que afecta la calidad de los efluentes y que en forma general, no es tomado en cuenta al momento de tener en cuenta los principales focos de efluentes de la industria petrolera

Muestreo de aguas residuales en la industria petrolera

Al realizar análisis de este tipo de aguas los principales parámetros para la valoración son los hidrocarburos, grasas y aceites principalmente. A continuación, se detalla el proceso que se deberá llevar a cabo para la toma de estas muestras.

- Se deben usar frascos de vidrio de boca ancha con capacidad máxima de un litro, previamente enjuagados con un solvente para remover cualquier película de detergente y evitando subdividir la muestra en el laboratorio, marque el nivel en el frasco para posterior determinación de volumen de muestra.

- La tapa debe estar provista de una lámina de papel aluminio que impida el contacto de la muestra con la parte interna de la tapa.
- Preservar las muestras usando HCl o H₂SO₄ concentrado a pH < 2, esto se hace con el fin de romper las emulsiones e hidrolizar los jabones y detergentes, los cuales pierden su componente polar y revirtiéndose a una estructura hidrocarbonada que interfiere en el análisis específico.
- Cuando se requiere información acerca del promedio de concentración de hidrocarburos sobre un periodo de tiempo extenso, se recomienda analizar porciones individuales tomadas a intervalos de tiempo predeterminados.
- La muestra preservada se puede almacenar durante un periodo máximo de 28 días a una temperatura de 4°C (IDEAM, 2007).

Caracterización de las aguas residuales de la industria petrolera

El agua residual proveniente de la extracción petrolera como se reportó en la Tabla 4, es un agua altamente contaminada por: aceites y grasas (referido dentro del parámetro TPH), sólidos suspendidos totales, sustancias químicas, sales y metales o sulfuros, que se pueden medirse por separado o asociarse en otros parámetros como DQO (PSCEngineering, 2018).

Tabla 5. Parámetros y métodos para aplicar en las aguas residuales de la producción petrolera

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	TÉCNICA ANALÍTICA
pH (pH)	Ref: Standard Methods 4500H+B	Electrometría
DQO (mg/L)	Ref: Standard Methods 5220-D	Reflujo cerrado colorimétrico
Fenoles (mg/L)	Ref: Standard Methods 5530-D	Espectrofotométrico
TDS (g/L)	Ref: Standard Methods 2540 C	Gravimetría
Cloruros (mg/L)	Ref: Standard Methods 4500-CI B	Argentometría
TPH (mg/L)	ASTM D7678	Espectrofotométrico

Fuente: (Tapia, 2016)

Elaborado por: autor (2021)

Los parámetros descritos en la Tabla 5, son los que mayormente se ven afectados por lo tanto es recomendable hacer un análisis de estos y así verificar si el proceso de tratamiento

es el adecuado de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis tras el tratamiento de aguas.

El proceso de análisis de tales parámetros se rige bajo los Métodos normalizados estandarizados (APHA, 2017), los cuales tienen metodologías probadas para la obtención de resultados confiables y así mismo en Tabla se detalla la técnica analítica a aplicar en cada método para la obtención de los valores de los parámetros.

En este tipo de aguas residuales es imprescindible el análisis de TPH, ya que este menciona que mide los hidrocarburos totales del petróleo en aguas y aguas residuales, para el análisis de este parámetro se toma como referente al Método de ensayo estándar ASTM (Tapia, 2016), que es una técnica estándar para la industria petrolera y que no es descrita por las metodologías normalizadas para aguas residuales (APHA, 2017).

4.1.3. Industria textil

La industria textil en Ecuador tiene un peso muy significativo en su economía a pesar de los datos recientes sobre y contracción con una caída de un 11,3 % en 2020. La industria, sector o ramo textil es el segundo sector económico en Ecuador que genera más empleo, en torno a 170.000 puestos de trabajo, lo que supone un 21 % de los que se produce la industria manufacturera del país (Gómez S. , 2020).

Según (Obando, 2020), las aguas residuales producidas por la industria textil en su mayor parte están afectadas por el color que presentan las mismas, especialmente cuando se emplean tintes de tipo sintético, que generan un mayor impacto debido a que los acuíferos no tienen la capacidad de autodepurarse frente a éstos. Pese a que la normativa ecuatoriana no indica límites máximos permisibles para este parámetro es importante tenerlo en cuenta y proponer a futuro su regularización.

Proceso de producción de aguas residuales en la industria textilera

La fabricación de diferentes productos textiles se lleva a cabo a partir de procesos como lavado, lanzado, estirado, acabado, teñido, lavado entre otros; los cuales generan descargas de agua que pasan a ser parte del efluente final (Zapata, 2016).

Como ya se describió anteriormente la industria textilera es muy amplia y se caracteriza por:

- La producción de fibras que son la materia prima ya sea natural o de tipo sintética, mencionando que este es uno de los procesos que consumen grandes cantidades de agua ya sea para la producción de algodón, lanas y otras que se derivan del petróleo.
- La hilandería que se enfoca en el proceso de convertir las fibras en hilos.
- La tejeduría se trata de convertir los hilos en telas.
- La tintorería y acabados que como el nombre lo dice se basa en dar color a las telas ya elaboradas.
- La confección que se trata netamente de la fabricación de ropa a partir de las telas e hilos ya obtenidos (Raffino, 2020).

La industria textil es muy amplia, por lo tanto, este estudio se enfoca principalmente en una de las líneas de producción de esta industria que más impacta al sector hídrico y es el proceso de tintorería, el cual se esquematiza de forma resumida en la Figura 6.

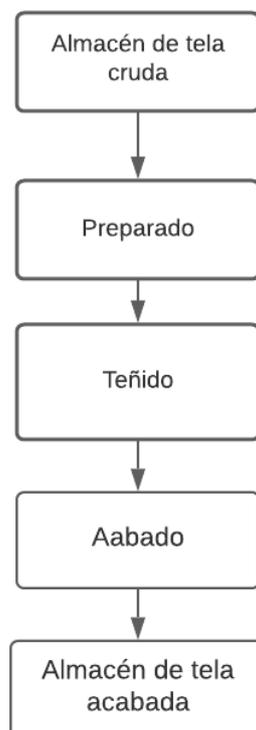


Figura 6. Proceso llevado a cabo en la tinturación de la tela en la industria textil

Fuente. (Candiotti, 2017)

- En el preparado de la tela se trata de dar condiciones especiales a la misma para que posteriormente permita un teñido de calidad. En esta etapa se aplican números subprocesos (desengomado, desencolado, lavado mercerizado, secado y revisión) que requieren el uso de grandes cantidades de agua y la adición de sustancias químicas como la NaOH, H₂O₂, dispersantes los cuales forman parte de los residuales.
- En el proceso de teñido se busca dar el color deseado a la tela, donde se aplican subprocesos como el impregnado, reposos, lavado, teñido tina, reducción / oxidación y teñido thermosol, esta etapa genera efluentes con cargas de colorantes, dispersantes e hidrosulfito de sodio.
- En el acabado lo que se busca es que la tela tenga una buena apariencia, y consiste en emplear un secado, suavizado, calandrado, sanforizado, revisión y finalmente el enrollado. Los residuales de agua básicos como desechos químicos, pero en menores cantidades que los procesos anteriores (Candiotti, 2017).

Características de las aguas residuales de la industria textil

El efluente final depende en gran medida del tipo de producto que se desee obtener en esta industria, y también sus niveles contaminantes se relaciona a la cantidad de sustancias químicas que se adicionen en cada uno de los procesos o etapas. La adición de sustancias químicas se acentúa en el proceso de blanqueamiento y tinturado, y sus efluentes son arrastrados en las etapas de lavado final.

Es así que en las aguas residuales finales se pueden encontrar diversas sustancias como etoxilatos de nonifenol, ftalatos, metales pesados, alquilfenoles, formaldehído, aminas, entre otros, que tienen un carácter tóxico. Los ftalatos son también sustancias que aparecen en el proceso y se relacionan con el PVC empleado en el estampado de las telas (Carrasco, 2017).

Al igual que en las anteriores industrias se realizó una revisión bibliográfica sobre la producción de aguas residuales en la industria textil y como se puede ver en la Tabla 6,

se toman en cuenta por lo general parámetros que mayormente se ven afectados en todo en proceso productivo.

Tabla 6. Principales parámetros analizados en las aguas residuales de la industria productora de textiles

PARÁMETROS	VALORES*	VALORES**	VALORES***	VALORES****
pH	8,00	7,06	9,90	8,90
DQO (mg/L)	1370	420	2328	1228
DBO (mg/L)	580	290	1105	538
Color (UPC)	400	-	3500	1700
Sólidos Totales (mg/L)		1341	1487	1238

Fuente: (Pérez, 2015)*, (Gilpavas, 2018)**, (Romero, Rodríguez, & Masó, 2016)***

(López & Crespi, 2015)****

Elaborado por: Autor (2021)

Como se observa en la Tabla 6, uno de los parámetros que se analiza es el pH, ya que en el proceso de tinturado se adicionan sustancias que pueden hacer que esté presente variaciones y no cumpla con lo establecido en la normativa, especialmente se observa que los registros indican efluente con un ligero carácter alcalino, aunque existen reportes que indican que estos valores pueden ser más altos dependiendo de los compuestos químicos empleados ((Paul, Chavan, & Khambe, 2012); (López & Crespi, 2015) (Romero, Rodríguez, & Masó, 2016). Otro de los parámetros a tomar en cuenta y que mayormente se ve afectado es la DQO y DBO, y se debe principalmente a la adición de sustancias químicas y tintes naturales, necesarias para la obtención del producto deseado en este proceso de la industria textil.

El color es un parámetro que no indica en la normativa un límite permisible pero que por el impacto que genera visualmente es necesario aplicar procesos de tratamiento que permitan la reducción de este. También son importantes, los sólidos que son arrastrados hacia la planta de tratamiento influyen en el rendimiento de la depuración, y como se puede observar en la Tabla 6, sus niveles son altos. Y por último la turbidez, aunque no está reportado en el resumen de la tabla 6, este parámetro se ve afectado por la presencia de los compuestos colorantes aplicados en el sistema de tinturado de telas y es relativo a los elevados registros de color.

Muestreo de aguas residuales de la industria textil

Para todos los análisis de aguas es muy importante primero que nada realizar un correcto muestreo para obtención de resultados válidos para posterior toma de decisiones, y por supuesto tener un cronograma de ejecución.

La toma de muestras de estas aguas por sus características se puede realizar en recipientes plásticos de polietileno. Para que los resultados confiables es recomendable aplicar muestreos de tipo compuesto, donde se debe tomar en cuenta los diferentes horarios de producción de la industria y las fluctuaciones en las concentraciones de los efluentes.

Caracterización de las aguas residuales de la industria textil

Al igual que en las anteriores aguas residuales de las industrias en estudio aquí también existen parámetros básicos que se deben analizar al realizar una caracterización de estas aguas residuales y que van en función de las variables reportadas según las características del efluente. En la Tabla 7 se muestran los métodos y equipos que se requieren en el control de las aguas residuales de la industria textil

Tabla 7. Parámetros y métodos a aplicar en el análisis de las aguas residuales de la industria textil

PARÁMETROS	MÉTODOS	EQUIPOS
pH	Ref: Standard Methods 4500-H ⁺	Electrodo
DQO	Ref: Standard Methods 5220-D	Espectrofotómetro Visible
DBO	Ref: Standard Methods 5210 B	Estufa, Oxímetro
Temperatura	Ref: Standard Methods 2550 B	Termómetro de mercurio
Color	Ref: Standard Methods 2120 C	Espectrofotómetro Visible
Sólidos Totales	Ref: Standard Methods 2540-B	Balanza electrónica
Turbidez	Ref: Standard Methods 2130 B	Espectrofotómetro Visible

Fuente: (Monteros, 2017) (APHA, 2017)

En la tabla 7, se detallan los diferentes parámetros que se pueden aplicar en aguas residuales procedentes de la industria textil, además también se observa el método a seguir para cada uno de ellos, que se siga un proceso ordenado y adecuado al momento de realizar dichos análisis. Además, se detallan los equipos a utilizar según el método aplicado.

4.2. Sistemas de depuración más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales

Una vez analizado los tres procesos productivos tanto de la industria productora de lácteos, productora de petróleo y tinturado en la industria textil, a continuación se hace una descripción y análisis de los sistemas de tratamiento que teóricamente se puede proponer para cada una de estas líneas de producción, de manera de garantizar la depuración la contaminación reportada en cada uno de los casos y que cumpla con los límites exigidos en la normativa nacional.

A continuación, se detallan los sistemas que mejor se adaptan a los tres procesos industriales.

4.2.1. Sistema de tratamientos más adecuados para las aguas residuales de la industria láctea

Una planta de tratamiento para efluente lácteos requiere ser diseñada básicamente para reducir los niveles contaminantes de parámetros tales como: DBO₅, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para corregir el pH del efluente. A pesar de la variabilidad en los parámetros del vertido, se puede considerar un sistema básico de control y de pretratamiento que se adapten a las características generales de los vertidos y que puedan servir de orientación para que las empresas desarrollen unos sistemas de tratamiento más específicos y adecuados a los efluentes que generan.

En general, para el tratamiento de estas aguas residuales es necesario emplear un sistema de tratamiento biológico, requiriendo previamente la separación de sólidos en suspensión y de grasas y aceites (Tuset, Condorchem envitech, 2020).

Para proponer un sistema adecuado de tratamiento de aguas en esta industria, es necesario conocer cuáles son los niveles de los principales parámetros que se deben controlar, a partir de los valores bibliográficos reportados en la Tabla 2, se determinó un promedio para cada uno de los parámetros y además se acota los valores de los límites permisibles requeridos en el (TULSMA, 2015) tal y como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria de lácteos comparados con la normativa.

PARÁMETRO	PROMEDIO	VALORES PERMISIBLES TULSMA (LIBRO VI, ANEXO 1)
DBO₅ (mg/L)	3146,2	250
DQO (mg/L)	6583,8	500
Aceites y grasas (mg/L)	274,4	100
Nitrógeno total (mg/L)	56,7	40
pH	5,9	6-9
Conductividad (ms/cm)	3320,5	-
Temperatura (°C)	23,61	< 40
Turbidez	900,7	-

Elaborado por: Autor (2021)

En la Tabla 8 se observan que los valores de BDO₅, DQO, aceites y grasas; y nitrógeno total sobrepasan los límites permisibles, por lo tanto, es necesario la aplicación de tratamientos con el fin de que los parámetros ingresen en los rangos permisibles que exige el libro VI del Anexo 1 del (TULSMA, 2015).

Antes de iniciar con un proyecto de plantas de tratamiento de aguas, es necesario conocer el origen de estas, además de sus características, para poder saber qué proceso de tratamiento será más factible aplicar, es por ello, que cuando existen altos niveles de contaminación biológica es importante conocer la relación entre los parámetros de DQO/DBO₅, porque esto indicará el nivel de biodegradabilidad que presentan dichas aguas y así se podrá elegir el método más efectivo para el tratamiento.

A partir de los datos de la Tabla 8, se puede determinar que la razón DQO/DBO₅ del efluente de la industria láctea es de 2,09, valor que es inferior a 2,5 por lo tanto, el efluente de esta industria se puede considerar biodegradable (Romero et al., 2016).

Como se ha demostrado anteriormente este tipo de aguas tiene alta carga orgánica biodegradable, por lo tanto, el sistema más recomendable a aplicar es el tratamiento biológico, pero sin dejar de lado la importancia del contenido de aceites y grasas, que puede afectar al adecuado funcionamiento de la etapa biológica, ya se anaerobia o aerobia, por eso, al inicio del proceso se debe instalar una trampa de grasas que ayuden a evitar el ingreso de éstas a los siguientes procesos de tratamiento tal y como se detalla en la Figura 7.

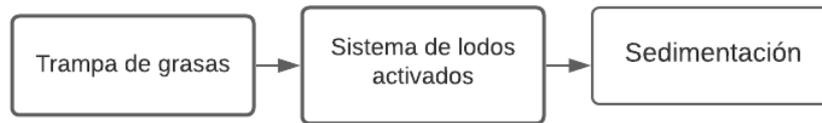


Figura 7. Sistema de tratamiento para aplicar a aguas residuales de la industria láctea

Fuente: (Aguilar, 2019)

Elaboración: Autor (2021)

Como se observa en la Figura 7, se propone para este tipo de aguas la aplicación de un sistema conformado por una trampa de grasas, un tratamiento biológico de lodos activados que es el más idóneo ya que resulta con una efectividad alta motivo y es un proceso rápido, además, por la necesidad de equilibrio y recirculación de los lodos del reactor biológico es necesario contar con un sedimentador para la separación de los fangos y clarificación del agua tratada. Es importante señalar que el sistema propuesto de incluir inicialmente un tanque homogeneizador que permita recolectar el agua de las diferentes líneas de producción y controlar adecuadamente el flujo y la carga contaminante a la entrada del sistema (Romero, 2010).

Inicialmente se propone instalar un sistema de eliminación de grasas, donde se reduce el contenido de las grasas del efluente que se generan durante todo el proceso productivo y de esta manera evitar problemas de funcionamiento en la planta de tratamiento, con exceso de grasas que dañan tuberías y disminuye la efectividad de los demás procesos. Para estimar teóricamente la operatividad de esta unidad, en la Tabla 9 se muestran los resultados (valor final) de aplicar un balance teórico sobre los parámetros promedio de control del proceso lácteo de la Tabla 8, tomando como referencia una eficiencia estimada según diversas referencias bibliográficas.

Tabla 9. Balance de masa después de la trampa de grasas aplicada a aguas residuales de la industria productora de lácteos.

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE - TULSMA	CUMPLIMIENTO
DBO₅ (mg/L)	3146,2	5*	2988,89	250	NO
DQO (mg/L)	6583,8	25**	4937,85	500	NO
Aceites y grasas (mg/L)	274,4	95*	13,72	100	SI
Nitrógeno total (mg/L)	56,7	15*	51,03	40	NO

Fuente: (Romero J. , 2010), (Chinchilla, 2015)**

Elaborado por: Autor (2021)

Como se puede ver en la Tabla 9, se evidencia que, al implementar una unidad de trampa de grasas al inicio del proceso de tratamiento de aguas, se logra reducir el contenido de aceites y grasas dentro los límites exigidos en la normativa, llegando a 13,72 mg/L, aunque los demás parámetros también disminuyeron por su asociación a los aceites retenidos, aún se encuentran en niveles superiores a los permitidos, por lo tanto, es necesario aplicar la siguiente operación unitaria propuesta.

El siguiente proceso de tratamiento del efluente es el sistema de lodos activados, que es una técnica aerobia de eliminación de carga biológica biodegradable, por lo tanto, en ésta se espera ajustar la DBO y parte de la DQO asociada. A continuación, en la Tabla 10, se detalla la eficiencia teórica del sistema de lodos activados sobre los parámetros que se han visto afectados en la producción de lácteos, a través del balance teórico.

Tabla 10. Porcentaje de eficiencia del sistema de lodos activados aplicado a aguas residuales de la industria productora de lácteos.

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE - TULSMA	CUMPLIMIENTO
DBO ₅ (mg/L)	2988,89	95*	149,44	250	SI
DQO (mg/L)	4937,85	92**	395,03	500	SI
Aceites y grasas (mg/L)	13,72	25***	10,29	100	SI
Nitrógeno total (mg/L)	51,03	50***	25,52	40	SI

Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2017)*, (Romero J. , 2010)**., (Bravo, 2020)***

Elaborado por: Autor (2021)

Como se puede observar el sistema de lodos activados presenta alta afectividad al intentar reducir los valores de parámetros como DBO, DQO, aceites y grasas y nitrógeno. Este sistema de tratamiento implica un tanque de aireación, tanque de sedimentación de donde se hace una recirculación de lodos y permite el trabajo de los microorganismos presentes en los mismos. Los lodos activados son un proceso de tratamiento muy aplicable a aguas con alta carga de contenido orgánico como es el caso de esta industria.

4.2.2. Sistema de tratamientos más adecuados para las aguas residuales de la industria de petróleos

Al igual en los procesos anteriores, para tener conocimiento de cuáles son los niveles de contaminación y que parámetros se analizan al momento de caracterizar aguas de la industria de la producción petrolera, fue necesario la búsqueda y recopilación de información tal y como se mostró en la Tabla 4. Una vez obtenida la información se procedió a determinar los promedios de los niveles contaminantes de los parámetros analizados como se reportan en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria productora de hidrocarburos comparados con la normativa.

PARÁMETRO	PROMEDIO	VALORES PERMISIBLES TULSMA (LIBRO VI, ANEXO 1)	RAHOE DECRETO EJECUTIVO 1215
pH	7,08	5-9	5,0<pH<9,0
DQO (mg/L)	1270,6	500	<120
Fenoles (mg/L)	7,83		<0,15
TDS (mg/L)	9,25	1600	
Cloruros (mg/L)	5204,5	1000	
TPH (mg/L)	34,3	20	<20

Fuente: (TULSMA, 2015), (RAOHE, 2020)

Elaborado por: Autor (2021)

Como se observa en la Tabla 11, también se incluyen las normativas para su respectiva verificación del cumplimiento de esta. Es importante señalar que el TULSMA no posee límites máximos permisibles para Cloruros para lo cual se tomó como dato referencial la descarga a agua dulce y lo mismo para sólidos totales. Al comparar los valores promedios calculados se puede notar que algunos de los parámetros no cumplen con la normativa ya sea del (RAOHE, 2020) o (TULSMA, 2015), que serían los necesarios a regular con sistema de tratamiento que se va a proponer para este efluente.

En la Figura 8, se muestra el sistema propuesto para el agua residual generada en la extracción de crudo, el cual está conformado por un sistema de coagulación – floculación, fangos activados y finalmente un proceso electroquímico.



Figura 8. Sistema de tratamiento para aplicar a las aguas residuales del proceso productivo de la industria petrolera

Elaboración: Autor (2021)

El sistema de coagulación floculación que se propone puede estar integrado por dos tanques de almacenamiento, el primero cumplirá la doble función de sistema de igualación y de punto de adición y mezclado del coagulante (etapa de coagulación), luego la segunda unidad puede ser un tanque con fondo inclinado que permita en primer lugar la pérdida de energía del fluido favoreciendo la floculación y al mismo tiempo la sedimentación.

Al aplicar un balance teórico se puede determinar el grado de eficiencia que alcanzaría con esta doble unidad de coagulación floculación sobre el efluente de la Tabla 11, como se puede ver a continuación, en la Tabla 12 se registran los resultados del balance de eficiencia de este proceso sobre los parámetros de control como: DQO, fenoles, TPH y cloruros.

Tabla 12. Eficiencia de la coagulación – floculación aplicada a las aguas residuales de la industria productora de petróleos.

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE RAOHE	CUMPLIMIENTO
DQO (mg/L)	1270,6	55**	571,77	<350	NO CUMPLE
Fenoles (mg/L)	7,83	0*	7,83	<0,15	NO CUMPLE
TPH (mg/L)	34,30	80*	6,86	<20	SI CUMPLE
Cloruros (mg/L)	5204,5	45***	2862,44	1000	NO CUMPLE

Fuente: (André, 2014)*, (Fabara, Arias, & Monge, 2019)**, (Díaz & Jimenez, 2020)***

Elaborado por: Autor (2021)

Los resultados de la Tabla 12, indican que al aplicar este sistema se logra disminuir adecuadamente los niveles del parámetro TPH, alcanzándose teóricamente un residual con 6,9 mg/L, menor al límite de 20 mg/L exigido, los demás parámetros requieren un tratamiento posterior.

La siguiente unidad propuesta en un sistema de lodos activados, el cual se compone por un tanque de aireación y seguidamente de un decantador o sedimentador secundario el cual consiste también en una recirculación de lodos que van con presencia de bacterias las cuales trabajan en la degradación de la materia orgánica.

Tabla 13. Porcentaje de eficiencia del sistema de fangos activados aplicado a aguas residuales de la industria productora de petróleos

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE - RAOHE	CUMPLIMIENTO
DQO (mg/L)	571,77	70*	171,53	<350	SI CUMPLE
Fenoles (mg/L)	7,83	85**	1,17	<0,15	NO CUMPLE
TPH (mg/L)	6,86	5***	6,52	<20	SI CUMPLE
Cloruros (mg/L)	2862,44	-	2862,44	1000	NO CUMPLE

Fuente: (Tapia, 2016) *, (André, 2014)**, (Romero J. , 2010)***

Elaborado por: Autor (2021)

Finalmente, es necesario emplear un sistema avanzado de depuración, debido a que la carga de compuestos no biodegradables es necesaria regular para cumplir con los valores exigidos en las normativas. Se ha propuesto un proceso de foto-fenton como opción.

El sistema foto – fenton, es ampliamente reportado como técnica apropiada para reducir altos niveles de DQO y otros parámetros asociados como sales disueltas, que presentan inconvenientes de reducción al aplicar otros métodos clásicos. Además, es un proceso que brinda buenos rendimientos y relativamente bajos costos (Mendes & et, 2015); (Hincapié, 2011). Este tipo de tecnología tiene métodos en donde un reactivo de Fe (II) se oxida a Fe (III) descomponiendo el peróxido de hidroxilo, que con ayuda de la radiación UL-Vis incrementa el poder de oxidación (Hincapié, 2011). En la Tabla 14 se reporta el resultado del balance teórico sobre los parámetros de control del efluente.

Tabla 14. Porcentaje de eficiencia del proceso electroquímico aplicado a aguas residuales de la industria productora de petróleos.

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE - RAOHE	CUMPLIMIENTO
DQO (mg/L)	171,53	85*	25,73	<350	SI CUMPLE
Fenoles (mg/L)	1,17	98,7*	0,02	<0,15	SI CUMPLE
TPH (mg/L)	6,52	83,4*	1,08	<20	SI CUMPLE
Cloruros (mg/L)	2862,44	90*	286,24	1000	SI CUMPLE

Fuente: (Tapia, 2016) *

Elaborado por: Autor (2021)

Los resultados del balance teórico (Tabla 14), muestran que la implementación de un tratamiento avanzado como etapa final del tratamiento, permite la disminución de los parámetros que estaban fuera de norma, demostrando que el sistema sugerido proporciona un adecuado tratamiento al efluente del proceso de extracción de petróleo.

4.2.3. Sistema de tratamientos más adecuados para la industria textil

En Ecuador se ha estudiado la aplicación de tratamientos electroquímicos, los cuales consisten en procesos de electrocoagulación, electrofenton, usados para el tratamiento de agua residual de la industria textil. Esos procesos mencionados logran valores permisibles de descarga de acuerdo a la norma y obteniendo porcentajes de remoción de hasta un 86 % de DQO aplicando electrocoagulación, y un 99% aplicando un proceso electrofenton (Pérez, 2015).

Al igual que en los anteriores casos se realizó un análisis de las aguas residuales procedentes de esta industria, se pudo observar cuales son los parámetros que más se toman en cuenta al momento de caracterizar estas aguas (Tabla 6). A continuación, se detallan los valores promedios de los parámetros y su comparación con la normativa

nacional, y que servirán de base para el efluente a tratar para la propuesta del sistema de depuración (Tabla 15).

Tabla 15. Valores promedio de parámetros analizados en aguas residuales de la industria productora de textiles comparados con la normativa.

PARÁMETROS	PROMEDIO	VALORES PERMISIBLES TULSMA (LIBRO VI, ANEXO 1)
pH (pH)	8,46	6-9
DQO (mg/L)	1336,50	500
DBO₅ (mg/L)	628,25	250
Color (UPC)	1866,66	-
Sólidos Totales (mg/L)	1355,33	1600

Elaborado por: Autor (2021)

Como se puede observar en la Tabla 15, según el análisis de datos y realizado el promedio, los parámetros que más se ven afectados el de DQO y DBO₅, por lo tanto, el sistema de depuración se debe basar en un método sea efectivo para bajar los índices de este tipo de contaminación y entren en los límites permisibles requeridos por la normativa. Estas aguas al verse impactadas por a la adición de sustancias químicas y orgánicas, además, de la descomposición de la materia prima durante el proceso productivo hace que su valor tanto de DQO como DBO también sean elevados.

Es importante destacar que en la normativa no se menciona un límite permisible para color, pero al desechar aguas con color hace que la contaminación visual sea evidente por parte de este tipo de industria. Se toma como un parámetro a tratar también a los sólidos totales ya que al reducir éste también bajarán los niveles de color. También se debe resaltar que al aplicar algún tipo de tratamiento tomando los parámetros de control DBO y DQO, los niveles de pH que se encuentra elevados deben ajustarse.

En la Figura 9, se muestra cual sería el proceso de tratamiento más adecuado para reducir los valores de los parámetros que se ven afectados, donde los principales son la DBO, la DQO y los sólidos totales.

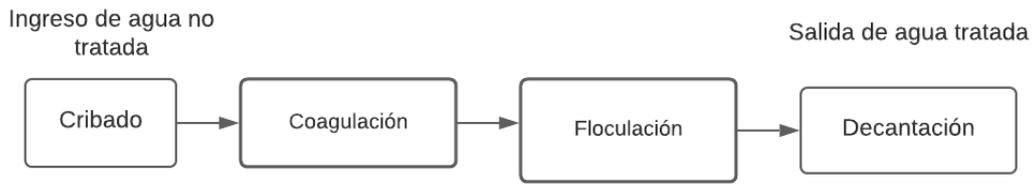


Figura 9. Sistema de tratamiento de las aguas residuales de la industria textilera

Elaboración: Autor (2021)

La Figura 9 muestra que el sistema de tratamiento está conformado por cribado inicial que permite la eliminación de los sólidos gruesos, seguido se presenta una etapa de coagulación y floculación que se podría aplicar dentro de un tanque con el objetivo de poder favorecer el rompimiento de la estabilidad química de los contaminantes y formar compuestos de un mayor peso y de esta manera, al final del proceso se produce su sedimentación en el decantador.

López Grimau & Crespi Rosell (2015), mencionan que un sistema de depuración basado en tratamientos primarios es efectivo para eliminar la materia orgánica suspendida y coloidal, pero menos eficiente con la materia orgánica soluble. Si este es el caso, se puede lograr una disminución aceptable de DQO y DBO si el tanque de coagulación floculación se divide en tres segmentos, y el primero se usa como homogenizador donde se instale una etapa de aireación y se recircule parte del lodo para mantener la vida bacteriana y aumentar el rendimiento de depuración.

En la Tabla 16 se encuentran los resultados del balance teórico del efecto del sistema de tratamiento propuesto en los parámetros de control de las aguas residuales generadas en la industria textil, y su comparación con la normativa nacional.

Tabla 16. Porcentaje de eficiencia del sistema de floculación – coagulación – decantación, aplicado a aguas residuales de la industria productora textiles

PARÁMETRO		EFICIENCIA TEÓRICA (%)	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA		
			VALOR FINAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE - TULSMA	CUMPLIMIENTO
DQO (mg/L)	1336,50	76*	320,76	500	SI CUMPLE
DBO (mg/L)	628,25	65**	219,88	250	SI CUMPLE
Color (UPC)	1866,66	96*	74,66	-	-
Sólidos Totales (mg/L)	1355,33	66**	460,81	1600	SI CUMPLE

Fuente: (Miranda M. , 2018)*, (Gómez N. , 2005)**

Elaborado por: Autor (2021)

De acuerdo con la búsqueda de información detallada en la Tabla16, se puede observar que el sistema propuesto puede proporcionar un rendimiento suficiente desde el punto de vista teórico para depurar el efluente de esta industria, logrando que lo parámetros de control cumplan con límites establecidos en la normativa nacional (TULSMA, 2015).

5. CONCLUSIONES

- La caracterización de las aguas residuales requiere la aplicación de métodos normalizados que son los exigidos en las normativas, aunque para la industria petrolera pueden aplicar las normas ASTM en los parámetros no contemplados en la legislación local.
- Antes de realizar la caracterización de las aguas es necesario seguir procedimientos adecuados para la toma de muestras, con objetivos claros, los tiempos de trabajo delimitados, empleando envases acordes a los parámetros a analizar y características químicas de las aguas residuales.
- Los principales contaminantes de las aguas residuales no solo dependerán del tipo de industria sino también de cuáles son los subproductos que elaboran tales industrias.
- Las aguas de la industria productora de lácteos al tener una elevada carga orgánica lo más recomendable es aplicar métodos de tratamiento biológico ajustados a las condiciones de operación y generación de los efluentes.
- Las industrias petrolera y textilera se caracterizan por producir efluentes con altos niveles de DQO, pero en el caso de la industria textilera un sistema de tratamiento primario podría ser suficiente para reducir la carga contaminante, en cambio el tratamiento de residuales petroleros requiere de un sistema de depuración avanzado.
- La aplicación de balances de masa teóricos permite estimar el porcentaje de efectividad de los sistemas de tratamiento de aguas permitiendo de forma rápida analizar si los equipos son suficientes para reducir los niveles contaminantes de los efluentes y cumplir los límites exigidos por las normativas reguladoras.

6. RECOMENDACIONES

- Para poder aplicar un adecuado muestreo y caracterización de los efluentes industriales se debe analizar a fondo cada uno de los subprocesos que se llevan a cabo en las industrias, de manera de establecer el plan de operación acorde a las exigencias del caso de estudio.

- Ampliar el estudio realizando un análisis comparativo de factores de diseño, costos y operación de diversos procesos unitarios en el tratamiento de aguas, que permita la selección del equipo o tecnología más adecuado a las condiciones de trabajo dentro de una industria.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S. (14 de Marzo de 2019). *axisima Ingeniería y Medio Ambiente*. Obtenido de Tratamientos primario, secundario y terciario en la depuración de agua residual.: <http://axisima.com/tratamientos-primario-secundario-y-terciario-en-la-depuracion-de-agua-residual/>
- Aldana, A., & LIngeniería. (04 de Agosto de 2009). *Ergomix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/elaboracion-derivados-lacteos-como-t28081.htm>
- Altunar, S. (Marzo de 2014). *Repositorio UAAAN*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7185/SOFIA%20ALTUNAR%20PABLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez, M. (2015). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=124531>
- André, P. (2014). *oa.UPM*. Obtenido de Procesos de depuración de los efluentes líquidos de actividades petrolíferas: http://oa.upm.es/32320/1/Pedro_Andre.pdf
- Bianchi, J. (9 de Julio de 2018). *Idealex*. Obtenido de Upstream, Midstream y Downstream, tres conceptos que debes manejar en Oil & Gas: <https://idealex.press/upstream-midsteam-y-downstrem-tres-conceptos-que-debes-manejar-en-oil-gas/>
- Bravo, A. (2020). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la planta de lácteos de la Facultad de Ingeniería*. Riobamba: UNACH.
- Buscio, V. (2015). Tratamiento y reutilización de efluentes de la industria textil mediante técnicas de membranas. *Universidad Politécnica de Catalunya*, 229.
- CAF. (28 de Abril de 2016). *Banco de Desarrollo de América Latina*. Obtenido de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2016/04/agua-elemento-vital-para-la-nueva-agenda-urbana/>
- Candiotti, S. (2017). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Obtenido de Mejora de procesos en el área de tintorería utilizando la metodología DBR en una empresa textil localizada en Lima - Perú: <https://core.ac.uk/download/pdf/323351327.pdf>
- CAR/PL. (Mayo de 2002). *Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia*. Obtenido de http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf
- Carrasco, A. (31 de Mayo de 2017). *Fashionunited*. Obtenido de <https://fashionunited.es/noticias/moda/toxicos-textiles-lo-que-esconden-tus-prendas-de-ropa/2017053123996>
- Castro, B. (2008). *Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ y H₂O₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia de Fenolftaleína generados en los laboratorios de análisis químico de la Universidad del Cauca*. Cauca: Universidad del Cauca.

- Chinchilla, M. (Septiembre de 2015). *Biblioteca USAC*. Obtenido de Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia en aguas residuales comerciales: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0503_MT.pdf
- Cirujeda, J. (2019). *Aguas residuales urbanas*. España: Editorial Elearning, S.L. .
- Cisterna, P., & Peña, D. (s.f.). *Determinación de relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas menora 25000 habitantes en la VIII*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- Cortez, J. (21 de Diciembre de 2018). *Universidad Nacional del Litoral*. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/1162>
- Cuvi, K. (2017). *Determinación de la factibilidad de utilizar sistemas de lodos activados para depuración de aguas residuales insdutrales procedentes de una fábrica de lácteos y una de confites*. Quito DM. Quito: UPS.
- Díaz, A., & Jimenez, V. (2020). *Repository.uamerica*. Obtenido de Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de agua residual del proceso de clorinación para su reutilización en la empresa Eterna S.A: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7776/1/6142345-2020-I-IQ.pdf>
- Díaz, J. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamientode aguas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ecopetrol. (2016). *Reporte integrado de gestión sostenible 2015*. Bogotá: Ecopetrol.
- Ecopetrol.S.A. (Diciembre de 2014). *El petróleo y su mundo - Ecopetrol S.A*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/wcm/connect/aafcca72-30ac-4320-9294-177abfcde944/el-petroleo-y-su-mundo-comprimido.pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1588040270272>
- El-Karsani, K., Al-Muntasheri, G., & Hussein, I. (2014). Sistemas de polímeros para el apagado de agua y la modificación del perfil: una revisión en la última década. *Diario SPE*, 135-149.
- Estándar-SMC, C. d. (2018). *Standardmethods*. Obtenido de <https://www.standardmethods.org/about/>
- Fabara, D., Arias, J., & Monge, P. (2019). Alternativas de procesos de coagulación para el tratamiento de aguas residuales, Hospital Docente de Calderón, Ecuador. *Perspectiva*, 371-379.
- Fernández, A. (07 de Noviembre de 2019). La Vanguardia. *Petróleo: El poder del oro negro*.
- Fluence, n. t. (20 de Febrero de 2019). *Fluence*. Obtenido de <https://www.fluencecorp.com/es/uso-de-agua-en-industria-textil/>
- García. (2019). *Minimización de Vertidos para el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=h3bIDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- García, C. (2013). Paámetros fisicoquímicos del agua. *PV ALBEITAR*, 1-4.
- García, S. (2018). *Estudio de caso del denim y su impacto medioambiental en Fabricato: Sostenibilidad de la Industria Textil en Medellín*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de Estudio de caso del denim y su impacto medioambiental en Fabricato: Sostenibilidad de la Industria Textil en Medellín: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4053/ESTUDIODECASODELDENIMYSUIIMPACTOMEDIOAMBIENTALENFABRICATO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gaucín, D. (15 de Mayo de 2017). *El economista*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/opinion/El-mercado-de-lacteos-I-20170515-0003.html>
- Gilpavas, E. (2018). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 157-167.
- Gómez, N. (2005). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Remoción de materia orgánica por coagulación - flouación: <https://core.ac.uk/download/pdf/11051643.pdf>
- Gómez, S. (26 de Mayo de 2020). *EOB Enrique Ortega Burgos*. Obtenido de La industrial textil en el Ecuador: <https://enriqueortegaburgos.com/la-industria-textil-en-el-ecuador/>
- Grau, M., & Muñoz, E. (2013). *Ingeniería química*. Madrid: Editorial UNED.
- Guyer, P. (2019). *Una Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. California: Guyer Partners.
- Haro, Y. (2015). *Dspace ESPOCH*. Obtenido de “Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la fábrica lácteos San José del cantón Píllaro”: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/96T00305%20UDCTFC.pdf>
- Hincapié, G. (2011). Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel. *Scielo*, 33-42.
- IDEAM. (04 de Junio de 2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Hidrocarburos+en+agua+por+extracci%C3%B3n.pdf/14b3ae83-4c72-446c-ab33-a91978c04f5a>
- IDEAM, I. d. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá: IDEAM.
- INEN. (2013). *INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2226:2013*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>
- INEN. (2013). *Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2169:2013*. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf>

- INEN1202. (Abril de 1985). *Norma Técnica Ecuatoriana*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1202.pdf>
- Iribarren, G. (26 de Febrero de 2016). *Tendencias globales del sector textil. Tercera a quinta tendencia*. Obtenido de <https://gabrielfariasiribarren.com/tendencias-globales-del-sector-textil-tercera/>
- Lacasadeltanque. (15 de enero de 2018). *La casa del tanque*. Obtenido de <https://lacasadeltanque.com/la-importancia-los-tratamientos-aguas-residuales#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20deben%20ser,agua%20trata da%20para%20otros%20fines.>
- Lara, A. (2018). *Estudio de factibilidad del uso de arcillas de la provincia de Chimborazo para la remoción de colorantes en efluentes de industria textil*. Riobamba: ESPOCH.
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing.
- López, V., & Crespi, M. (2015). *Gestión de los efluentes de la industria textil. Cuaderno tecnológico N° 18*. Barcelona: Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- Lozano, W. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua-Métodos simplificados para muestreo y análisis*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- MAE. (04 de Noviembre de 2015). *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, libro vi, Decreto ejecutivo 3516, Registro Oficial suplemento 2, 31/03/2003*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Masabanda, C. (Mayo de 2011). *El proceso de producción de textiles*. Obtenido de <http://industextilcarlos.blogspot.com/p/el-proceso-de-produccion-de-textiles.html>
- Mendes, L., & et. (2015). Degradación de fenol vía foto-fenton utilizando un reactor fotoquímico anular. *SciELO, Vol 42(N° 3), 63-70*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n3/caz07315.pdf>
- Mendoza, M. (Agosto de 2015). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. Obtenido de https://riiit.com.mx/apps/site/files/gestin_de_las_aguas_residuales_producidas_por_la_industria_de_los_hidrocarburos_no_convencionales.pdf
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*. España: Editor Antonio García Brage.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Resolución 330*. Obtenido de Colombia.
- Miranda, G. (Agosto de 2017). *Dspace Uniandes*. Obtenido de <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/6535/1/PIUABQF012-2017.pdf>

- Miranda, M. (2018). Evaluación del proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de un efluente de la industria textil. *JEEOS*, 43-54.
- MNCN. (5 de Abril de 2010). *Museo Nacional de Ciencias Naturales*. Obtenido de Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) por el método del dicromato:
https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/dqo.pdf
- Montaño, A. (15 de Junio de 2015). *Extracción y almacenamiento de petróleo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/arianitamg/extraccin-y-almacenamiento-de-petroleo>
- Monteros, D. (2017). *Comparación de tratamientos físico-químicos para aguas residuales de la empresa textil "PARIS-QUITO", sector Tambillo, zona industrial Miraflores*. Quito: UCE.
- Naciones Unidas. (25 de Septiembre de 2015). *Objetivos del desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Obando, A. (10 de Junio de 2020). *CIDIVL*. Obtenido de Reducción de efluentes coloreados: <https://istvicenteleon.edu.ec/investigacion/2020/06/10/sht04/>
- Ortega, A. (2019). *Fundación Universidad de América*. Obtenido de Estrategia para el uso sostenible de agua de producción para riego de suelos, adaptada de la experiencia del desierto de Omán a un patrón de pozos en un campo colombiano: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7693/1/192513-2019-III-MGAPC.pdf>
- Osina Torrez, M. R. (2011). *Evaluación de la calidad de las aguas del Río Katari, La Paz, Bolivia, mediante un modelo matemático*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Osina, M., & Vargas, W. (2011). *Evaluación de la calidad de las aguas de río Katari, La Paz, Bolivia, mediante un modelo matemático*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Paredes, R. (2016). *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Obtenido de “Anteproyecto de una planta de tratamiento de efluentes en una refinería de petróleo en la costa central del Perú”: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1906/IQpasira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Park, A. (2008). Wastewater treatment of desalting units. *ELSEVIER*, 249-254.
- Pastor, S. (04 de Junio de 2020). *CONGOPE*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/Perspectivas-Petroleras-Ecuador-GAD.pdf>
- Paul, S., Chavan, S., & Khambe, S. (2012). Studies on characterization of textile industrial waste water in olapur city. *International Journal of Chemical Sciences*, 10(2), 635-642.

- Pérez, G. (2015). *Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos electroquímicos*. Quito: UCE.
- PGSSAS (Dirección). (2014). *Tecnologías para el tratamiento de agua de producción* [Película].
- Prieto, D., & Puente, S. (Septiembre de 2016). *Instituto Tecnológico de Buenos Aires*. Obtenido de Gestión hídrica en explotaciones hidrocarburíferas no convencionales:
<https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/627/TFI%20Prieto%2C%20Puente%20-%202009.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PSCEngineering. (15 de Julio de 2018). *PSCEngineering*. Obtenido de <https://www.pscengineering.com/task-refinery-wastewater-treatment-es.php>
- Raffino, M. (29 de Agosto de 2020). *Concepto.de*. Obtenido de Industria textil:
<https://concepto.de/industria-textil/>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2015). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 71-80.
- RAOHE. (01 de Abril de 2020). *Reaglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas*. Obtenido de <https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/Reglamento-Ambiental-de-Operaciones-Hidrocarbur%C3%ADferas-Abr-2020.pdf>
- Raposo, F. (2018). Análisis físico, químico, y microbiológico de las aguas. Sevilla: Ediciones Paraninfo, S. A.
- RENAPRA. (14 de Marzo de 2016). *Red Nacional de Protección de Alimento*. Obtenido de <https://diamundialdelagua2016.wordpress.com/industria-lactea/>
- RETEMA. (20 de Mayo de 2016). *Retema Revista Técnica de Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.retema.es/noticia/nueva-solucion-contra-la-contaminacion-de-la-industria-lactea-que-ahorra-energia-y-di-D2AG5>
- Rodríguez, I., Corominas, L., Poch, M., & Comas, J. (2018). Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas. En I. Rodríguez, L. Corominas, M. Poch, & J. Comas, *Problemática de los recursos hídricos. Gestión de cuencas* (págs. 11-20). Sevilla: Ediciones Paraninfo, S. A.
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, T., Rodríguez, H., & Masó, A. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Scielo*, 46-58. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n3/riha04316.pdf>
- Ronces, M. (2018). *Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México (Tesis de Pregrado)*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- Sánchez, J. (Agosto de 2013). *ptolomeo*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7613/Tesis%20completa.pdf?sequence=1>
- Sanz, J. (2015). *Tratamiento de aguas textiles industriales mediante fotocátalisis solar y reutilización de tinturas*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=77156>
- Soria, K. (2019). *Dspace ESPOCH*. Obtenido de “Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta de lácteos “San Jacinto”, ubicada en el cantón Penipe, provincia de Chimborazo”: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/13599/1/96T00568.PDF>
- Soriano, A. (2012). *Suministro, distribución y evacuación interior sanitaria*. Barcelona: Marcombo ediciones técnicas.
- Tapia, M. (2016). *Tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos por medio de procesos de oxidación avanzada y biofiltros*. Quito: UCE.
- Torres, K., & Gutiérrez, M. (2017). Estado del arte de las tecnologías más utilizadas en las refinerías de América para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad de San Buenaventura*.
- Trapote, A. (2013). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias II. Saneamiento y drenaje urbano*. España: Unión Editoriales Universitarias Españolas.
- TULSMA. (07 de Noviembre de 2015). *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Tuset, S. (17 de Marzo de 2017). *Condorchem envitech*. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Tuset, S. (17 de Marzo de 2020). *Condorchem envitech*. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Villegas, I. (2013). *DSPACEUCE*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/645/1/T-UCE-0012-143.pdf>
- Zapata, F. (2016). *Meétodo de fotocátalisis aplicado para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil*. Quito: UCE.

8. ANEXOS

Anexo 1. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de DBO₅

PARÁMETRO: DBO₅	MÉTODO: REF: STANDARD METHODS 5210 B	TÉCNICA: INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA
Materiales y reactivos	Botellas tipo Winkler de 300 ml Probeta de vidrio o plástica de 10 ml Erlenmeyer de 250 ml Balones aforados de 1 L clase A para la preparación de reactivos Pipeta graduada de 1ml o gotero plástico Bureta plástica de 1 ml Incubadora Agua destilada <ol style="list-style-type: none"> a. Solución amortiguadora de fosfato b. Solución sulfato de magnesio c. Solución de cloruro de calcio d. Solución de cloruro férrico e. Solución de ácido sulfúrico 1N f. Solución de hidróxido de sodio g. Solución de sulfito de sodio 0,025N Inóculo	
Procedimiento	Preparación de agua de dilución: antes de empezar a trabajar, saturar el agua destilada con OD. Adicionar 1cm ³ de la solución a, b, c, d. Inoculación Pretratamiento: tratar las muestras de acuerdo con sus composiciones, ya sea alcalinidad cáustica o acidez, cloro residual, sustancias tóxicas o sobresaturadas con OD. Técnica de dilución: se aplica diluciones dependiendo del tipo de muestra. Determinación del OD: dependiendo del OD se aplicará o diluciones. Incubación: el testigo y las muestras diluidas se incuban por 5 días a 20°C. Corrección por el inóculo: al inocularse el agua de dilución esta sufre un abatimiento de oxígeno Control del agua dilución: se llena dos frascos para DBO con agua de dilución sin inocular, uno de estos se tapa y se incuba y el otro es utilizado para medir OD. Comprobación con glucosa – ácido glutámico: se adiciona estos dos compuestos para acelerar y estabilizar la oxidación Cálculo: se analiza de acuerdo con una fórmula con valores del OD tanto iniciales como finales.	

Fuente. (INEN1202, 1985)

Elaborado por: Autor (2021)

Anexo 2. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de DQO

PARÁMETRO: DQO	MÉTODO: REF: STANDARD METHODS 5220-D	TÉCNICA: DICROMATO DE POTASIO
Materiales y Reactivos	<p>Bureta de precisión Matraces Erlenmeyer de 250 mL Refrigerantes Liebig Pipetas Matraces aforados Vasos de precipitados, embudos Placa de calentamiento</p> <p>Agua desmineralizada Sulfato de mercurio Dicromato de potásico Sulfato de hierro y amonio Ácido sulfúrico 98% Sulfato de hierro 1-10 Fenantrolina monohidratada Sulfato de plata Ftalato ácido de potasio</p>	
Procedimiento	<p>Preparación de disoluciones Preparación de patrón de dicromato de potásico: a este se añaden 25 mL de ácido sulfúrico Preparación de patrón Sulfato de hierro y amonio: a este se añaden 5 mL de ácido sulfúrico Preparación de Sulfato de plata en Ácido sulfúrico: se disuelven 4 g de sulfato de plata en 10 mL de aguas y adicionar 240 mL de ácido sulfúrico. Preparación del indicador de ferroína: al sulfato de hierro añadir 1-10 Fenantrolina monohidratada. Preparación de patrón ftalato ácido de potasio: disolver en agua. Ensayo en blanco: mismo procedimiento de las muestras, pero con 10 mL de agua destilada Ensayo testigo: aplicar mismo proceso de las muestras, pero en lugar de estas utilizar la solución patrón de ftalato de potasio. Determinación: colocar 10 mL de la muestra a analizar en el matraz y adicionar sulfato de mercurio, dicromato potásico, sulfuro de plata – ácido sulfúrico. Diluir la mezcla con agua destilada. Valorar el exceso de dicromato con la solución patrón sulfato de hierro y amonio, adicionar 1 a 2 gotas de ferroína. Observar el cambio de color. Cálculo: aplicar la ecuación para encontrar DQO en mg/L.</p>	

Fuente: (MNCN, 2010)

Elaborado por: Autor (2021)

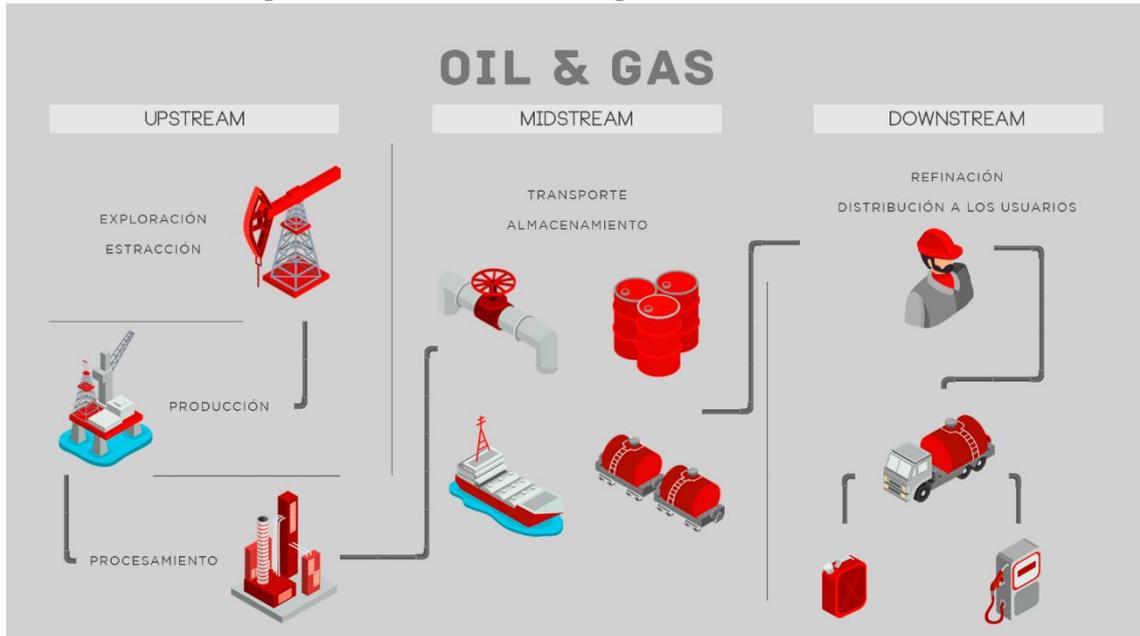
Anexo 3. Metodología a seguir en el laboratorio para el análisis de Aceites y Grasas

PARÁMETRO: ACEITES Y GRASAS	MÉTODO: REF: STANDARD METHODS 5520-B	TÉCNICA: GRAVIMETRÍA
Materiales y reactivos	<p>Embudos de separación Embudo de vidrio de vástago largo Papel filtro Soporte para embudo Frasco lavador Vasos de precipitado Varillas de vidrio</p> <p>Ácido clorhídrico Ácido sulfúrico Hexano Aceite de origen vegetal Sulfato de sodio</p> <p>Extractor para recuperación de solventes Cabina extractora de vapores orgánicos Balanza analítica Desecador</p>	
Procedimiento	<p>Limpiar la vidriería Preparación de blanco: tomar 1L de agua destilada y acidificar Preparar estándares de control: usar aceite mineral y disolver con hexano, elaborar estándar de control de 50mg/L y 500mg/L, llevar a campana de orgánicos. Aforar la botella demarcando el nivel de la muestra Transferir cuantitativamente el blanco, los estándares y las muestras a los embudos de separación Enjuagar el vaso En caso de emulsión, agitar, adicionar sulfato de sodio. Dejar separar las fases, drenar con la ayuda del papel filtro Retornar la capa acuosa al recipiente de origen Recoger el filtrado desecado y pesado Retornar la muestra al embudo y repetir el proceso dos veces más Filtrar y lavar el filtro con solvente Recuperar el solvente con el equipo de extracción Pesar el vaso con el residuo seco Medir el volumen de muestra marcado inicialmente en la botella. Tomar el volumen del blanco estándar. Realizar el cálculo con de ecuación para encontrar los mg/L de grasas y aceites.</p>	

Fuente: (IDEAM, 2007)

Elaborado por: Autor (2021)

Anexo 4. Procesos productivos en la industria petrolera



Fuente: (Idealex.press, 2018)