



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

**EVALUACIÓN DE SEPARADORES API EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LECHERA**

TESIS DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

Carlos Rivera Zavala

Como requisito para acreditar la Residencia Profesional de la
Licenciatura en:

INGENIERIA QUIMICA

ASESOR:

Dr. Samuel Enciso Sáenz

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero de 2023

1 AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por haberme permitido vivir hasta este día, guiándome a lo largo de mi vida y darme la fortaleza para continuar hacia adelante.

A MIS QUERIDOS PADRES:

Por su apoyo incondicional y nunca dejar de confiar en mí, principalmente durante esta larga travesía que al principio parecía un sueño inalcanzable. Los amo.

A MI ASESOR:

Al Dr. Samuel Enciso Sáenz por su valiosa ayuda y cooperación en el desarrollo del proyecto.

A MIS AMIGOS:

Por llegar a mi vida de forma inesperada y hacerme entender el verdadero significado de la amistad. Gracias por quedarse.

2 RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se aborda un problema ambiental que es generado por parte de las empresas lecheras productoras de quesos y productos lácteos derivados que, al verter sus desechos residuales (lactosuero) directamente al drenaje, ocasionan la contaminación de los recursos hídricos, que de por sí con el tiempo han comenzado a disminuir, dañando también a los ecosistemas. Concretamente, la industria láctea es un claro ejemplo de industria contaminante a los cuerpos de agua debido a los residuos derivados del queso y otros productos lácteos.

Por esto, en este proyecto de investigación se darán a conocer los resultados obtenidos al tratar aguas residuales de este tipo de industria, en separadores coalescentes tipo API circular y rectangular para su tratamiento, con el cual se busca reducir parámetros que estén relacionados con sus grasas y aceites.

Los separadores se construyeron a escala laboratorio y, mediante pruebas, se analizaron y evaluarán su eficiencia en base a los parámetros a estudiar como: densidad, pH, DQO, y la remoción de grasas, de acuerdo con los resultados obtenidos.

El agua residual láctea que se trató contiene DQO (4672 mg/L); grasas (8666.66 mg/L); densidad (1.023 g/cm³) y pH (3.84.), estos parámetros fueron importantes de determinar para poder conformar las condiciones iniciales de operación de los sistemas.

Los procesos de separación por coalescencia, permiten obtener una remoción de Grasas y aceites y de DQO por arriba del 50% en un tiempo de residencia de 30 minutos, lo cual es significativo debido a que este método no ha sido probado en el lactosuero, y podría ser un gran paso para el tratamiento de los contaminantes de este efluente.

PALABRAS CLAVE: Tratamiento de aguas, lactosuero, Industria láctea, coalescencia, grasas y aceites.

3 ABSTRACT

In the present work an environmental problem that is generated by part of dairy companies that produce cheese and derived dairy products that, by pouring their residual waste (whey) directly into the drain, cause contamination of water resources, which have begun to decrease over time, also damaging ecosystems. Specifically, the dairy industry is a clear example of an industry that pollutes bodies of water due to residues derived from cheese and other dairy products.

For this reason, in this research project the results obtained when treating wastewater from this type of industry will be disclosed, in circular and rectangular API-type coalescent separators for its treatment, with which it seeks to reduce parameters that are related to its fats. and oils.

The separators were built on a laboratory scale and, through tests, their efficiency be analyzed and evaluated based on the parameters to be studied such as: density, pH, COD, and the percentage of fat removal, according to the results obtained.

The dairy residual water that was treated contains DQO (4672 mg/L,); fat (8666.66 g/dL); density (1.023 g/cm³) and pH (3.84,), these parameters were important to determine in order to establish the initial operating conditions of the systems.

Separation processes by coalescence allow obtaining a removal of Fats and oils and DQO above 50% in a residence time of 30 minutes, which is significant because this method has not been tested on whey, and it could be a big step for the treatment of contaminants from this effluent.

KEYWORDS: Water treatment, whey, dairy industry, coalescence, fats and oils.

Contenido

1	AGRADECIMIENTOS.....	1
2	RESUMEN	2
3	ABSTRACT	3
4	INTRODUCCIÓN	7
5	DESCRIPCION DE LA EMPRESA	9
6	OBJETIVOS	10
7	JUSTIFICACIÓN.....	11
8	ANTECEDENTES	12
9	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
10	MARCO TEORICO.....	14
10.1	Panorama del sector lácteo en México.....	14
10.2	Industria láctea en México	14
10.2.1	Lactosuero	15
10.3	Leche	16
10.3.1	Composición de la leche.....	16
10.3.2	Agua.....	17
10.3.3	Proteínas	17
10.3.4	Materia grasa	19
10.3.5	Lactosa.....	21
10.3.6	Minerales.....	21
10.3.7	Enzimas.....	22
10.3.8	Vitaminas.....	23
10.3.9	Otros componentes.....	24
10.4	Composición fisicoquímica de la leche.....	24
10.4.1	Punto de congelación.....	24
10.4.2	Punto de ebullición.....	25
10.4.3	Densidad.....	25
10.4.4	pH y acidez	25
10.4.5	Viscosidad.....	25
10.5	Apariencia.....	25
10.6	Microbiología en la leche	26
10.7	Aguas residuales.....	26

10.7.1	Tipos de aguas residuales.....	26
10.7.2	Aguas residuales industriales	27
10.8	Proceso lácteo	27
10.8.1	Efluentes líquidos de la industria lechera	29
10.8.2	Caracterización de efluentes lácteos	30
10.8.3	Contaminantes presentes en efluentes lácteos.....	30
10.9	Lactosuero	32
10.9.1	Factores que varían la composición del lactosuero	33
10.9.2	Aplicaciones del lactosuero.....	34
10.9.3	Usos potenciales del suero de queso	34
10.10	Métodos utilizados en el tratamiento de efluentes industriales	36
10.10.1	Métodos químicos.....	36
10.10.2	Métodos mecánicos	36
10.11	Tecnologías de fácil acceso para el tratamiento de efluentes industriales	36
10.12	Tratamiento para efluentes (agua- aceite)	37
10.12.1	Tratamientos primarios.....	38
10.12.2	Tratamientos secundarios.....	38
10.12.3	Tratamiento terciario o especial	39
10.13	Equipos utilizados en el tratamiento de efluentes agua-aceite.....	39
10.13.1	Equipos primarios de separación	39
10.14	Equipos secundarios de separación	42
10.14.1	Flotación por aire disuelto (DAF).....	42
10.14.2	Coagulación / floculación / sedimentación	43
10.14.3	Aeración	45
10.15	Equipos terciarios de separación	46
10.15.1	Adsorción.....	46
10.15.2	Ozonificación	47
10.15.3	Cloración.....	47
10.16	Equipos utilizados en el tratamiento de lactosuero.....	50
10.16.1	Separadores API	53
10.16.2	Placas coalescentes	54
10.17	Normatividad sobre vertido de aguas residuales	55
11	DESARROLLO	57

11.1	Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.	57
11.1.1	Construcción de prototipos de separadores API.....	57
11.1.2	Tiempos de residencia.....	61
12	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE EFLUENTE RESIDUAL (LACTOSUERO)	62
12.1	Toma de las muestras	62
12.2	Métodos de prueba.....	62
12.2.1	Determinación del pH (Método potenciométrico)	62
12.2.2	Determinación de la densidad	63
12.2.3	Determinación de grasas y aceites (Método Gerber)	64
12.2.4	Determinación de Demanda química de oxígeno (DQO) Método HACH 8000.....	69
13	RESULTADOS	73
13.1	pH	75
13.2	Densidad.....	76
13.3	DQO	77
13.4	Grasas y aceites	79
14	DISCUSIONES	82
15	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
15.1	CONCLUSIONES	82
15.2	RECOMENDACIONES	83
16	COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	84
17	INDICE DE FIGURAS	85
18	INDICE DE TABLAS	87
19	LISTA DE ABREVIATURAS.....	88
20	GLOSARIO	89
21	BIBLIOGRAFIA	91

4 INTRODUCCIÓN

El agua que es consumida diariamente, más allá de ser un recurso limitado, es el elemento vital e indispensable que necesita un ser vivo para poder existir, la contaminación de este recurso se ha visto tan impactante que se han tenido muchos problemas en ecosistemas del país y del resto del mundo. La responsabilidad de cuidar el agua es de todos y se debe tener conciencia ambiental para mantener un desarrollo sostenible y, un medio sin incremento de contaminación para las generaciones futuras.

Uno de los problemas ambientales más importantes de la actualidad es la contaminación de los ecosistemas acuáticos ocasionado por derrames o vertimientos de contaminantes lácteos. En este caso las principales consecuencias son la pérdida de calidad, de las características físicas y químicas de las aguas, que por ende conduce a cambios de la dinámica de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, enfermedades, contaminación de aguas superficiales y subterráneas además de afectar los suelos.

El efluente proveniente de industrias lácteas es un factor de contaminación debido al uso de agua en la cadena de procesos para la producción excesiva de productos lácteos, como yogurt y queso entre los más representativos que suelen ser comercializados a altos precios (Brassel & Hidalgo, 2007).

Las actividades que se realizan en las industrias lácteas han incorporado nuevas tecnologías para poder mejorar la calidad de sus productos lácteos que ofrecen al público consumidor, utilizando el agua en sus procesos de producción, que al ser descargado al cuerpo receptor o redes de alcantarillado sin depuración produce olores fétidos, pérdida de especies, que en consecuencia aumenta el número de enfermedades que afecta a la población (Jiménez Idrovo, 2019).

Las industrias lácteas generan un alto volumen de agua residual y se trata de una problemática muy preocupante por tener alto contenido de sólidos suspendidos y emulsiones aceitosas que se producen en el agua, ya que la generación de este tipo de aguas residuales es el problema medioambiental más importante en industrias lácteas tanto por su volumen como por su alta carga contaminante asociada.

Día a día se consume productos lácteos ya que, la leche es un alimento vital para el consumo humano recomendado para todas las edades también crea fuentes de empleo en especial a campesinos y pequeños finqueros, brindando ingresos económicos al país con bienes y servicios (Brassel & Hidalgo, 2007).

Las características de las aguas residuales industriales dependen de los diferentes procesos que se tiene en cada industria y de los contaminantes presentes, por esta razón cada sector produce su propia combinación de contaminantes y, dependiendo de la composición física, química y biológica de las aguas residuales generadas causarán deterioro de muchos hábitats de animales y daños irreversibles a diversos ecosistemas (Tee, 2015).

La experimentación en laboratorio se considera una práctica inteligente al ser vinculada con la teoría, que ayuda a construir modelos explicativos que tienen mucha relevancia en el aprendizaje conceptual.

Con el objetivo principal de llegar a la remoción de la elevada carga contaminante de grasas y aceites provenientes de los procesos efectuados en las industrias lácteas, se han construido prototipos de separadores API del tipo coalescentes, simulando el proceso de tratamiento a escala laboratorio, para evaluar el funcionamiento de un sistema de tratamiento en base a estudios previos de laboratorio.

5 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) es una institución pública con el objetivo de brindar una educación basadas en la “ciencia y tecnología con sentido humano.”

Esta universidad se fundó en 1971, por iniciativa estatal para contrarrestar la falta de instituciones de educación superior en Chiapas formando parte de la red nacional de 115 Tecnológicos de México.

Cuenta con un campus y 3 extensiones académicas en el que se ofrecen 9 ingenierías y 3 posgrados del que anualmente egresan 640 alumnos de nivel licenciatura y aproximadamente 10 alumnos de posgrado, que contribuyen al campo industrial y empresarial con sus conocimientos adquiridos en los campos científicos y tecnológicos.

Ubicación: Carretera panamericana Km. 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

C.P.29050

Teléfono: (961) 61 504 61

RFC: TNM140723GFA

Contacto: contacto@ittg.edu.mx

Misión:

Formar de manera integral profesionales de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

Visión:

Ser una Institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, Comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

6 OBJETIVOS

GENERAL:

- ◆ Evaluar separadores API de coalescencia circular y horizontal con aguas residuales de la industria lechera (lactosuero).

ESPECIFICOS:

- ◆ Construir prototipos de separadores de coalescencia circular y horizontal a escala laboratorio.
- ◆ Caracterizar la composición fisicoquímica del lactosuero residual antes y después de ser sometido a pruebas.
- ◆ Estimar la eficiencia de los separadores coalescentes al separar grasas y aceites de las aguas residuales, a través de pruebas de laboratorio.

7 JUSTIFICACIÓN

El agua es el recurso de más importancia vital en la vida de todos los seres humanos, por lo que su conservación debe ser uno de los principales objetivos para su cuidado, es por ello, que el tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria, especialmente de la industria láctea, debe volverse un problema de gran relevancia, debido a la carga contaminante que sus desechos industriales contienen.

Debido a la enorme cantidad de grasas que hay en las aguas residuales de las industrias lecheras, el primer objetivo del tratamiento es la remoción de la mayor cantidad de grasas posibles con la finalidad de que pueda recuperarse y pueda aprovecharse para otros usos potenciales en la industria, además de implementar sin problemas los procesos biológicos y avanzados que se utilizan generalmente después del tratamiento primario de las aguas residuales.

Este método de separación de grasas y aceites ha sido seleccionado ya que no se ha probado nunca en otras investigaciones y, si se demuestra que da buenos resultados, podría ser un parteaguas en el proceso de separación en el tratamiento de aguas residuales, ya que ayudaría a eliminar uno de los componentes con más carga contaminante de este tipo de efluente industrial, además de que resultaría ser un método más económico frente a otros.

Este prototipo será construido a escala de laboratorio, ayudando como un equipo para desarrollar investigaciones necesarias y así poder se enfoca en presentar los resultados obtenidos, al realizar una comparación de separadores coalescentes, después de someter a pruebas a las aguas residuales lecheras, y evaluando su eficiencia en base a los parámetros como pH, densidad, porcentaje de remoción de grasas, entre otros.

8 ANTECEDENTES

La industria lechera es uno de los sectores industriales que tiene como materia prima la leche, la cual produce una amplia cantidad de productos que van del queso, yogurt, hasta productos como lo son los helados y la mantequilla. La generación de aguas residuales en esta industria es el factor ambiental más significativo debido a sus elevados volúmenes generados, así como su carga contaminante asociada a las mismas.

Como en la mayoría de las empresas del sector del giro agroalimentario, las industrias lácteas consumen diariamente grandes cantidades de agua tanto en sus procesos como para mantener sus condiciones higiénicas y sanitarias requeridas. Las concentraciones pueden llegar a variar debido a la cantidad de productos que se producen a diario, y en ciertos casos, se pueden presentar valores bastante diferentes a los anteriores.

Los contaminantes de carácter aceitoso en las aguas residuales pueden ser caracterizados por la polaridad, biodegradabilidad y características físicas. Los contaminantes polares tienen usualmente un origen vegetal o animal y sus fuentes son principalmente las operaciones industriales de alimentos.

Es por esto, que es más rentable instalar como primera etapa un sistema que logre separar las grasas y aceites del agua residual, reduciendo de esta manera la carga contaminante que está siendo descargada, y recuperar las grasas y/o aceites que puedan llegar a ser útiles.

Históricamente, el diseño de separadores de agua de petróleo convencionales se basaba en criterios desarrollados a partir de un estudio de investigación financiado por la API iniciado en 1948; numerosos separadores de aceite-agua basados en los criterios de diseño han sido puestos en funcionamiento a lo largo de la industria del petróleo (Perry, 2001).

Una función principal del separador de aceite-agua es quitar grandes cantidades de aceite libre antes del tratamiento adicional, teniendo en cuenta que solo puede retener gotas con un tamaño $>20\mu\text{m}$. El separador de aceite-agua protege a los procesos subsecuentes de tratamiento de aguas residuales, sensibles a cantidades excesivas de aceite. Las espumas del separador y aceite no recuperado son típicamente recicladas y pueden terminar como lodos (ATAS, 1986).

Para grandes flujos los separadores API necesitan grandes áreas de superficie, por lo que se han modificado a través de la introducción de placas planas paralelas, inclinadas o placas corrugadas, especialmente diseñadas, con lo que se ha mejorado la situación hidráulica en estas trampas y a la vez la capacidad de carga (Perry, 2001).

9 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación de los recursos hídricos por grasas y aceites es una problemática común que se tiene por el vertimiento aguas residuales, como los provenientes de la industria lechera, al medio ambiente. Toda industria, sin importar el proceso que se lleve a cabo al momento de producir un producto, genera una serie de residuos en cualquiera de sus formas, los cuales son emitidos hacia el ambiente y no son tratados como es debido, como la industria láctea, la cual, después de elaborar sus productos derivados, llega a generar grandes cantidades de lactosuero, lo cual implica una problemática de contaminación debido a la alta carga de materia orgánica contaminante.

En este tipo de industrias se producen todos los días un volumen elevado de agua residual, esto puede oscilar entre 4 a 10 litros de agua por cada litro de leche, según el tipo de planta láctea (Pacururu Reyes, 2011). La mayor parte de agua empleada está en los procesos de limpieza y desinfección de equipos donde se tiene restos de productos lácteos y productos químicos, esto con el fin de mantener las condiciones higiénicas y sanitarias necesarias (Villena, 1995).

Los efluentes provenientes de empresas lácteas en la mayoría de los casos no son destinados a un sistema de tratamiento sino, directamente a descarga directa sin ningún tratamiento y sin verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, por lo tanto, esto afecta a la salud pública, contamina al suelo, al agua y causa potencial daño a la vida acuática (Jiménez Idrovo, 2019). Además, este efluente contiene cierta cantidad de materia orgánica, nutrientes, químicos y hasta inclusive organismos causantes de enfermedades tales como *Escherichia coli* y *Brucella* (Celis & Juárez, 2009).

Además, estas aguas residuales, al contener un gran volumen de grasas y aceites, al llegar al alcantarillado tienden a adherirse en las líneas de desagüe y a solidificarse, lo cual provoca obstrucciones e ineficiencias en el funcionamiento del sistema (Jiménez, 2012), ya sea de la misma planta de producción o del sistema público.

Generalmente, las grasas y aceites de las aguas residuales de la industria lechera rondan entre los 75-85 mg/L, los cuales de acuerdo con la NOM-001- SEMARNAT-1996 sobrepasan el límite máximo permisible, el cual es de 15 mg/L, lo que indica un gran porcentaje de diferencia de alrededor del 526.6% (Vazquez, 2010), lo cual indica una gran problemática.

Es por esto, que se pretende realizar pruebas en prototipos de separadores coalescentes tipo API a escala laboratorio, para verificar si estos equipos pueden reducir las grasas y aceites de este tipo de efluentes industriales y así, bajar los niveles de carga contaminante de estas, esperando que con esto se pueda dar un mejor tratamiento a estas aguas y así puedan verterse al drenaje sin que lleguen a afectar o contaminar los cuerpos hídricos.

10 MARCO TEORICO

10.1 Panorama del sector lácteo en México

La leche es un alimento completo e indispensable para la nutrición humana, especialmente para los niños, por lo que su producción es de importancia crucial en la seguridad alimentaria de México (Marcos Hernández, 2017).

La productividad de la ganadería lechera como actividad primaria, y sus conexiones con los eslabones de industrialización y comercialización de la leche y sus productos derivados en México, es un tema de gran relevancia para la economía nacional mexicana, ya que se observa una brecha importante entre la producción nacional y la demanda de leche en México.

En México la producción de leche proveniente de la raza bovina es muy heterogénea desde los puntos de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo la gran variedad de climas regionales y características de las tradiciones y costumbres de las poblaciones. Sin embargo, el sector industrial de productos lácteos es la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos en México, y depende de la disponibilidad de la leche nacional su crecimiento y desarrollo.

Según cifras dadas por el Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), durante el período 2003-2011 la producción nacional de leche bovina ha tenido una tasa media de crecimiento de 1.3%.

10.2 Industria láctea en México

La industria láctea es el sector industrial que tiene como materia prima la leche; dicho sector se dedica al procesamiento de este producto para colocarlo en el mercado con los requisitos de los códigos de seguridad alimentarios. Su principal producto es la leche industrializada y una serie de subproductos que se catalogan como lácteos e incluyen una amplia gama, que va desde los productos fermentados como el yogur, la ricota y los quesos entre otros.

México se encuentra dentro de los principales países productores de leche en el mundo, en el mercado mundial se observa que la producción de leche se divide en dos grandes grupos integrados, por un lado, por los países altamente desarrollados tales como los Estados Unidos y los que se encuentran en Europa, producción que obtienen con elevados programas de subsidios; y, por otra parte, los países con bajos costos de producción como lo son Australia, Nueva Zelanda, Argentina y Uruguay, quienes poseen condiciones agroclimáticas muy favorables para la producción y cuentan con la infraestructura necesaria para una producción eficiente. En el caso de México, es importante destacar que de 2 a 3 de cada 100 litros que se producen en el mundo, son de origen mexicano, lo cual coloca al país en el puesto 16 de la lista.

De manera histórica, se observa una brecha importante entre la producción nacional y la demanda de leche en México; ese déficit histórico de la producción nacional de leche para cubrir la demanda interna es una de las razones por las cuales México ha ocupado el primer lugar como importador de leche en polvo en el mundo. Datos de la SHCP (2014), SAGARPA (2014), muestran que de 2007 a 2012, las importaciones de leche alcanzaron los 2,000 millones de litros anuales (un 20% de la producción nacional) con un crecimiento anual de 5.1%.

En cuanto a la regulación de criterios de protección ambiental, México no es la excepción en la implantación de normas de carácter obligatorio, haciendo que se respalden los criterios como es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece que los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, lo cual, hace que se diseñen e implementen sistemas de tratamiento de los desechos líquidos.

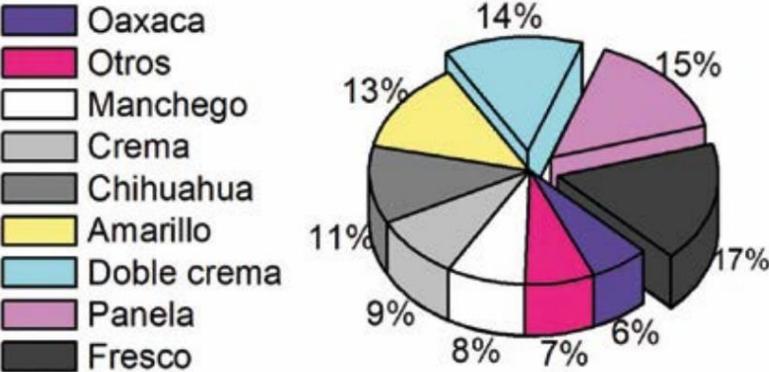
10.2.1 Lactosuero

En México los productos lácteos más producidos y comercializados son los quesos, los yogures, y las leches industrializadas: pasteurizada, ultra-pasteurizada y en polvo. El abastecimiento privilegia solamente a las zonas urbanas, que cuentan con vías de comunicación accesibles y concentran grupos con niveles de ingreso más altos; por otra parte, en las zonas rurales el consumo de lácteos se limita únicamente a leche bronca y productos artesanales (Figuroa-Rodríguez et al., 2012).

La producción total de queso en el país es de 332,251 toneladas, se distinguen 9 tipos principales (Figura 4): fresco, panela, doble crema, amarillo, Chihuahua, crema, tipo Manchego, Oaxaca y otros (SAGARPA, 2015).

Figura 10.1

Producción de diferentes tipos de quesos en México (SAGARPA, 2015)



10.3 Leche

La leche natural es aquella que se comprende como un producto íntegro, que no se encuentra alterado ni adulterado y que se encuentra libre de calostros, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de las hembras mamíferas domésticas sanas y que se encuentran bien alimentadas. La leche procede generalmente de vacas, ovejas, cabras y búfalas.

Por otra parte, La leche cruda está compuesta por los tres principios inmediatos en equilibrio estable (hidratos de carbono, grasas y proteínas), así como vitaminas, sales minerales y otros componentes minoritarios. Esta mezcla es casi la misma en las diferentes especies, pero con diferentes proporciones. Desde un punto de vista físico, la leche cruda consta de varias fases en las que se encuentran dispersos sus componentes:

- Emulsión de glóbulos grasos
- Suspensión de caseína que está unida a sales minerales
- Solución acuosa (lactosuero) formada por proteínas solubles, lactosa y sales minerales solubles.

La leche, es un líquido cuya composición, determina su nivel de calidad nutricional y la aptitud que tiene para poder elaborar productos lácteos derivados. Cualitativamente tiene una composición y unas propiedades variables. Cuantitativamente oscila entre rangos muy amplios en función de factores tales como lo son: la especie, la raza, zona de producción, la estación del año, etapa de lactancia, la alimentación, la sanidad, etc.

La leche es un producto altamente perecedero que debe ser enfriado a 4°C lo más rápido después de su recolección, las temperaturas extremas, la acidez pH o la contaminación por microorganismo pueden alterar su calidad (Jurado Gámez, 2019).

10.3.1 Composición de la leche

A continuación, se presentan los valores porcentuales medios de los componentes que se encuentran en mayor proporción en la leche de vaca, en la que cabe destacar que el valor nutricional de la leche es mayor a el valor individual de los nutrientes que la componen y esto es debido a su óptimo balance nutricional.

Tabla 10.2

Composición básica promedio de nutrientes en la leche

Componente	Leche de vaca (%)
Agua	87.5
Proteína	3.2
Grasas	3.6
Hidratos de carbono	4.7

Caseína	2.6
Albumina, globulina	0.6
Cenizas	0.7

10.3.2 Agua

El agua es el componente con mayor presencia en la leche cruda, oscilando entre el 80% y el 90% en la mayoría de las especies domésticas con aptitud lechera. Este elemento permite mantener:

- A los componentes de la leche como la lactosa, proteínas solubles y iones minerales en solución.
- A las grasas en emulsión.
- A las proteínas en dispersión.

La leche, es un medio acuoso que se caracteriza por la presencia de diferentes fases en un equilibrio inestable. La cantidad de agua que se encuentra en la leche es regulada por la lactosa y por las fluctuaciones en el contenido graso que experimenta la leche a lo largo de su ciclo de lactación. Asimismo, la producción de leche se ve afectada de manera rápida cuando hay una disminución de agua.

10.3.3 Proteínas

Las proteínas son macromoléculas que están formadas por unidades más pequeñas llamadas aminoácidos. Los aminoácidos están compuestos fundamentalmente por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), con otros elementos más como el azufre (S), el fósforo (P) y el hierro (Fe).

En cuanto a las proteínas de la leche, estas son el componente más importante desde el punto de vista nutritivo. Estas son de gran influencia al momento de la elaboración de productos lácteos, ya que de estas depende la aptitud tecnológica y contribuyen al rendimiento quesero, además de ser responsables de procesos como la coagulación, además de intervenir directamente en la textura e influir en la formación del olor y del sabor a través de la degradación de estas a lo largo de la maduración. La estabilidad de las proteínas va a condicionar las propiedades fisicoquímicas principales de la leche.

Dentro de la leche se encuentran dos grupos proteicos, las cuales son las caseínas y las proteínas séricas solubles.

Caseína

Las casinas son fosfoproteínas que, debido a sus propiedades fisicoquímicas, pueden precipitar a un pH de 4.6 y a una temperatura de 20 °C. Conforman la proporción proteica más abundante de la leche (alrededor del 80%) y se encuentran asociadas, dando lugar a una estructura compleja llamada micela. El contenido de caseínas es el principal factor desde el

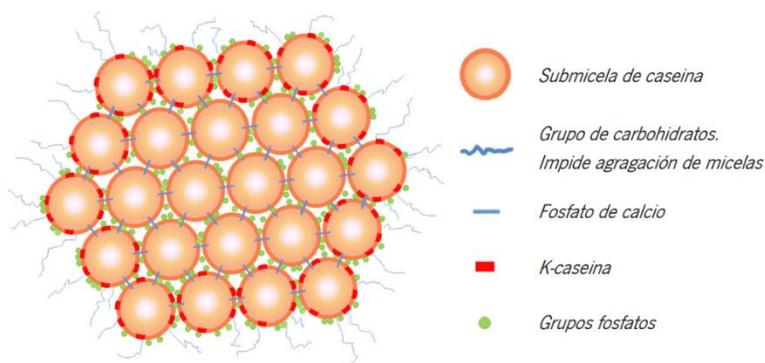
punto de vista tecnológico, ya que son las proteínas coagulables, y que, mediante la acción de la acidez y/o de enzimas proteolíticas, permiten la obtención de la “cuajada” con la cual se elabora la mayoría de los quesos.

La micela de la caseína es una partícula esférica, sólida y esponjosa de unos 160 nm de diámetro, la cual está formada por la asociación de diferentes caseínas y componentes salinos, de los cuales tienen importancia el calcio y el fósforo inorgánico.

La micela, está constituida por un conjunto de subunidades, submicelas, que son de naturaleza exclusivamente proteica y de composición variable, las cuales están asociadas las unas a las otras por elementos minerales (como calcio, fósforo y magnesio). En la superficie de la micela se dispone el segmento hidrófilo de la caseína κ (cargado negativamente). Esta carga negativa del fragmento terminal de la caseína κ favorece la disposición de una capa de hidratación alrededor de las micelas.

Figura 10.2

Micela de caseína



Dentro de las caseínas, existen cuatro tipos, las cuales son:

- alfa (α)
- beta (β)
- kappa (κ)
- gamma (γ)

La caseína κ es la proteína más relevante debido a su importancia en la coagulación de la leche, ya que estabiliza a otras caseínas en presencia de calcio (Ca) para poder formar micelas. A mayor cantidad de caseína κ , menor será el tamaño de la micela.

La estabilidad de las micelas de caseína se debe a la carga eléctrica neta y a los grados de hidratación, dependiendo también de la composición salina de la fase acuosa de la leche, de las proporciones relativas de caseína κ y del contenido en fosfato de calcio.

Proteínas séricas

El segundo grupo de proteínas que conforma la leche son las llamadas proteínas del suero o proteínas solubles, las cuales están formadas principalmente por α -lactoalbúminas, β -lactoglobulinas, seroalbúminas e inmunoglobulinas. Estas proteínas se encuentran en menor proporción que las caseínas, representando apenas el 20% de las proteínas totales.

Las proteínas séricas son aquellas sustancias nitrogenadas que se encuentran en disolución cuando las caseínas precipitan, es decir, que permanecen en el suero tras la acción de las enzimas proteolíticas y/o la acidificación (no intervienen en la formación de la cuajada). Estas proteínas son diferentes de las caseínas debido a su contenido equilibrado en aminoácidos esenciales que les confieren un buen valor en contenido nutricional, su estructura más compacta y su sensibilidad al calor ya que se desnaturalizan a 90-100 °C, formando flóculos.

10.3.4 Materia grasa

La composición de lípidos en la leche es compleja al igual que las proteínas, y constituye una fracción importante de la leche, debido a los aspectos económicos, nutritivos y a las características físicas y organolépticas a las que da lugar. Los cambios de la composición relativa de los ácidos grasos de la leche suelen provocar modificaciones tecnológicas y sensoriales en los productos lácteos que se obtienen.

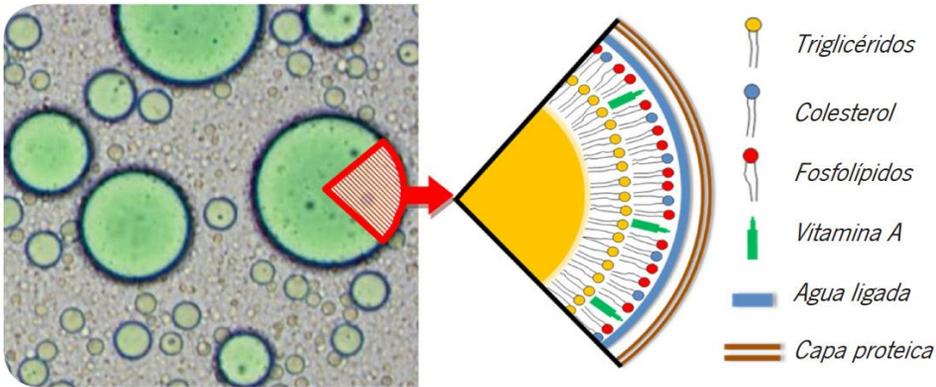
La cantidad de materia grasa (que se expresa en tanto por ciento, bien en peso o en volumen) presente en cualquier leche varía en función de:

- La alimentación del animal.
- La estación del año.
- El estado de lactación del animal y el número de partos.
- La raza y la genética.
- El manejo y el estado sanitario del animal.

La grasa se encuentra en la leche en forma de suspensión acuosa, en forma de pequeños glóbulos dispersos de mayor o menor tamaño que se encuentran recubiertos de una membrana que la protege de su degradación y en el que en su interior se encuentran los triglicéridos. Esta membrana es fácilmente alterable, haciendo que se dé lugar a sabores y olores desagradables que son más acentuados cuando el contenido graso es mayor.

Figura 10.3

Glóbulos de grasa de leche de vaca (vista microscópica). Esquema de la pared de un glóbulo graso.



El tamaño de los glóbulos grasos de la leche varía con la especie de la cual se obtiene la leche. Por ejemplo, la leche de vaca contiene glóbulos grasos de diámetro mayor ($4,55 \mu\text{m}$) a los de la leche de cabra ($3,50 \mu\text{m}$) y de oveja ($3,30 \mu\text{m}$). La materia grasa de la leche está compuesta por triglicéridos, fosfolípidos y sustancias insaponificables.

Triglicéridos

Los triglicéridos son ésteres de ácidos grasos y glicerol y conforman el mayor componente de la grasa láctea (alrededor del 98%). Las propiedades tecnológicas, físicas (densidad, punto de fusión) y nutricionales de la grasa dependen de estos. Los triglicéridos son bastante estables y solo son atacados por enzimas. La degradación de los ácidos grasos da lugar a la formación de sabor y aromas característicos, que son necesarios en la elaboración de queso. No obstante, este proceso puede resultar indeseable en la elaboración de leche en estado líquido debido al enranciamiento de las grasas.

Fosfolípidos

Constituyen una pequeña proporción de la grasa de la leche (alrededor del 0,8%) y se distribuyen en la membrana de los glóbulos de grasa y en la fase acuosa. El 40% de estos fosfolípidos se sitúan en la fase no grasa de la leche y el resto se sitúa en la membrana del glóbulo graso, permitiendo su estabilidad en emulsión.

Sustancias insaponificables

Esta fracción se compone de lípidos que son incapaces de reaccionar con sosa para dar lugar a la formación de jabones y que se encuentran en la leche en una proporción del 1%. Son componentes muy numerosos y variados: esteroides, carotenoides y tocoferoles.

- Los carotenoides son colorantes solubles en las grasas. En la leche se encuentra fundamentalmente el caroteno, el cual es el precursor de la vitamina A y de color amarillo característica de la leche de vaca.
- Los esteroides forman la mayoría del material insaponificable y el colesterol es el principal esteroide (95%) que se puede encontrar en la grasa y se encuentra asociado con las proteínas. Esta asociación juega un papel importante en la estabilización del estado de emulsión de la grasa.
- Los tocoferoles son antioxidantes naturales que son sensibles a la luz. El más importante es el alfa-tocoferol (vitamina E), el cual es el antioxidante natural de la grasa de la leche.

10.3.5 Lactosa

La lactosa es un hidrato de carbono que solo puede encontrarse en la leche, disuelta y uniformemente distribuida y constituye el principal componente de esta después del agua. Es un disacárido que se encuentra formado por la unión de dos azúcares, los cuales son la galactosa y la glucosa. De la misma manera que otros azúcares, la lactosa presenta un sabor dulce, pero en comparación con la sacarosa su poder edulcorante puede ser hasta seis veces menor.

En la leche, el sabor dulce está enmascarado por la proteína denominada caseína, de forma que el suero tiene un sabor mucho más dulce. En algunas leches que ya fueron calentadas, se observa un oscurecimiento debido a la sensibilidad de la lactosa al calor. Este pardeamiento se debe a la reacción entre la lactosa y materias nitrogenadas o a la caramelización de las moléculas de lactosa.

La lactosa es un azúcar que se puede fermentar por determinados microorganismos para poder producir ácido láctico, gas carbónico y otros compuestos importantes como el diacetilo, que interviene en la formación del aroma. El ácido láctico origina una disminución de pH indispensable para lograr la coagulación en la elaboración de leches fermentadas y quesos.

10.3.6 Minerales

Los minerales forman parte de la leche en una proporción muy pequeña (entre 0,5% y 1%), aunque ejercen una gran influencia sobre las características de esta y en su actitud tecnológica. La mayoría de las sales están de forma disuelta (moléculas y iones) y otras lo están en estado coloidal formando compuestos con la caseína. La mayoría son del tipo mineral (fósforo, cloruros, bicarbonatos), aunque también los hay de origen orgánico, como lo son el citrato que interviene en el equilibrio del calcio. Es frecuente diferenciar los minerales en:

- **Macroelementos:** las sales mayoritarias de la leche están constituidas por cloruros, fosfatos y citratos de potasio, calcio, sodio y magnesio.

- **Oligoelementos:** muy numerosos, dependen en gran medida de la alimentación del animal, medio ambiente, etc. Entre ellos figuran aluminio, zinc, manganeso, hierro y cobre.

Estos minerales tienen gran importancia en el mantenimiento de la estabilidad de la leche, además de su aporte al valor nutricional. Entonces, la estabilidad de las proteínas depende del equilibrio iónico de los principales componentes salinos de la leche (calcio, magnesio, fosfatos y citratos). Gran parte de estos se encuentran en la fase coloidal de la leche asociados a las micelas de caseína nativa, mientras que otra parte se encuentra en disolución.

Existe un equilibrio entre los componentes solubles y aquellos que se encuentran en estado coloidal. Este equilibrio es frágil, de forma que numerosos factores como el pH, la temperatura, entre otros, pueden alterarlo, perdiendo su estabilidad.

Existe, por lo tanto, un equilibrio natural entre el calcio y el magnesio iónicos por un lado y los complejos de calcio y magnesio por otro. Cualquier alteración de este equilibrio modifica la estabilidad de la leche. Un aumento de iones Ca^{+2} (por ejemplo, la adición de sales solubles de calcio) favorece la desestabilización de la proteína por lo que ejerce un papel positivo para la coagulación enzimática de la leche en la elaboración de quesos.

10.3.7 Enzimas

Las enzimas son sustancias de naturaleza proteica que actúan como catalizadores en los procesos metabólicos a baja concentración y que son específicas para cada reacción. Al momento de la secreción de la leche ya se encuentran algunas enzimas, otras son producidas por microorganismos que hay al momento de la ordeña de la leche, y hay otras generadas por microorganismos que contaminan la leche después de su producción.

La actividad enzimática dependerá del pH y de la temperatura. Desde el punto de vista tecnológico tienen un papel importante en la degradación de los constituyentes de la leche, provocando modificaciones a nivel tecnológico y a nivel organoléptico de los productos transformados, además de ser indicadores del tratamiento térmico, de la calidad higiénica de la leche y de la especie de procedencia, además de que algunas enzimas poseen actividad antibacteriana, lo cual aportan una protección limitada a la vida de la leche.

Algunas enzimas de interés tecnológico en la industria láctea son la fosfatasa, la lipasa, la proteasa, la lisozima, la lactasa y la catalasa.

La fosfatasa alcalina está adherida a la superficie de la membrana del glóbulo graso o asociada con las lipoproteínas. Su contenido aumenta de la fase colostrada en adelante. Al ser fuertemente termolábil se puede inactivar por un calentamiento durante unos segundos a 72 °C o varios minutos a 60 °C, por lo que es utilizado como un indicador de la eficacia del tratamiento térmico de la pasteurización.

La lipasa se encuentra unida a los glóbulos de grasa o a la caseína y llega a hidrolizar la grasa de la leche, liberando ácidos grasos y glicerina. Se destruye fácilmente en el proceso de

pasteurización. Contribuye a que el queso tenga un buen aroma sabor, aunque las lipasas de ciertas bacterias pueden provocar la aparición de sabores y olores desagradables en el queso. Para minimizar esta situación se añade sal, que inhibe la actividad de estas enzimas, pero llega a haber inconvenientes, debido a que los quesos suelen retener más humedad y el suero es salado, lo cual hace que sea más difícil de aprovechar.

La proteasa es la enzima que rompe los enlaces de las proteínas liberando péptidos y aminoácidos. Aunque las cantidades de esta enzima en la leche suelen ser pequeñas, pueden tener un profundo efecto sobre el sabor y la textura del queso.

La lactasa es la enzima encargada de la degradación de la lactosa de la leche en glucosa y galactosa. Dada la elevada afinidad que poseen numerosos microorganismos para metabolizar la lactosa, esta se encuentra en cantidades inferiores en los productos lácteos fermentados (como yogur, leches ácidas, etc.), pudiendo llegar prácticamente a desaparecer en algunos de ellos (quesos curados).

La lisozima provoca la ruptura de la pared de ciertas bacterias, por ello tiene un importante rol en la conservación de la calidad de la leche debido a su acción bacteriostática. Por otra parte, juega un importante papel nutritivo ya que mejora la digestibilidad de la caseína.

Otra enzima es la catalasa, la cual es un componente nativo de la leche, hay microorganismos que producen catalasa en pequeñas cantidades, pero no se utiliza para determinar calidad microbiológica de la leche. Las leches normales contienen una cantidad muy pequeña.

10.3.8 Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas de pequeño tamaño que se encuentran en la leche en pequeña cantidad pero que poseen gran importancia nutritiva ya que son necesarias para el desarrollo normal de los procesos vitales. No se producen en el organismo por lo que los alimentos deben aportarlas en cantidades suficientes. La leche figura como el alimento más rico en aporte de vitaminas por contener todas las conocidas, aunque algunas vitaminas estén en cantidades muy pequeñas. En la leche se encuentran vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y las hidrosolubles (B1, B2, B6, B12 y C).

La vitamina A es soluble en la grasa si bien alguna parte permanece con las proteínas del suero. El tratamiento térmico causa mínimas pérdidas de esta vitamina en la leche.

La vitamina D se encuentra en la leche en cantidad variable según la alimentación que tenga el animal. Es estable al calor y a la oxidación y en el organismo humano está implicada en el metabolismo del calcio y del fósforo.

La vitamina E, proviene de los tocoferoles y evita que las grasas se enrancien y protege a la vitamina A de la oxidación. Es estable al calor, aunque susceptible a la oxidación.

La vitamina K no se pierde por el suero al ser liposoluble y es estable al calor, pero frágil a la oxidación y a la luz. Desde el punto de vista nutritivo es esencial para el mantenimiento

normal de la actividad coagulante de la sangre, pero su deficiencia no es problemática ya que se sintetiza en el tracto intestinal.

Las vitaminas hidrosolubles, pertenecientes al grupo B, están bien representadas en la leche, siendo la vitamina B1 (o tiamina), un nutriente esencial para el crecimiento humano. Se encuentra presente en la leche, tanto en solución como unida a proteínas, pero es destruida parcialmente por el tratamiento térmico de la leche.

La vitamina B2 confiere el color amarillo verdoso al suero y es resistente a los tratamientos térmicos habituales, pero, como la mayoría de las vitaminas naturales, tiende a disminuir durante el proceso de maduración. Interviene en los procesos de oxidación de la leche e influye en el metabolismo animal.

La vitamina B6 se encuentra libre en el suero de la leche. Es resistente a la pasteurización y es esencial para los procesos metabólicos de los microorganismos, que dan lugar al desarrollo de los sabores del queso.

La vitamina B12 quizás sea el miembro nutricional más importante del grupo B. Es hidrosoluble y lábil a ácidos, álcalis y a la luz. Se llega a perder parcialmente durante el proceso de pasteurización. Participa en la formación de ácido propiónico por las bacterias y afecta al metabolismo del ácido fólico.

La vitamina C, es también uno de los nutrientes esenciales de los alimentos. Se puede llegar a perder de forma parcial durante la pasteurización y a través del suero, por lo que en el momento del consumo de un queso maduro apenas queda esta vitamina.

10.3.9 Otros componentes

Además de los componentes anteriormente revisados, en la leche también se hallan células somáticas, conocidas generalmente como leucocitos, en pequeña cantidad cuando la leche procede de animales sanos, y gases como dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno (CO₂, N y O₂). Estos gases que suelen presentarse como la espuma de la leche, pueden llegar a originar el enranciamiento oxidativo y la pérdida de eficacia en el proceso de pasteurización.

10.4 Composición fisicoquímica de la leche

10.4.1 Punto de congelación

El punto de congelación es la temperatura a la cual una sustancia pasa a estado sólido. Por su parte, la leche se congela por debajo de los 0 °C, debido a que las sustancias disueltas rebajan el punto de congelación. Esta propiedad de la leche permite detectar el aguado ya que a medida que se incorpora agua a la leche, el punto de congelación llegará a más cercano a cero. Esta es una de las características más constantes en la leche. Los valores promedio del punto de congelación de la leche de vaca oscila entre los -0,53 °C y los -0,57 °C.

10.4.2 Punto de ebullición

El punto de ebullición es la temperatura a la cual una sustancia pasa de estado líquido a gaseoso. Debido a las sustancias en disolución que contiene la leche, como lo son los azúcares y minerales, se necesita una temperatura más elevada que la del agua, estando el punto de ebullición de la leche en 100.17 °C a nivel del mar, es decir, que, si la altura es mayor, la presión es menor y el punto de ebullición disminuye.

10.4.3 Densidad

La densidad de la leche de una especie determinada dependerá de varios factores como lo son:

- La temperatura, con la cual la densidad viene siendo menor al aumentar esta.
- La concentración de sólidos disueltos y en suspensión.
- La producción de materia grasa

Los valores promedio de la densidad de la leche de vaca se encuentra entre los $1.0231 \frac{g}{ml}$ y $1.0398 \frac{g}{ml}$.

10.4.4 pH y acidez

El pH es utilizado para demostrar el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia y es un parámetro de gran utilidad para el procesado de productos lácteos. Por lo general, la leche presenta un valor ligeramente ácido. El pH de la leche de vaca oscila entre 6.65 y 6.71. Un pH anormalmente bajo se debe a que hay una contaminación microbiológica, ya que los microorganismos llegan a transformar la lactosa de la leche en ácido láctico.

10.4.5 Viscosidad

La leche es más viscosa que el agua debido a su contenido graso en estado globular y a las macromoléculas proteicas que hay presentes en la leche. La viscosidad llega a disminuir al aumentar la temperatura cuando llega a los 70 °C.

10.5 Apariencia

La leche es un líquido opaco que proyecta un color blanco si el espesor es el suficiente. Esto se debe a la organización de las caseínas presentes (unidas por iones de Ca) en micelas, formando estructuras que son relativamente grandes y que favorecen la dispersión de la luz proporcionando a la leche el aspecto característico que tiene. Los glóbulos grasos también intervienen en la dispersión de la luz, debido a que la dimensión de estos es muy superior a la longitud de onda media de la luz solar. Los principales pigmentos que conforman la leche son el caroteno y la riboflavina. La leche de oveja y principalmente la de cabra, suelen carecer de β -caroteno, por lo que llegan a tener un color más blanco. En las leches calostrales o en leches que se encuentran en mal estado, toman un aspecto grisáceo y que llega a ser hasta translúcido. Además, en la leche se pueden observar coloraciones accidentales, tales como la coloración rosa debida a la presencia de sangre, y otras diversas debidas a la contaminación que se genera por la presencia de microorganismos.

10.6 Microbiología en la leche

Se consideran microorganismos todos aquellos seres vivos no visibles a simple vista (la unidad de medida utilizada para su medición es el micrómetro: $1\mu\text{m} = 0.001\text{ mm}$). La leche, debido a sus características y a su composición, es un medio propicio para el desarrollo de bacterias, levaduras, mohos y virus. De todos estos se pueden definir tres grandes grupos: los beneficiosos, como lo son las bacterias lácticas, que participan en la fabricación de productos lácteos, algunos producen la alteración de la leche y otros pueden tener efectos que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud. Pero la delimitación de estos grupos no está muy definida entre ellos. Las bacterias lácticas que son necesarias en la producción de yogur se consideran alterantes si se habla de la leche envasada. Algunos microorganismos pueden tener efectos solamente alterantes o también patógenos dependiendo de la concentración en la que se encuentren en el producto lácteo o según el individuo que lo ingiera.

10.7 Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por los humanos y las actividades que realizan y que por su calidad requieren un tratamiento previo para volver a ser utilizadas, vertidas a un cuerpo natural de agua, o sean descargadas al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales también pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población después de haber sido modificada por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo al final recolectadas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado.

10.7.1 Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales se generan de diversas formas, como puede ser de forma doméstica, industrial, pecuaria, agrícola, recreativa, entre otras, dependiendo la forma en cómo se originan y se determinan que características pueden tener dichas aguas.

Las aguas residuales se clasifican de la siguiente forma, teniendo en cuenta que el sector productor no sólo es el que más gasta, sino que es el que más contamina:

- Agua Residual Doméstica. Se caracteriza por contener residuos líquidos que provienen de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales.
- Infiltración y caudal adicionales. Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección, limpieza, aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

- Pluvial. Esta es básicamente el agua de lluvia que se descarga en grandes cantidades sobre el suelo, hasta llegar al alcantarillado.
- Agua residual industrial. Estas aguas se caracterizan por provenir de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se emplee el uso de agua, como medio de transporte, lavado, refrigeración directa.

Entre los contaminantes más importantes del agua se encuentran: microbios patógenos, metales pesados y materia orgánica persistente, así como los sedimentos en suspensión y pesticidas, los cuales, en su mayoría, provienen de fuentes no localizables.

10.7.2 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son desechos líquidos de la manufactura de un producto que se está produciendo, que generalmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal y composición que las aguas residuales urbanas, presentando características diversas en los vertidos, tanto de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Blázquez & Montero, 2010).

Las aguas residuales industriales presentan una contaminación que es más difícil de eliminar. Su alta carga contaminante, junto con la variabilidad que presentan, hace que su tratamiento sea mucho más complejo, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

10.8 Proceso lácteo

Primero, la leche fresca se reúne en tanques o silos de almacenamiento que se encuentran refrigerados y se conservan a una temperatura promedio de 3-4°C hasta iniciar su proceso (Zorrilla, 2018). La leche que es depositada en los silos pasa a través de un contador para su cuantificación y después se bombea hacia un filtro para que se eliminen las impurezas, luego pasa por la separación de la crema y leche, esto a través del proceso de centrifugación y separación de crema (Zorrilla, 2018). Los procesos básicos que se dan en la industria láctea hasta llegar a los derivados son:

Pasteurización: Este método consiste en desinfectar y eliminar microorganismos de la leche, primero se la somete a calor sin llegar a sobrepasar la temperatura necesaria (no mayor a 100°C) para eliminar el Koch, el cual es uno de los gérmenes más resistentes que está presente en la leche (Zorrilla, 2018). Posteriormente se pasa a un enfriamiento rápido y se

mantiene en refrigeración para evitar alteraciones del tipo microbianas y una germinación de las esporas en el caso que hayan persistido en el tratamiento térmico. Esta alternativa no es utilizada para mejorar la calidad de la leche, sino que es un método efectivo de desinfección que permite tener el suministro de leche pura libre de patógenos. La leche solo se puede conservar en un refrigerador por tiempo limitado, el cual normalmente es solo una semana (Zorrilla, 2018).

Esterilización: Es el proceso mediante el cual se trata la leche por periodos cortos de tiempo a altas temperaturas por medio de equipos UAT (Ultra Alta Temperatura) esto es para asegurar la ausencia de toxigénicos o toxinas y patógenos (Celis & Juárez, 2009). El proceso térmico se desarrolla a una temperatura entre 135-150°C de 2 a 10 segundos para destruir las bacterias que pueden presentar un riesgo en la salud humana (Zorrilla, 2018). El producto ya estéril se puede conservar en un refrigerador por algunos meses, pero cuando ya se envasa de forma aséptica en recipientes estériles, se podrá conservar no más de 3 días.

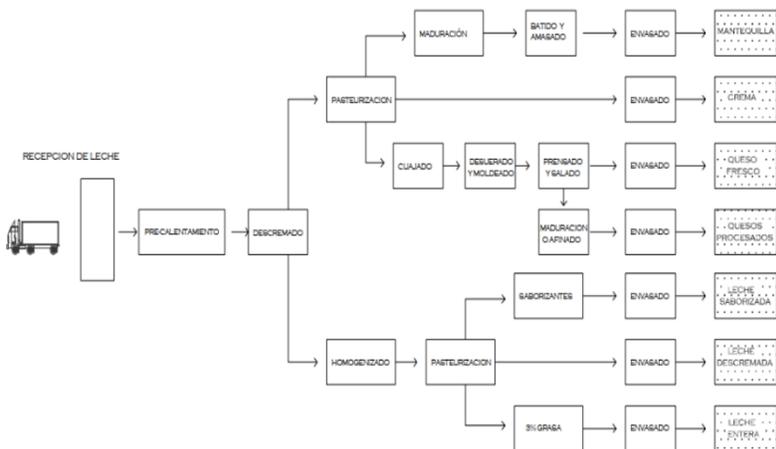
Estandarización: Este proceso trata de mantener el material grasoso a un nivel adecuado, para una leche entera se debe estandarizar, es decir, que se debe de ajustar el contenido de grasa al 3% de materiales grasos (Pacururu Reyes, 2011); si la leche fresca se ha descremado, es decir que tiene poca cantidad de grasa sin pasteurizar se le añade a la leche descremada un cierto porcentaje adecuado y pertinente de grasa deseado según el producto final (Zorrilla, 2018).

Homogenización: En esta etapa se tiene como prioridad el dispersar las sustancias grasas en toda una masa líquida y prevenir la formación de una capa de crema en la superficie de la leche entera (leche cruda), por lo general para evitar inconvenientes de que se eche a perder la leche primero se pasteuriza y después se homogeniza (Zorrilla, 2018). Las ventajas que presenta la homogenización son que la leche tiene mejor sabor, una mayor digestibilidad y un color blanco más atractivo.

Limpieza y Desinfección: Dentro de una industria láctea el mantenimiento de las condiciones higiénicas de los equipos e instalaciones se debe de hacer de manera continua, llevando a cabo operaciones de limpieza (eliminación total de restos y demás componentes de la leche) y desinfección (eliminación de patógenos y una mayoría de los no patógenos que afectarían a la calidad del producto final) (Celis & Juárez, 2009), esto trae consigo un mayor consumo de agua, energía y productos químicos (productos ácidos y básicos), así como una generación considerable de volumen de aguas residuales (Sáenz-Roldan, 2013).

Figura 10.4

Proceso esquemático de la producción de leche y los productos que se obtiene.



10.8.1 Efluentes líquidos de la industria lechera

En este tipo de industrias se llega a producir diariamente un volumen elevado de agua residual, esto puede oscilar de 4-10 litros de agua por cada litro de leche, en los que la variación depende del tipo de planta láctea (Pacururu Reyes, 2011). La mayor parte de agua empleada está en los procesos de limpieza y desinfección de equipos donde se tiene restos de productos lácteos y productos químicos, esto con el fin de mantener las condiciones higiénicas y sanitarias necesarias, a esto hay que adicionar el consumo de agua en lavabos y baños dentro de la planta (Villena, 1995).

Los efluentes que provienen de las empresas lácteas, en la mayoría de los casos no son destinados a un sistema de tratamiento, sino que se van directamente a la descarga directa sin ningún tratamiento y sin verificar si se cumple la normatividad ambiental vigente en el país, por lo tanto, esto llega a afectar a la salud pública, contamina al suelo, al agua y causa un potencial daño a la vida acuática (Jiménez Idrovo, 2019). Además, este efluente contiene cierta cantidad de materia orgánica, nutrientes, químicos y hasta inclusive organismos causantes de enfermedades tales como *Escherichia Coli* y *Brucella* (Celis & Juárez, 2009). A continuación, se presenta la clasificación de los efluentes que salen de la industria lechera:

Tabla 10.2

Clasificación de efluentes lácteos en diferentes procesos. (Aguilar,2014)

Agua generada	Descripción
Agua de proceso	Interviene en el proceso de elaboración de productos lácteos y líquidos.
Agua de servicios	Para el funcionamiento de los equipos con lo cual cuenta la industria.
Agua sanitaria	Para servicios sanitarios de todo el personal que labora en la industria.
Agua de limpieza y desinfección	Para el lavado de equipos y materiales de la industria.

10.8.2 Caracterización de efluentes lácteos

Por lo general, los efluentes lácteos presentan las características siguientes:

- Elevado contenido de: aceites y grasas (debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos), nitrógeno y fósforo (por el uso de productos químicos para la limpieza y la desinfección), materia orgánica (debido a la presencia de componentes de la leche) el 90% de la DQO corresponde a la composición y el 10% a la suciedad producida, alta carga contaminante de sólidos suspendidos totales (Pacururu Reyes, 2011).
- Variaciones importantes de: pH (este parámetro puede variar entre el rango de 2-11 debido a los vertidos de soluciones ácidas y básicas que principalmente provienen de las actividades de limpieza; y temperatura al considerar las aguas de refrigeración (Pacururu Reyes, 2011).

10.8.3 Contaminantes presentes en efluentes lácteos

10.8.3.1 Contaminantes físicos

1. **Grasas y Aceites.** Las grasas y los aceites son compuestos conformados por carbono, hidrogeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubriendo las superficies con las cuales entran en contacto, causando problemas de mantenimiento, e interfiriendo en la actividad biológica (Romero, 2008), que generalmente son difíciles de biodegradar. La presencia de este contaminante excede los límites establecidos porque produce abundante grasa por los procesos de elaboración de productos lácteos (Zamora-Carrillo et al., 2015).

2. **Turbiedad.** La turbiedad es considerada como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua potable. Es empleada para indicar la calidad de las aguas que son vertidas o de las aguas naturales en relación con su materia coloidal y residual en suspensión (Metcalf & Eddy, 1995)
3. **Color.** El color es la capacidad de absorción de ciertas radiaciones de espectro visible, generalmente en el agua residual, donde se origina por la presencia de material coloidal y sólidos suspendidos, el agua que se presenta es de color blanquecino por adición de suero, residuos de productos y agua que se desaloja por actividades de limpieza (Zamora-Carrillo et al., 2015).
4. **Sólidos totales.** Clasifican toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. Estos sólidos son el producto de la suma de sólidos disueltos y suspendidos presentes en efluentes líquidos (Aguinaga, 1996). Se obtienen después de la evaporación y secado de una muestra a una temperatura de 103–105°C (Aguinaga, 1996).
5. **Sólidos disueltos.** Estos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para su remoción, oxidación, oxidación biológica o coagulación y sedimentación (Zamora-Carrillo et al., 2015). Estos no suelen apreciarse fácilmente, por ello se realiza de forma analítica al evaporar el agua que se está tratando y pesar el medio en donde se encuentran las sales residuales (Aguinaga, 1996).
6. **Sólidos suspendidos.** Representa el material que se encuentra en fase sólida en el agua residual en forma de coloides o partículas finas que causa la turbidez del agua (Aguinaga, 1996). Para la obtención de este material, este debe ser retenido en un filtro de tipo estándar de fibra de cristal y secados a una temperatura de 103–105°C (Aguinaga, 1996).

10.8.3.2 *Contaminantes químicos*

1. **pH.** El pH es la medida de concentración del ion hidrógeno en el agua que se expresa como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno, que al tener valores de concentración adversas de este ion son muy complicados de tratar de manera biológica, alterando la biota (**hacer una nota debajo de que es biota**) y son fatales para los microorganismos (Romero, 2008). Este parámetro es considerado como uno de los más importantes para poder evaluar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales.
2. **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).** Este contaminante hace referencia a la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar o estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, además de ser uno de los parámetros más utilizados para medir la calidad de las aguas

residuales (Romero, 2008). En general, las cargas de DBO en el sector lácteo están aproximadamente entre los rangos de 1000 a 3000 mg/L (Zamora-Carrillo et al., 2015).

3. **Demanda Química de oxígeno (DQO).** Es empleado para medir el oxígeno equivalente de la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte en un medio ácido y a alta temperatura (Romero, 2008). El valor de la DQO siempre será mayor que la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente (Romero, 2008; Sáenz-Roldan, 2013). El valor de la DQO media en los efluentes lácteos se encuentra en un rango entre 1000 a 6000 mg/l (Zamora-Carrillo et al., 2015).
4. **Alcalinidad.** Se define como la capacidad de neutralización de los ácidos de una muestra de agua, además de ayudar a regular los cambios de pH. Es provocada por la presencia de carbonatos, hidróxidos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, amoníaco, entre otros (Metcalf & Eddy, 1995). En las industrias lácteas la alcalinidad presenta una alta variación con lo que respecta a la gran cantidad de sustancias disueltas que incrementan la basicidad de las muestras esto ocurre por las actividades de limpieza (Zamora-Carrillo et al., 2015).
5. **Acidez.** La mayor parte de volumen de agua residual diluida con lactosuero explica un alto valor de acidez. Este suele aparecer en la disolución de CO₂ atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de los efluentes industriales. La acidez tiene un efecto corrosivo que es muy perjudicial ya que afecta a la flora y la fauna, así como al equilibrio químico y biológico de las aguas limpias. Existen casos que, al tener un alto contenido de acidez, se ha llegado a requerir un pretratamiento de neutralización (Romero, 2008).

10.9 Lactosuero

El suero de leche es un subproducto que es poco aprovechado en México, e incluso se le considera un problema ambiental potencial, ya que el suero de queso es el residuo líquido que es generado en el proceso de elaboración de queso (Prudencio et al., 2014), conteniendo aproximadamente el 50% de los nutrientes presentes en la leche (Vázquez et al., 2009). Se estima que por 1 kg de queso producido se generan de 9 a 10 litros de suero (Padin y Díaz, 2009).

La industria láctea produce dos tipos de suero, comúnmente conocidos como suero dulce y suero ácido, el primero es obtenido por coagulación enzimática, el segundo se obtiene por coagulación por acidificación a través de cultivos lácticos o ácidos orgánicos. Independientemente del tipo de suero de leche que se produce, aproximadamente 50% del total de suero que se genera se desecha en cuerpos de agua o en el suelo (Aktas et al., 2006).

Tabla 10.3

Composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de quesos

	Lactosuero dulce (g/kg de lactosuero)	Lactosuero ácido (g/kg de lactosuero)
Materia seca	55 – 75	55 – 65
Lactosa	40 – 50	40 – 50
Grasa bruta	0 – 5	0 – 5
Proteína bruta	9 – 14	7 – 12
Cenizas	4 – 6	6 – 8
Calcio	0.4 – 0.6	1.2 – 1.4
Fosforo	0.4 – 0.7	0.5 – 0.8
Potasio	1.4 – 1.6	1.4 – 1.6
Cloruros	2.0 – 2.2	2.0 – 2.2
Ácido láctico	0 – 0.3	7 – 8
pH	≥ 6.0	≤ 4.5
Grados Dornic	≤ 20°	≥ 50°

Hasta el momento, no existen datos en las dependencias reguladoras internacionales (FAOSTAT) o nacionales (SIAP y SAGARPA) en relación con el aprovechamiento de suero de queso para la producción de algún producto con valor agregado en México. Sin embargo, desde inicios del siglo XX, en el país se han desarrollado diferentes investigaciones referentes al proceso y aprovechamiento del suero de queso, los principales trabajos se refieren a la producción de bebidas saborizadas, ácidos orgánicos o como suplemento alimenticio.

La descarga continua de suero sin tratamiento previo, a los cuerpos de agua, causa un rápido consumo de oxígeno, lo que produce eutrofización, formación de jabón, salinización, generación de malos olores y acidificación, entre otros elementos (Prazeres et al., 2013).

10.9.1 Factores que varían la composición del lactosuero

La composición del lacto suero depende de factores como: el tipo de queso (ya sea enzimático o ácido), de las técnicas de elaboración de queso empleadas (como el método de coagulación), del tratamiento que experimenta el suero líquido (tratamientos térmicos, preconcentración, recuperación de los finos de caseína).

La composición del lacto suero puede variar dependiendo del proceso de elaboración y tipo de queso, y según su acidez (ya sea ácido o dulce), por ello es importante el estudio de la composición fisicoquímica de un lacto suero proveniente de un proceso estandarizado (Molero, 2018).

10.9.2 Aplicaciones del lactosuero

El lacto suero de quesería es un subproducto líquido obtenido después de la precipitación de la caseína durante la elaboración del queso. El lacto suero es un producto susceptible de ser valorizado por su contenido en compuestos como agua 93-94%, lactosa 4.5 – 6%, proteínas 0.6-1.1%, sales 0.8-1 %, ácido láctico 0.05-0.9%, grasas 0.06-0.5%, se distinguen cantidades apreciables de otros componentes como ácido cítrico, compuestos de nitrógeno no proteico (urea y ácido úrico) y vitaminas, Con objeto de que se puedan recuperar se aplican tratamientos fisicoquímicos como biológicos.

Alternativas planteadas para su aprovechamiento son: aplicación para alimentación animal, alimentación humana, producción de fertilizantes, recuperación de compuestos de interés y valorización energética, el lacto suero se ha destinado a la alimentación del ganado, debido al elevado contenido de agua.

El lacto suero debido a su elevado contenido en materia orgánica, reducida alcalinidad y tendencia a acidificar rápidamente, se ha identificado como un sustrato de difícil tratamiento en digestores anaerobios, especialmente en reactores que operan con cargas orgánicas de alimentación altas.

La composición y tipo de lacto suero varía con dificultad dependiendo del tipo de leche, tipo de queso elaborado y el proceso de tecnología empleado, la lactosa es el principal componente nutritivo (4,5 % pv), proteína (0,8 % p/v), y lípidos (0,5 %). Si en la coagulación de la leche se utiliza enzimas el lacto suero se denomina dulce, y si se reemplaza la enzima por ácidos orgánicos se denomina ácido. La biomasa de levadura ha sido producida comercialmente desde 1940.

Actualmente la producción de proteína es insuficiente para la alimentación (Mawson, 2003) y una alternativa a este problema es desde hace varios años la producción de proteína de levadura a través de procesos de fermentación. Este proceso puede ser descrito como una reacción bioquímica de células y lactosa para producir células microbianas (biomasa) como principal producto (Ghaly et al., 2005).

10.9.3 Usos potenciales del suero de queso

10.9.3.1 Obtención de lactosa

El compuesto de mayor importancia en el suero de queso es la lactosa (4.4% al 5.2%). Este carbohidrato se puede utilizar en diversas aplicaciones, como en el suplemento de fórmulas lácteas para bebés, en la industria alimentaria o en la producción de glucosa y galactosa por hidrólisis. La lactosa es importante en la industria de los alimentos y la industria farmacéutica debido a que presenta un bajo índice glicémico y calórico en comparación con otros azúcares. Este compuesto se puede obtener mediante diferentes operaciones, dentro de las que destacan la concentración por evaporación, la cristalización y la filtración (Xinmin et al., 2008).

10.9.3.2 Producción de ácidos orgánicos por fermentación

Un uso industrial importante que se le puede dar al lactosuero de queso es como sustrato para la producción de ácidos orgánicos como lo son el ácido cítrico y el ácido láctico, los cuales se obtienen mediante de la fermentación de lactosa mediante bacterias lácticas. Diversas industrias como la alimentaria, de bebidas, farmacéutica y cosmética, los ocupan dentro de sus procesos de transformación, ya que actúan como conservadores, acidificantes, estabilizadores y potenciadores del sabor (Cortés-Sánchez et al., 2015).

10.9.3.3 Producción de biomasa microbiana

Existe una demanda constante de producción de proteína dado que es insuficiente para la alimentación de la población. Una alternativa de solución a esta deficiencia es la producción de biomasa (rica en proteína) a través de procesos de fermentación. Estos procesos pueden usar como sustrato suero de queso con diferentes tipos de microorganismos. La proteína unicelular, se puede utilizar para diferentes propósitos, por ejemplo, como suplemento proteico en alimentos balanceados para ganado o en alimentos para consumo humano (Aguirre-Ezkauriatza et al., 2009; Wolz et al., 2016).

10.9.3.4 Extracción y producción de metabolitos secundarios

El suero de queso tiene gran potencial como sustrato para la obtención de compuestos benéficos para la salud, como los aminoácidos, los cuales están presentes en las proteínas del suero de queso. Los aminoácidos presentes son de cadena ramificada como leucina, valina e isoleucina, dentro de sus funciones en el organismo son reguladores del metabolismo celular y se consideran importantes para el control de peso corporal, lo que ofrece una posibilidad de extender beneficios sobre la salud de los consumidores. Otros metabolitos obtenidos son las bacteriocinas, las cuales se obtienen a partir de procesos fermentativos usando diferentes bacterias ácido-lácticas (BAL). La principal característica de estos compuestos es que actúan contra microorganismos patógenos presentes en los alimentos (Altuntas et al., 2010). Por otro lado, a partir del suero de queso también se pueden producir exopolisacáridos, los cuales brindan diferentes cualidades y funciones en los alimentos, ya que intervienen directamente en sus propiedades reológicas como agentes emulsificantes o gelificantes. Adicionalmente, tienen efectos benéficos en la producción de alimentos gracias a la relación que existe entre estos compuestos y la protección que brindan contra ciertos compuestos tóxicos (Zhou et al., 2014).

10.9.3.5 Biocombustibles

La producción de bioetanol se considera una alternativa energética que contribuye a la reducción de impactos ambientales negativos, provocados por el uso de combustibles fósiles. La conversión de lactosa proveniente del suero de queso crudo o suero de queso permeado a etanol es una opción que puede competir con el uso de otros sustratos utilizados actualmente (caña de azúcar y almidón de maíz) o con la biomasa lignocelulósica (tecnología de segunda generación). Al ser un residuo de un proceso agroalimentario, el suero de queso tiene una amplia ventaja sobre las materias primas comúnmente utilizadas para la producción de etanol, consideradas de primera necesidad, debido a que no compromete la seguridad alimentaria.

Por otra parte, el etanol potable obtenido a partir de suero de queso puede encontrar mercados adecuados, por ejemplo, en la industria de procesos químicos, automotriz, de cosméticos, alimentos, bebidas, y en la farmacéutica (Demirbas, 2010; Parashar et al., 2015). La producción de biogás e hidrógeno se realiza a través de procesos químicos muy costosos, por lo que el proceso de producción biológico de ambos gases es una opción viable para resolver esa limitación, como se producen a partir de fuentes renovables se tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente, ya que la producción neta de gases de efecto invernadero que se generan durante su combustión es menor en comparación con la originada por el hidrógeno obtenido de materias primas fósiles.

La principal variable por considerar en la producción biológica de hidrógeno o biogás es el costo de la materia prima, contenido de carbohidratos, biodegradabilidad y su disponibilidad en el mercado. Entre las materias primas más utilizadas para la producción de biogás están las aguas residuales provenientes de la agroindustria, el suero de queso y estiércol líquido de bovino (Dareioti y Kornaros 2015).

10.10 Métodos utilizados en el tratamiento de efluentes industriales

10.10.1 Métodos químicos

Este tipo de métodos consiste en dosificar productos surfactantes en puntos ubicados estratégicamente de acuerdo con las características del efluente, la tasa de producción o los requerimientos de calidad e infraestructura del sistema. Con los productos químicos se logra que las partículas de crudo presentes en forma de emulsión se aglomeren formando flóculos de las grasas que suben a la superficie originando una capa continua (nata) de crudo, la cual puede separarse del agua.

10.10.2 Métodos mecánicos

Una vez formada la capa continua de crudo en la superficie del agua se separa por métodos mecánicos, para lo cual se hace pasar por dispositivos de diferentes diseños que facilitan y aceleran su recolección. Generalmente estos métodos químicos y mecánicos se combinan para lograr con éxito un buen tratamiento

10.11 Tecnologías de fácil acceso para el tratamiento de efluentes industriales

Las tecnologías que pueden aplicarse al tratamiento de efluentes industriales varían ampliamente de acuerdo con las características de estos, y al nivel de purificación que se desea lograr de acuerdo con la normatividad ambiental que se requiere aplicar. En la siguiente tabla se presentan las diferentes alternativas de tratamiento de acuerdo con las impurezas que se requieren eliminar.

Tabla 10.4

Procesos de tratamientos para contaminantes específicos

Contaminante	Proceso de tratamiento	Contaminante	Proceso de tratamiento
Sólidos suspendidos	Debaste, Sedimentación Separación agua-aceite Filtración Flotación con aire Adición de polímeros Coagulación/sedimentación.	Nitrógeno	Nitrificación y desnitrificación en crecimiento suspendido Nitrificación y desnitrificación en capa fija Despojo de amoníaco Intercambio iónico Cloración.
Sustancias orgánicas biodegradables	Lodos activados Filtros percoladores Biodiscos Lagunas de estabilización Filtración con arena Sistemas fisicoquímicos.	Fósforo	Adición de sales de metales Coagulación con cal/sedimentación Tratamiento biológico.
Sustancias orgánicas volátiles	Adsorción en carbón activado Despojo de gases	Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico.
Agentes patógenos	Cloración Tratamiento con bromo y cloro Ozonificación Radiación ultravioleta.	Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodiálisis.

Para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes industriales es importante también incluir tecnologías para el tratamiento y manejo de desechos sólidos, ya que durante el tratamiento de efluentes se generará una cantidad de lodos que deben ser tratados y dispuestos correctamente según las legislaciones ambientales.

10.12 Tratamiento para efluentes (agua- aceite)

Los sistemas de alta remoción de aceites son requeridos para recuperar la máxima cantidad de grasas/aceites para el tratamiento de aguas aceitosas, así como para hacer el efluente más apto para su posterior tratamiento y también para cumplir los requerimientos ambientales de control de la contaminación.

Los contaminantes aceitosos en las aguas residuales pueden ser caracterizados por la polaridad, biodegradabilidad y características físicas. Los contaminantes polares tienen usualmente un origen vegetal o animal y sus fuentes son principalmente las operaciones industriales de alimentos. Los contaminantes no polares, provienen del petróleo o fuentes minerales, siendo la fuente principal la industria petrolera y aquellas industrias que consumen los bienes producidos por la primera y generalmente no son biodegradables.

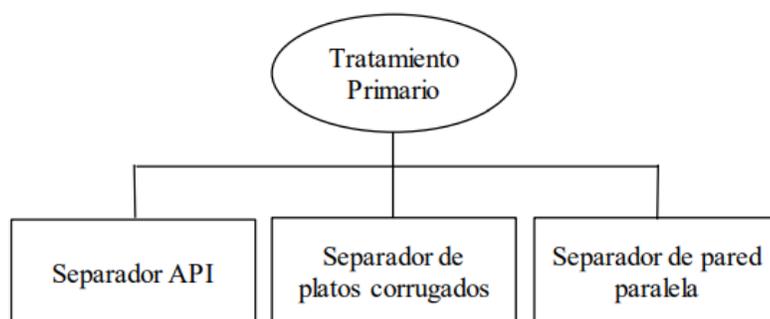
Según Thanh (2002), las principales tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas son divididas en tres categorías:

10.12.1 Tratamientos primarios

Este tipo de tratamientos incluye: separadores API, separadores de platos corrugados CPI, separadores de pared paralelos, entre otros; estos tratamientos separan el aceite contenido en el agua mediante fuerzas gravitacionales, sin embargo, estas tecnologías no tienen la capacidad de separar la fracción soluble de aceite y romper emulsiones de aceite en el agua. Los tratamientos secundarios y terciarios han sido desarrollados con el objeto de remover dicha fracción soluble de aceite en el agua a ser tratada, en la siguiente figura se muestra las distintas tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas.

Fig. 10.5

Tratamiento primario para las aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).

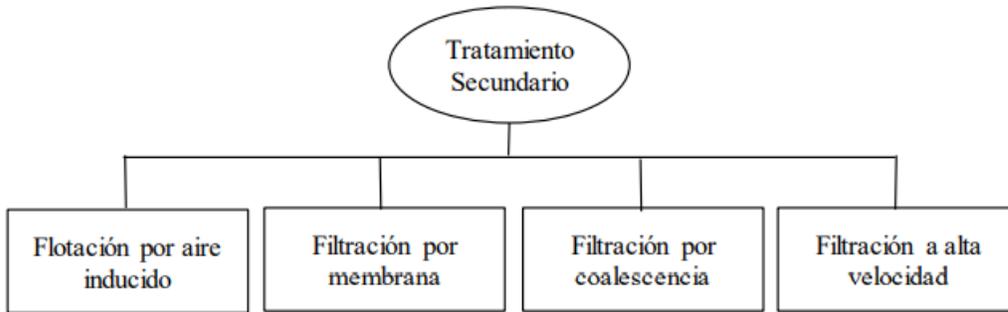


10.12.2 Tratamientos secundarios

Consta de equipos de filtración, coalescencia y de flotación, los cuales se basan en una separación por gravedad mejorada y diferencias de concentraciones entre el agua, aceite y las partículas sólidas. En algunos casos se utilizan burbujas de aire, ya que proveen la flotabilidad necesaria para separar el aceite y las partículas sólidas suspendidas en el agua (Koytsoykos, 2009).

Fig. 10.6

Tratamiento secundario para aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).

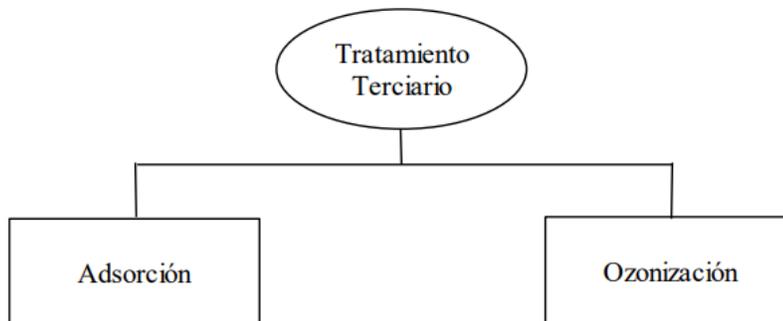


10.12.3 Tratamiento terciario o especial

En algunos casos, es necesario remover de los efluentes algunas sustancias o compuestos en particular, ácidos o sales, para lo cual se aplican tratamientos especiales que dependen del tipo de contaminante que se desee eliminar, entre estos tratamientos se tienen: procesos de adsorción, ozonización, desalinización, extracción por solventes, intercambio de iones, entre otros.

Fig. 10.7

Tratamiento terciario para aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).



10.13 Equipos utilizados en el tratamiento de efluentes agua-aceite

10.13.1 Equipos primarios de separación

Dentro de esta categoría, los dos separadores más utilizados son: el separador API (American Petroleum Institute) y el separador de placas corrugadas CPI (Corrugated Plate Interceptor).

10.13.1.1 Separadores API

El separador API es un equipo de separación por gravedad, basado en la Ley de Stoke para definir el incremento en la velocidad de gotas de aceite por sus densidades y tamaño. El diseño del separador está basado en la diferencia de gravedad específica entre el aceite y el agua a ser tratada porque esa diferencia es mucho menor que la diferencia de gravedad específica entre los sólidos suspendidos y el agua. Basándose en los criterios de diseño, la mayoría de los sólidos suspendidos se sedimentarán en el fondo del separador como una capa de sedimentos, el aceite ascenderá al tope del separador y el agua de desecho será la capa intermedia entre el aceite del tope y los sólidos del fondo.

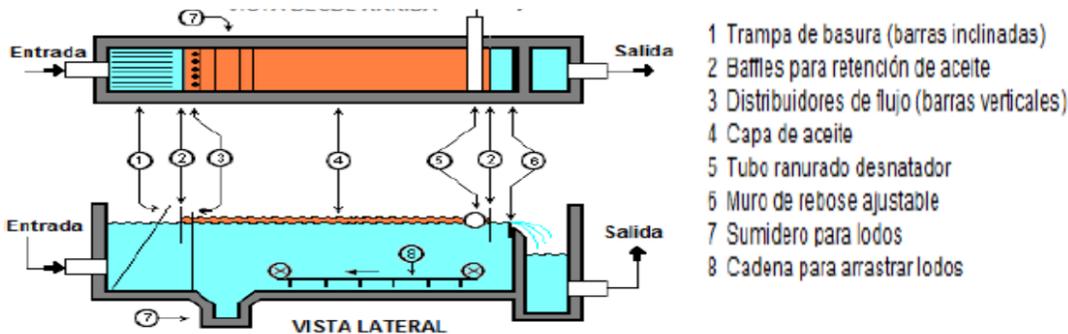
Según Rhee (1987), “Cuando el aceite libre o disperso en agua es sometido a un proceso de coalescencia por un tiempo suficiente, las gotas de aceite se separarán eventualmente del agua formando una capa de aceite flotante que debe ser desnatada”.

Una función principal del separador de aceite-agua es quitar grandes cantidades de aceite libre antes del tratamiento adicional, teniendo en cuenta que solo puede retener gotas con un tamaño $>20\mu\text{m}$. El separador de aceite-agua protege a los procesos subsecuentes de tratamiento de aguas residuales, sensibles a cantidades excesivas de aceite. Las espumas del separador y aceite no recuperado son típicamente recicladas y pueden terminar como lodos (ATAS, 1986).

Para grandes flujos los separadores API necesitan grandes áreas de superficie, por lo que se han modificado a través de la introducción de placas planas paralelas, inclinadas o placas corrugadas, especialmente diseñadas, con lo que se ha mejorado la situación hidráulica en estas trampas y a la vez la capacidad de carga (Perry,2001).

Fig. 10.8

Esquema de separador API (API,1997)



Las ventajas de este separador son:

- ◆ La principal ventaja del separador API es que su gran volumen puede interceptar a las grandes masas de aceite libre y sólidos. Este factor ayuda a mejorar el rendimiento de las etapas aguas abajo del proceso de tratamiento de aguas aceitosas.
- ◆ Operación sencilla.
- ◆ Fácil mantenimiento respecto al separador CPI, ya que no se taponan por no tener componentes internos (platos).

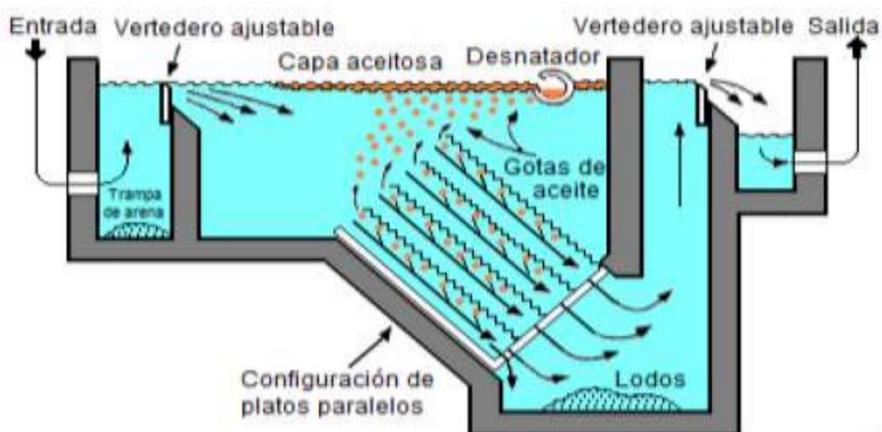
10.13.1.2 Separadores de platos corrugados

Los separadores CPI (Interceptor de Placas Corrugadas) se utilizan principalmente en la separación de aceite libre de aguas residuales o sólidos suspendidos para el tratamiento de las aguas aceitosas.

El principio básico de la diferencia de gravedad entre fases (líquido-líquido o sólido-líquido) es empleado en el tratamiento de aguas aceitosas debido a la separación de las dos fases. Este fenómeno se define como la separación por gravedad; por tanto, es evidente que la fase de alta densidad se asentará y en la superficie flotadora el fluido de baja densidad.

Fig. 10.9

Esquema de un separador CPI (API, 1997).



Un separador de placas corrugadas está formado de láminas de cartón corrugado especialmente diseñado para colocarse en contracorriente al flujo, es decir, los caudales de efluentes hacia abajo mientras que el aceite fluye hacia arriba a la superficie.

Las ventajas de los separadores de placas corrugadas son:

- ◆ Las ventajas son una pequeña superficie y el aumento de la eficiencia ya que puede eliminar pequeñas gotitas de aceite.
- ◆ Tiene excelente desempeño en aguas a altas temperaturas y en aguas de producción, especialmente para caudales bajos.
- ◆ Unidades compactas con respecto a los separadores API.
- ◆ Las placas paralelas por lo general se fabrican de un material plástico que elimina los problemas de corrosión.
- ◆ El desplazamiento ascendente del aceite y descendente del lodo a través de las placas contribuye a reducir los problemas de levantamiento y resuspensión debido al flujo del agua.
- ◆ Favorece la coalescencia.

- ◆ Equipo sencillo de operar.

10.14 Equipos secundarios de separación

Consta de equipos de filtración, coalescencia y de flotación, los cuales se basan en una separación por gravedad mejorada y diferencias de concentraciones entre el agua, aceite y las partículas sólidas. En algunos se utilizan burbujas de aire, ya que proveen la flotabilidad necesaria para separar el aceite y las partículas sólidas suspendidas en el agua (Koytsoykos, 2009).

10.14.1 Flotación por aire disuelto (DAF)

La flotación es otro tipo de tratamiento secundario que consiste en el proceso de separación de aceites emulsionados y sólidos presentes en el efluente por medio de burbujas de aire que aceleran el ascenso de estos.

Estas burbujas se adhieren a las partículas en suspensión y producen una disminución de la densidad aparente del conjunto burbuja-partícula hasta que la misma se vuelve menor que la del agua. La diferencia de densidades origina un impulso ascendente que hace que las partículas se acumulen en la superficie.

El sistema DAF utiliza agua presurizada y sobresaturada con aire para producir burbujas de 30 a 60 μm de diámetro, las cuales aparecen en el momento en el que el efluente entra al tanque de flotación y se despresuriza. Por lo general, esta tecnología puede ser aplicada en tres configuraciones: presurización total, presurización parcial y reciclado presurizado, siendo esta última la configuración preferida para el 80% de los sistemas de tratamiento de efluentes de refinerías.

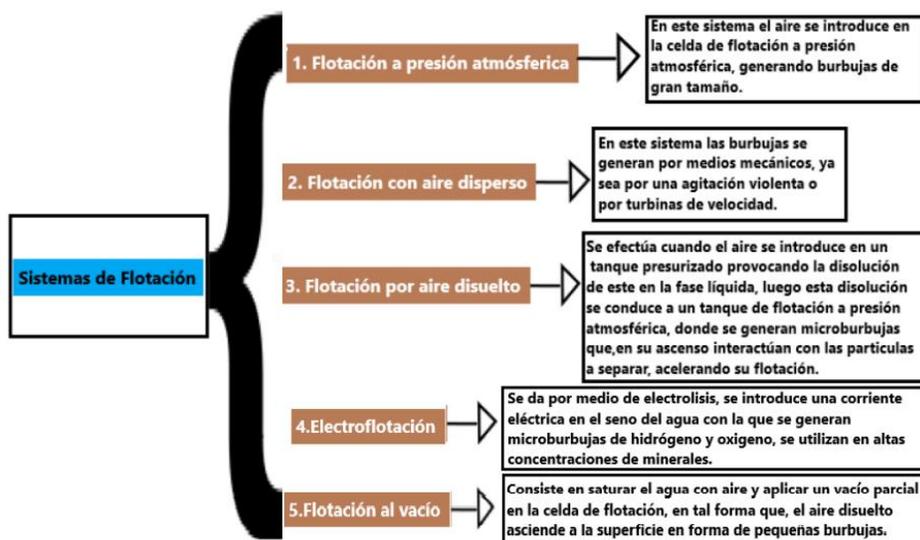
A fin de manejar el proceso se hace uso de sustancias químicas, tales como coagulantes y floculantes, que se adicionan previamente. Estas sustancias se dividen en tres grandes grupos: compuestos químicos inorgánicos (cloruro de aluminio, sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sílice), polímeros naturales (almidón, guar, taninos y sustancias proteicas) y polímeros sintéticos (polielectrolitos).

Los principales equipos involucrados en un sistema DAF son:

- ◆ El tanque de flotación, el cual está equipado con pantallas internas y desnatadores para remover los desechos flotantes.
- ◆ El sistema de reciclado conformado por: bomba de reciclado, el compresor para el aire, y el tanque de presurización donde se satura la corriente de aire.
- ◆ Tanque de floculación y dispositivos de mezclado rápido para la agitación del coagulante.

Fig. 10.10

Tipos de DAF (Ortiz-Oliveros, 2002).



Entre las ventajas que ofrece esta tecnología están:

- ◆ Remueve partículas con densidad mayor que la del agua.
- ◆ Puede trabajar tanto con gas como con aire.
- ◆ Las fluctuaciones hidráulicas pueden ser compensadas fácilmente por manipulación de la operación.
- ◆ El tamaño de burbuja de aire formada permite mayores eficiencias para determinados efluentes.

En cuanto a las desventajas se tiene que:

- ◆ Requiere del uso de sustancias químicas.
- ◆ Requerimientos de equipos mecánicos (bombas, compresores), lo que implica mayor mantenimiento y costos operativos

10.14.2 Coagulación / floculación / sedimentación

Generalmente las aguas residuales tienen color y turbidez a causa de pequeñas partículas llamadas coloides; estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado, aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras, debido a que cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficial.

La coagulación y floculación son dos procesos que pueden resumirse como una etapa cuyo objetivo es propiciar el aglutinamiento de las partículas en pequeñas masas llamadas flóculos, de manera que su peso específico sea mayor que el del agua y puedan precipitar. Por lo general, se utiliza como un paso acoplado a otra tecnología, como es el caso de sistemas DAF, centrifugación, sedimentación, entre otros.

Aun cuando ambos procesos son esencialmente diferentes (en la coagulación se agregan sustancias químicas y la floculación ocurre por procesos puramente físicos), casi siempre se encuentran asociados.

La coagulación-floculación se aplica en situaciones específicas, por ejemplo:

- ◆ Como pretratamiento o como ayuda del tratamiento primario con el fin de aumentar la eficiencia de los procesos subsecuentes mediante la eliminación de la materia coloidal.
- ◆ Cuando los componentes del agua residual no son biodegradables.
- ◆ Si se desea garantizar la sedimentación de los sólidos suspendidos y coloidales.
- ◆ Cuando el agua residual contiene gran cantidad de compuestos tóxicos.
- ◆ Si los reactivos para el tratamiento están disponibles a bajo costo.

La sedimentación se puede separar en tres clasificaciones: discreta, floculenta y por zona. En la sedimentación discreta, las partículas mantienen su individualidad y no ocurren cambios de tamaño, forma o densidad durante dicho período. La sedimentación floculenta ocurre cuando las partículas se aglomeran durante el período de retención resultando un cambio en el tamaño de las partículas.

La sedimentación por zona involucra una suspensión de flóculos que forman una estructura reticular que se deposita en el fondo como fuese una única unidad de masa, demostrando una interfaz visible a medida que se mueve hacia el fondo el tanque. Los sedimentadores, también llamados clarificadores, pueden ser diseñados con sección cilíndrica o rectangular.

Fig. 10.11

Diagrama de sedimentador cilíndrico.

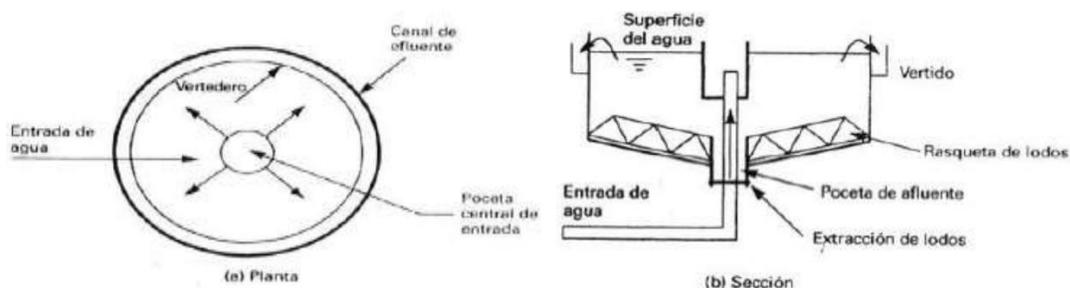
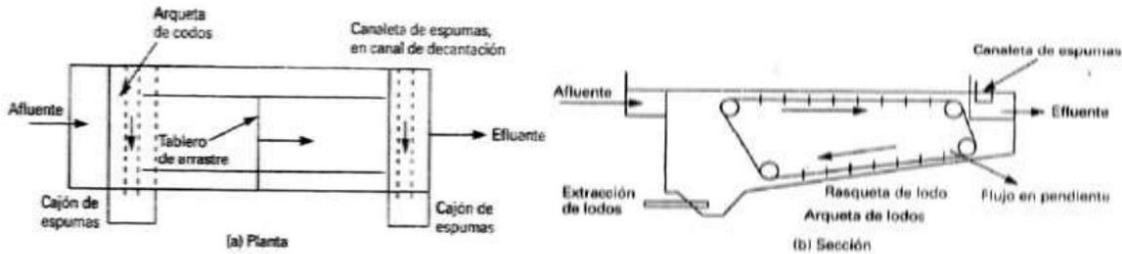


Fig. 10.12

Diagrama de sedimentador rectangular.



10.14.3 Aeración

La aeración es un proceso mecánico que provee un contacto entre el aire y el agua, permitiendo la transferencia de las moléculas gaseosas que provienen del aire, principalmente el oxígeno, a la fase acuosa conformada por el efluente. El uso de la aeración varía ya que la misma puede ser utilizada para varios fines, entre los cuales están:

- ◆ Aumentar el contenido de oxígeno disuelto en el agua para cumplir con los estándares de descarga.
- ◆ Proporcionar el oxígeno necesario para llevar a cabo tratamientos biológicos.
- ◆ Mantener condiciones de mezcla perfecta.
- ◆ Remoción de gases indeseables como CO₂ y metano (CH₄), también llamado desgasificación. Oxidación de impurezas inorgánicas como hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno.
- ◆ Oxidación de la materia orgánica.

I. Difusores

En este tipo de aeración, el aire es forzado a través de un difusor el cual libera pequeñas burbujas cerca del fondo del tanque, estableciendo un buen contacto entre el oxígeno y el agua. Básicamente existen dos tipos: los porosos que producen diminutas burbujas al hacer pasar el aire por una membrana o un medio poroso; y los no porosos que generan burbujas de mayor tamaño a partir de fuerzas hidráulicas cortantes o de orificios en tuberías y platos perforados.

II. Turbinas

Este tipo de unidades dispersan el aire comprimido a través de la acción del bombeo y de las fuerzas cortantes que generan. Debido a que el mezclado es independientemente controlado por la potencia de la turbina, no existen limitaciones en cuanto a la geometría del tanque.

Normalmente se colocan pantallas del tanque de aeración para eliminar los vórtices y remolinos.

III. Aereadores superficiales

Mientras que los aeradores sumergidos (difusores) ponen en contacto al aire con el agua; los aeradores de superficie funcionan de manera contraria, poniendo en contacto el agua con la atmósfera.

Su funcionamiento general consiste en elevar grandes volúmenes de agua por encima de la superficie, exponiendo pequeñas gotas del líquido a la atmósfera. Este tipo de aerador puede venir en forma de tubos generadores de corrientes, platos o hélices, los cuales se ubican en la superficie del líquido en el tanque o justo debajo de ella.

El uso de sistemas de aeración tiene como ventaja:

- ◆ Permite eliminar malos olores y despojar gases indeseados.
- ◆ Al mismo tiempo, se puede oxidar tanto materia orgánica como inorgánica.
- ◆ Sirve para elevar el contenido de oxígeno disuelto en el agua a valores exigidos por la norma.

En cuanto a las desventajas se tiene que:

- ◆ Requiere de espacio físico considerable.
- ◆ En el caso de los difusores, es necesario limpiezas frecuentes para evitar taponamientos en el sistema.
- ◆ Por lo general, se requieren largos tiempos de retención, los cuales varían de acuerdo con la eficiencia del aerador y las condiciones del afluente y el tratamiento específico que se aplique.

En cuanto a las desventajas se tiene que:

- ◆ Requiere equipos de control estrictos que monitoreen constantemente las condiciones del efluente para asegurar que la dosis de cloro sea la adecuada.
- ◆ El sistema completo requiere el uso de varios equipos como: unidades de bombeo, tanques de contacto, sistemas de inyección de cloro, tanques de almacenamiento de químicos, agitadores, entre otros.
- ◆ Puede presentar problemas de corrosión, debido a que el cloro es un fuerte oxidante.
- ◆ En presencia de luz solar y materia orgánica presente en el agua, genera compuesto conocidos como halometanos, los cuales son perjudiciales para el ambiente.

10.15 Equipos terciarios de separación

10.15.1 Adsorción

El proceso de adsorción es normalmente usado como un tratamiento terciario para la remoción de trazas de aceites y emulsificante. Entre los absorbentes comunes se encuentra materiales a base de sílica, polímeros orgánicos, bentonita, carbón activado, entre otros (Thanh, 2002).

El carbón activado es de especial interés debido a su capacidad de adsorción, ya que posee una gran área de superficie. Las propiedades de la superficie de carbón activado dependerán tanto del material inicial utilizado para producir el carbón como del procedimiento exacto de producción (Metcalf y Eddy, 1991). Generalmente, el carbón granular de carbón bituminoso tiene un tamaño de poro pequeño, gran área de superficie y la más alta densidad aparente. Lignito de carbón tiene el mayor tamaño de poro, área de superficie y al menos la más baja densidad aparente (Eckenfelder, 2000). La capacidad del carbón activado para adsorber los contaminantes se encuentra en función tanto de las características y la concentración de los contaminantes como de la temperatura (Thanh, 2002).

10.15.2 Ozonificación

El ozono es escasamente soluble en el agua, a 20°C la solubilidad es de 570 mg/L (Kinman, 1975).

El ozono es un oxidante potente, y el segundo más usado respecto al radical libre de hidroxil, entre los químicos usados frecuentemente para el tratamiento de agua. De esta forma, es capaz de oxidar gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos contenidos en el agua, estas reacciones producen un consumo de ozono en el agua tratada, la cual debe ser suministrada durante la ozonización hasta alcanzar un nivel residual de ozono medible.

El ozono se descompone espontáneamente durante el tratamiento de agua por un mecanismo complejo que envuelve la generación de radicales libres hidroxilos. El ozono reacciona en el agua mediante dos mecanismos:

- ◆ Oxidación directa de compuestos por ozono molecular.
- ◆ Oxidación de compuestos por radicales libres OH producido durante la descomposición del ozono.

10.15.3 Cloración

Uno de los tratamientos terciarios más comunes es la desinfección, la cual involucra la destrucción selectiva de los microorganismos patógenos. La desinfección de efluentes antes de la descarga final asegura que las bacterias, virus y otros sean reducidos a niveles aceptables.

Existen muchas formas de lograr esto: agentes químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación, sin embargo, el más común de todos es la cloración.

La efectividad de la desinfección por cloración es una función del pH, la temperatura y el tiempo de contacto, donde este último, en conjunto con la dosis aplicada de cloro, es de suma importancia para la eliminación de virus. La dosis de cloro necesaria para el tratamiento del efluente es determinada a través de pruebas de laboratorio realizadas previamente al agua que se desea tratar. Antes de realizar estas pruebas se debe conocer la concentración de cloro residual permitida por las normas ambientales aplicables al efluente.

El uso de sistemas de cloración tiene como ventajas:

- ◆ Permite eliminar malos olores y sabores del efluente.
- ◆ Elimina o reduce considerablemente la concentración de organismos patógenos.
- ◆ En ciertos casos, puede ser utilizado para reducir la DBO.

- ◆ Es más económico que otros métodos de desinfección disponibles como el ozono y la radiación ultravioleta.

Tabla 10.5

Viabilidad económica de procesos de tratamiento

Tecnología separación agua-aceite por gravedad				Separación por flotación		Electrocoagulación, electro floculación y electro flotación	Tecnología de separación por filtración	Remoción de grasas y aceites con ultrafiltración	Tratamiento biológico de grasas y aceites
Separación API	Separadores de placas	Tanques desnatadores	Separación por flotación con aire disuelto-DAF	Separación por flotación con aire inducido-IAF					
C O S T O S	Costo inicial alto Costo de mantenimiento bajo	Costo inicial	Costo inicial muy alto Costo de mantenimiento bajo	Costo de mantenimiento más bajo que el IAF El costo de inversión es dos veces más que el IAF	Costo de mantenimiento alto Costo de inversión bajo	Los costos de inversión inicial son altos al igual que los costos de operación.	Los filtros lentos son de bajo costo. Costos de mantenimiento son bajos	Se requiere de una inversión inicial más grande que los procesos físicos y/o químicos. Costo de mantenimiento bajo	Bajo costo inicial
	Aplicación de grandes instalaciones, refinerías y petroquímicas		Aplicación de grandes instalaciones, refinerías y petroquímicas, etc.	En el campo de producción del caso de estudio tiene aplicación en cuanto permite la recuperación de crudo y disminución del área de intervención con menores costos de operación que el IAF	En el campo de producción del caso de estudio tiene aplicación en cuanto permite la recuperación de crudo y disminución del área de intervención, pero tiene mayores costos de operación que el DAF por lo cual se puede descartar.	Permite disminuir aún más el área de intervención del sistema de tratamiento disminuyendo el riesgo de contaminación al suelo y al agua.	En el campo solo se puede usar una vez se haya separado las grasas y aceites emulsificados retirados por coagulación, floculación y sedimentación, de tal forma que sirva de acción de pulimiento separando las grasas y aceites solubles.	No se justifica usarlo en el campo hasta que efectivamente no se logre obtener un afluente de mejor calidad de tal forma que el agua pueda ser vendida, con el fin de que se recupere la inversión.	Los sistemas de lodos activados tienen un requerimiento de área grande lo cual contribuiría en aumentar el área de intervención del sistema lo cual no es deseable. El tratamiento con el producto NONTOX puede ser mejor usado para la eliminación de grasas y aceites solubles de tal manera que no utilicen grandes cantidades de esta forma reemplazando a los filtros
ANALISIS DE VIABILIDAD									

10.16 Equipos utilizados en el tratamiento de lactosuero

Los equipos que son usados para tratar el lactosuero tienen la capacidad separar o retirar la grasa/aceite del agua, es por ello por lo que una de las alternativas ideales es utilizar un separador coalescente API (aceite-agua).

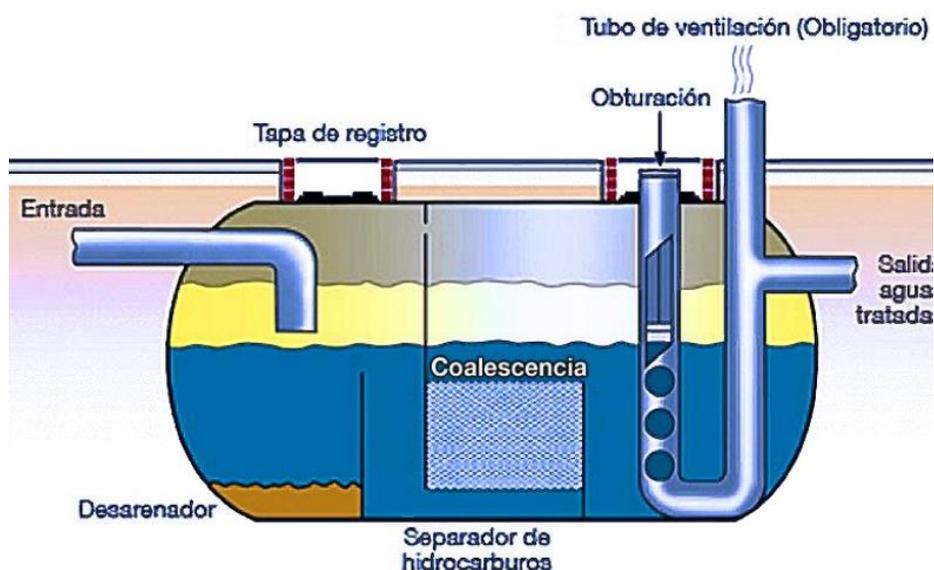
A lo expresado, en la industria petrolera se conocen diferentes dispositivos de almacenamiento, un ejemplo de tales dispositivos son los separadores, que como su nombre lo indica se encargan de separar los componentes de una corriente bifásica, es decir, líquido-gas o líquido-aceite.

Un separador en el sector petrolero es un dispositivo mecánico de forma cilíndrica de acero que por lo general se utiliza para disgregar la mezcla de hidrocarburos en sus componentes básicos, petróleo y gas. Adicionalmente, el recipiente permite aislar los hidrocarburos de otros componentes indeseables como la arena y el agua (IDEQ, 2005).

Los separadores de placa coalescente son sistemas de separación de agua-aceite pasivos y físicos diseñados para remover aceites del agua, combustibles, y productos LNAPL y DNAPL. El funcionamiento puede ser descrito como una combinación de la Ley de Stokes y la teoría de la coalescencia, en donde el promedio de velocidad en que una gota de aceite llega a la superficie (además de otros parámetros), determinan el área de superficie requerida por la gravedad.

Figura 10.13

Partes básicas de un separador de hidrocarburos (Tecnofibersl, 2013)



Los equipos de separación tienen como objetivo separar mezclas de líquido y gas. Cuando el sistema de separación ocurre en varias etapas y el producido se envía a una planta para su tratamiento, es importante considerar las presiones de separación de sus variados componentes no necesarios en cada etapa, a fin de reducir a un mínimo los requerimientos de compresión.

En los campos petroleros, los efectos de separación más comunes son:

a) Fuerza de gravedad

Las gotas de líquido se separan de la fase gaseosa, cuando la fuerza gravitacional que actúa sobre las gotas de líquido es mayor que la fuerza de arrastre del fluido de gas sobre la gota.

b) Fuerza centrífuga

el separador centrífugo funciona mediante el efecto de su fuerza y el agua contaminada con sólidos e hidrocarburos y aceites se inyecta tangencialmente a lo largo de la circunferencia del estanque cilindro-cónico para permitir la separación de las partículas pesadas. El aceite libre es retirado de la superficie del estanque se almacena en el acumulado del hidrocarburo. Las partículas que pueden precipitar sedimentan al fondo del estanque, desde aquí son drenadas a un filtro de bolsa de fácil remplazo. Opcionalmente se puede incluir inyección de ozono, control de pH, aplicación de agentes coagulantes/floculantes con el objeto de aumentar la flotación de aceites y la precipitación de sólidos.

c) Cambios en la cantidad de movimiento

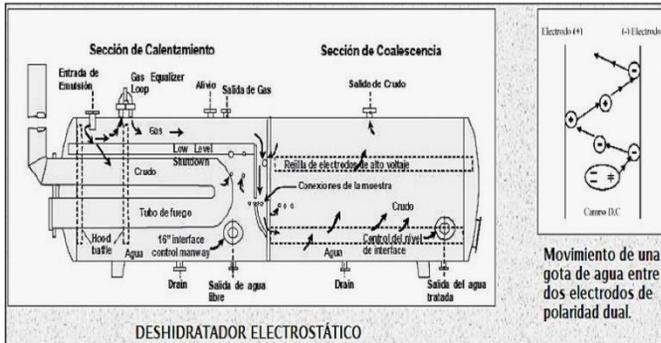
Los fluidos con diferentes densidades tienen diferentes movimientos, si una corriente de dos fases se cambia bruscamente de dirección, el fuerte momentum o la gran velocidad adquirida por las fases, no permiten que las partículas de la fase pesada se muevan tan rápidamente como las de la fase liviana, este fenómeno provoca la separación.

d) Fuerzas electrostáticas

Consiste en someter la emulsión a un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. La aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce a la formación de polos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando su contacto y su posterior coalescencia. Como efecto final se tiene un aumento de tamaño de las gotas, lo que permite la sedimentación por gravedad. El separador que utiliza específicamente este principio tiene como nombre deshidratador electrostático y a continuación se muestra un ejemplo de este:

Figura 10.14

Deshidratador Electrostático (Calle, L. A., 2004)



e) Coalescencia

Es un fenómeno natural, sin embargo, el mayor desafío del productor consiste en lograrlo en tiempos operativos. Por ejemplo, una planta de tratamiento de crudo que procese 5.000 m³/d de fluido total con 50,00% de agua debe ser capaz de entregar diariamente 2.500 m³/d de crudo con menos de 0.5 % de agua y 100 gr/m de sales. Si el agua de purga pasa a tratamiento para inyección contiene entre 1,00% y 100 ppm de SOS más una carga de SIS que deben ser removidos.

La remoción de SOS se hace, en general por tres procesos (combinados o por separado) en los cuales, en mayor o menor medida el fenómeno de coalescencia está vinculado. (Alsina, 2004). Las gotas muy pequeñas no pueden ser separadas por gravedad y se unen por medio del fenómeno de coalescencia, para formar gotas 18 mayores, para las cuales se acercan lo suficiente como para separar las tensiones individuales y poder de esta forma separarse por gravedad. En la Figura siguiente se muestra el fenómeno de la coalescencia en un separador vertical.

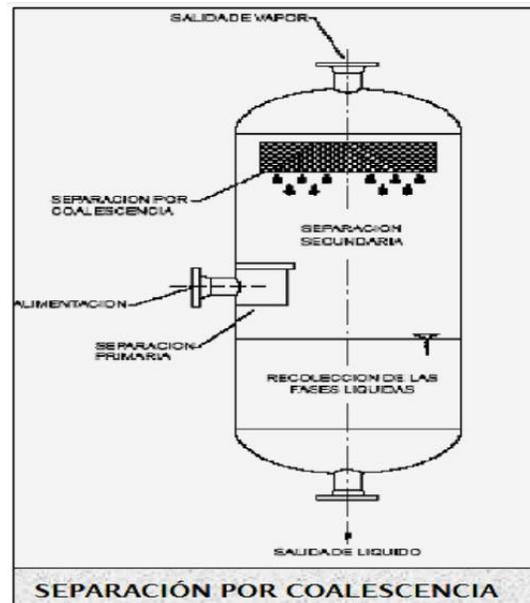


Figura 10.15

Separación por coalescencia (Ken Arnold, Maurice I. Stewart, Jr., 1999)

10.16.1 Separadores API

Los separadores API agua-aceite, tienen como objetivo principal remover el aceite libre contenido en la fase acuosa. Se denomina Separador API, porque su diseño está patentado por la American Petroleum Institute. Se considera un pretratamiento puesto que puede estar previo a una unidad de flotación por aire o previo a una unidad conocida como Humedales. Constituye la primera fase de un tratamiento de efluentes que contengan aceites en Agua.

Figura 10.16

Vista lateral de un separador API (American Petroleum Institute, 2013)

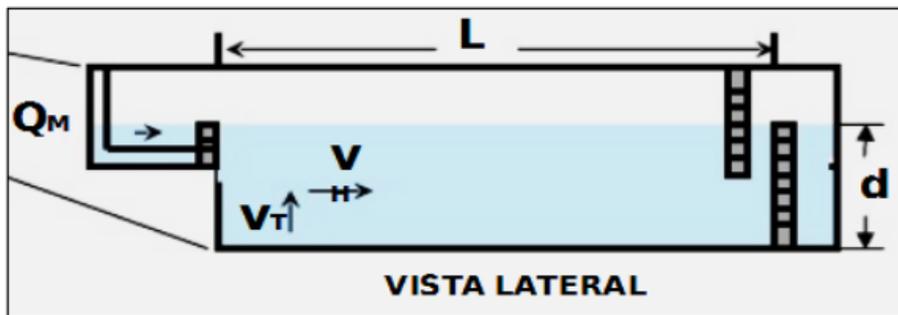
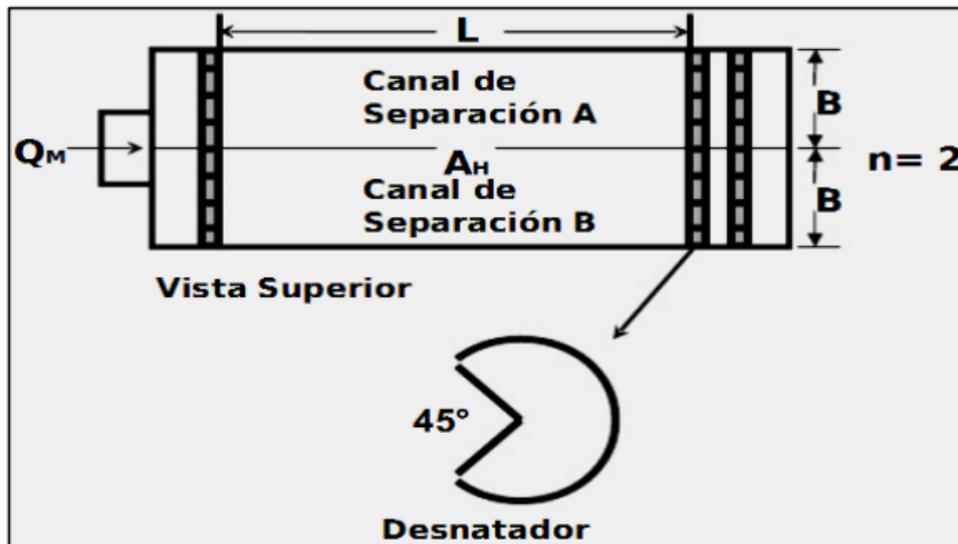


Figura 10.17

Vista superior de un separador API (American Petroleum Institute, 2013)



10.16.2 Placas coalescentes

Las Placas Coalescentes o separadores de aceite son rellenos plásticos que permiten la separación física de grasas y aceites en corrientes de agua, las placas coalescentes son fabricadas en la mina de PVC o de Polipropileno, los cuales poseen diferentes canales que ayudan a la separación de grasas y aceites.

Las Placas Coalescentes o Coalescedores (Separadores de grasas) están diseñadas para contener el aceite, hidrocarburos y grasas gracias a que las partículas de aceite y grasas se adhieren a las placas debido a la baja densidad estas se mueven hacia arriba

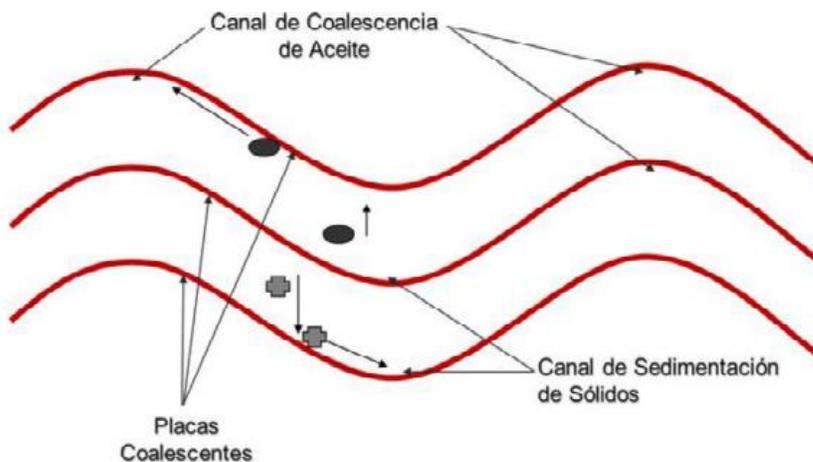
Utilizando la separación por gravedad de aguas aceitosas, las pequeñas gotas se ponen en contacto entre sí para formar gotas más grandes de aceite, estas gotas más grandes se pueden separar más fácilmente, al no disponer de partes móviles y presentar mayor área superficial, en menor volumen, lo convierten en la selección más compacta y eficiente de separación de agua y aceite.

Las placas Coalescentes poseen una superficie de interfaz óptima, que permiten un tiempo de residencia necesario para que se produzca la coalescencia de partículas aceitosas.

- ◆ Los coalescedores poseen una larga vida útil debido a la resistencia química, bacteriana y UV del PVC.
- ◆ Este tipo de tratamiento permite obtener efluentes con concentraciones bajas de aceites, grasas e hidrocarburos.
- ◆ Son eficientes y de bajo costo.
- ◆ Instalación fácil y económica

Figura 10.18

Placas de coalescencia



La separación está basada en la ley de Stokes y depende principalmente de la diferencia de gravedad específica entre el aceite y el efluente y la viscosidad del efluente, los cuales dependen de la temperatura. El diámetro de la gota es un factor también importante en el diseño del equipo, el cuál históricamente se ha considerado en 60 micrones como el más comúnmente utilizado.

El aceite separado forma una capa sobre la superficie del agua la cual es removida continuamente mediante un vertedero. El efluente limpio sale del paquete de placas y fluye hacia arriba por el compartimiento de efluente limpio hacia un vertedero y es descargado continuamente de la unidad por gravedad.

Estos separadores o decantadores laminares pueden tratar caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los decantadores convencionales y su eficiencia es superior, tiene una eficiencia superior al 90% en remoción de hidrocarburos.

Mediante la colocación de placas paralelas o módulos de diferentes tipos en la zona de sedimentación, se obtiene en estas unidades una gran superficie de deposición para los lodos, con lo cual se logra disminuir apreciablemente el área superficial de los tanques.

10.17 Normatividad sobre vertido de aguas residuales

La composición específica del vertido residual, los cuerpos que son receptores, la disponibilidad de terreno en las inmediaciones de la empresa, la recuperación y reutilización de estas aguas y su posible utilización para riego están en función de la normatividad vigente sobre descargas.

La Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) establece los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Tabla 10.6

Muestreo en descargas no municipales

DQO (Toneladas/día)	Carbono orgánico total (Toneladas/día)	Sólidos Suspendidos Totales (Toneladas/día)	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de informe de resultado de muestreo y análisis
Mayor a 3.0	Mayor a 0.75	Mayor a 3.0	Mensual	Trimestral
De 1.2 a 3.0	De 0.3 a 0.75	De 1.2 a 0.3	Trimestral	Trimestral
Menor a 1.2	Menor a 0.3	Menor a 1.2	Semestral	Trimestral

Tabla 10.7

Numero e intervalo de muestras simples

Horas/día que opera el proceso generador de la descarga	Numero de muestras simples	Intervalo entre colectas de muestras simples	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	2	N.E.	N.E.
De 4 y hasta 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Tabla 10.8

Límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales

Parámetros	Ríos		Suelos	
	Uso en riego agrícola		Uso en riego agrícola	
	PM	PD	PM	PD
Temperatura (°C)	NA	NA	NA	NA
Grasas y aceites (mg/L)	15	25	15	25
Materia flotante (mg/L)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Solidos sedimentables (ml/L)	1	2	NA	NA
Solidos suspendidos totales (mg/L)	150	200	NA	NA
DBO5 (mg/L)	150	200	NA	NA
Nitrógeno total (mg/L)	40	60	NA	NA
Fosforo total (mg/L)	20	30	NA	NA

11 DESARROLLO

11.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

11.1.1 Construcción de prototipos de separadores API

Los prototipos de separadores API fueron diseñados para poder construirse con materiales que sean de un fácil acceso, para así tener una buena relación entre los resultados y los costos de construcción, con los materiales necesarios para llevar a cabo el proceso de separación por coalescencia en el prototipo.

El diseño de estos prototipos está enfocado para que el equipo pueda tener un uso práctico y pueda ser modificado en caso de ser necesario, así mismo, para tener una mayor facilidad para poder observar cómo se lleva cabo el proceso de separación y los resultados que se obtengan.

Factores que fueron considerados para el diseño de los prototipos:

- ◆ Capacidad de los prototipos.
- ◆ Forma de operación de los prototipos.
- ◆ Tipos de flujo.
- ◆ Tiempos de residencia.
- ◆ Materiales para la construcción de los prototipos.

11.1.1.1 PROTOTIPO DE SEPARADOR API RECTANGULAR

Se diseñó este prototipo utilizando un recipiente rectangular de polietileno transparente con capacidad de 10 L. de las siguientes medidas:

Largo: 32.5 cm.

Ancho: 19 cm.

Altura: 20.5 cm.

Figura 11.1

Recipiente rectangular



Después se construyó la entrada (efluente a tratar) y la salida (efluente tratado) en el prototipo, con tubos y codos de CPVC (Policloruro de vinilo clorado), ya que con este tipo de material se puede lograr que se inhiba el posible crecimiento de más bacterias.

Se procedió a hacer los filtros coalescentes, con los cuales se realizará el proceso de coalescencia, es decir que se unirán las partículas de grasas. Para esto se utilizaron botellas de PET (Tereftalato de polietileno) de 250 ml, a los cuales se les hicieron orificios pequeños para poder complementar el proceso. Finalmente, estos filtros fueron pegados en la base del recipiente.

Al final se realizó una canaleta que permitía la salida de las partículas de grasas y aceites que se unieron y formaron una capa en la parte superior del prototipo, permitiendo una eliminación más fácil de estas y dejando el suero tratado en el recipiente, como una especie de equipo semicontinuo.

Figura 11.2

Vista aérea de separador rectangular

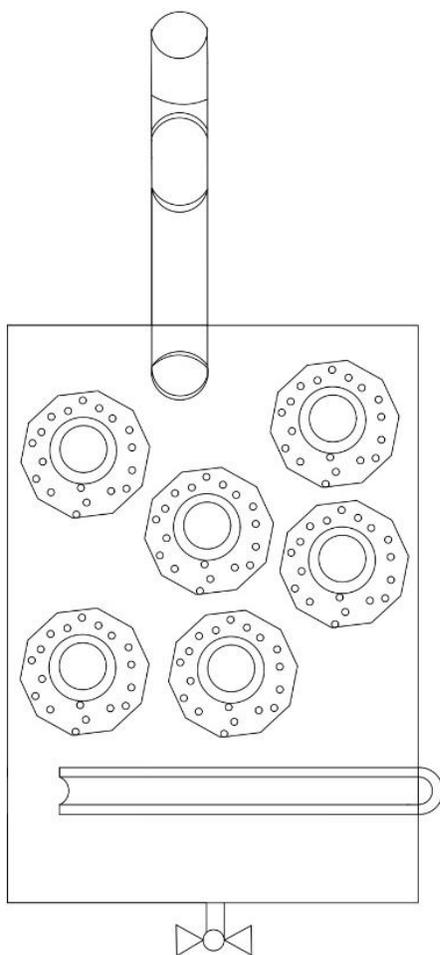
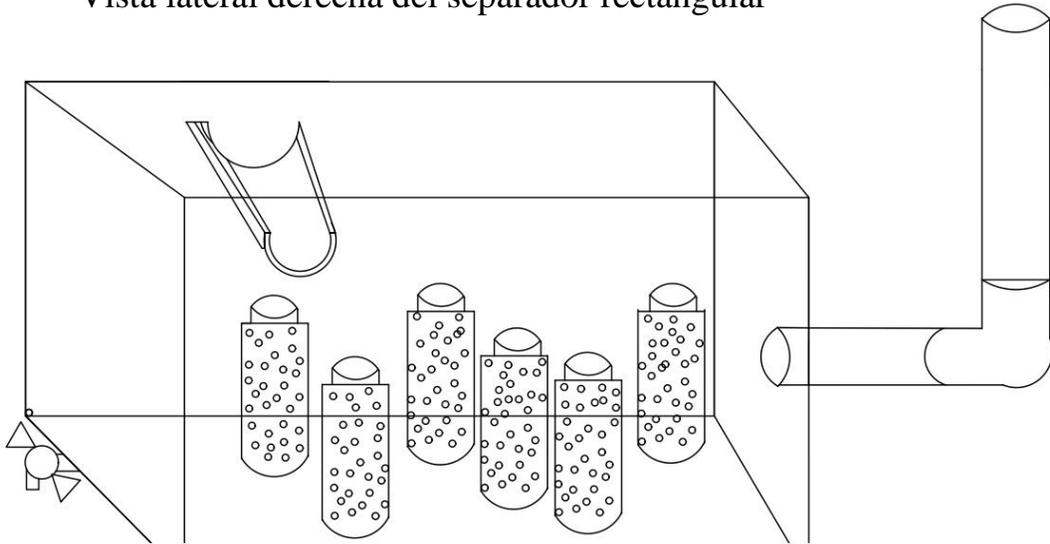


Figura 11.3

Vista lateral derecha del separador rectangular



11.1.1.2 PROTOTIPO DE SEPARADOR API CIRCULAR

Para el diseño de este prototipo se propuso utilizar 3 recipientes de tipo circular compuestos de PET (Tereftalato de polietileno y tapa de PVC (Policloruro de vinilo) con capacidad de 3.785 L. de las siguientes medidas:

Diámetro: 15 cm

Altura:25.3cm

Figura 11.4

Recipientes cicrulares



Después se construyó la entrada (efluente a tratar) que conduce al primer proceso de separación, también se realizó una canaleta que permite la salida de las partículas de grasas y aceites que se unieron y formaron una capa en la parte superior del primer parte del prototipo, permitiendo una eliminación más fácil de estas y dejando el suero tratado en el recipiente.

Asimismo, se construyó la conexión a la segunda parte del prototipo donde se llevara a cabo una segunda separación, en la cual se utilizó una válvula de esfera que permitirá el paso a esta segunda parte cuando el tiempo de residencia en el primero haya finalizado, y la salida (efluente tratado) en el prototipo, con tubos y codos de CPVC (Policloruro de vinilo clorado), ya que con este tipo de material se puede lograr que se inhiba el posible crecimiento de más bacterias.

Posteriormente se hicieron los filtros coalescentes, con los cuales se realizará el proceso de coalescencia, es decir que se unirán las partículas de grasas. Para esto se utilizaron botellas de poliestireno de 80 ml, a los cuales se les hicieron orificios pequeños para poder complementar el proceso. Para el primer proceso, se utilizaron 6 filtros y para el segundo se utilizaron 4 filtros. Finalmente, estos filtros fueron pegados en la base del recipiente.

Figura 11.5

Vista lateral derecha del separador circular

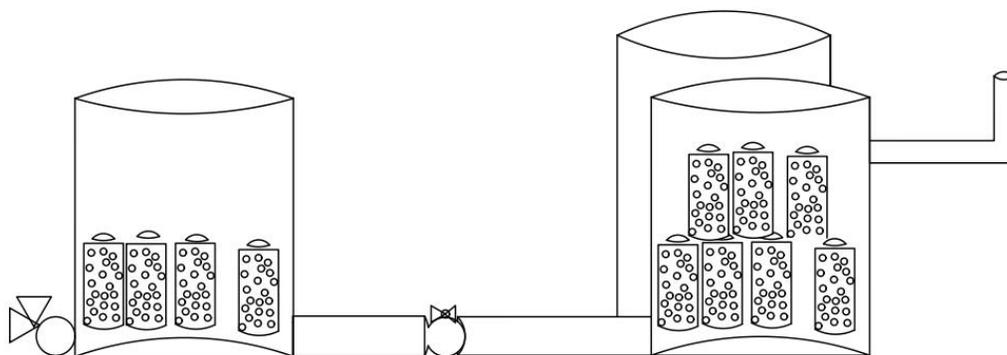
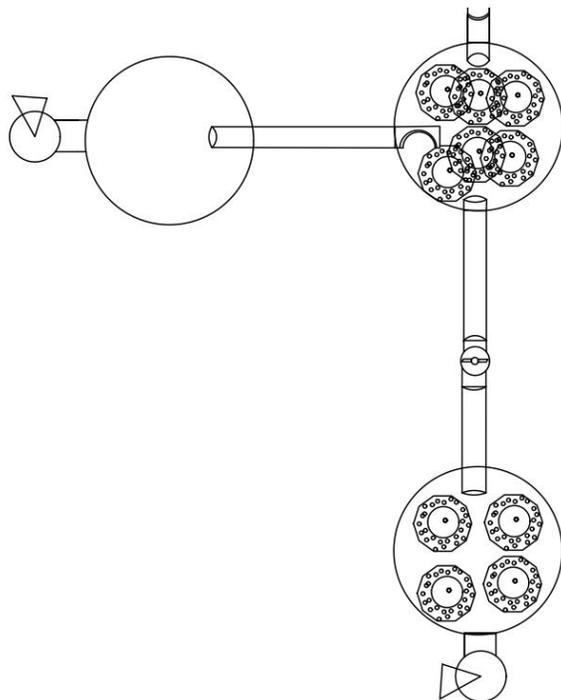


Figura 11.6

Vista superior de separador circular



11.1.2 Tiempos de residencia

Para establecer los tiempos de residencia se tomó de la literatura revisada el tiempo que era más común para llevar a cabo el proceso de la separación, el cual era de 30 minutos.

Para el prototipo rectangular, se tomaron los 30 minutos continuos en el recipiente desde la entrada hasta la salida para llevar a cabo la separación de grasas y aceites del lactosuero que se está tratando.

Por otro lado, en el prototipo circular se tomaron 20 minutos para realizar la primera etapa de separación en el primer lote, y una vez separadas las primeras grasas, se desalojan al contenedor y se permite el paso al segundo lote donde se llevará a cabo una segunda separación que tendrá una duración de 10 minutos, haciendo que el tiempo de residencia en el prototipo del separador API circular sea también de 30 minutos.

12 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE EFLUENTE RESIDUAL (LACTOSUERO)

La caracterización fisicoquímica es fundamental para determinar la calidad del agua y así poder determinar los posibles niveles de contaminación que dicho efluente tiene antes de ser tratado.

12.1 Toma de las muestras

Las muestras recolectadas fueron tomadas se guardaron en bidones de 20 litros para ingresarlos posteriormente al laboratorio y mantenerlo en condiciones. Al realizar el estudio del lactosuero antes de ser tratado, mediante pruebas fisicoquímicas obtuvieron los niveles de los siguientes parámetros:

- ◆ pH
- ◆ Densidad
- ◆ Demanda química de oxígeno (DQO)
- ◆ Grasas y aceites

12.2 Métodos de prueba

12.2.1 Determinación del pH (Método potenciométrico)

La determinación se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH (potenciómetro), el valor del pH de la muestra se lee directamente en la escala del potenciómetro.

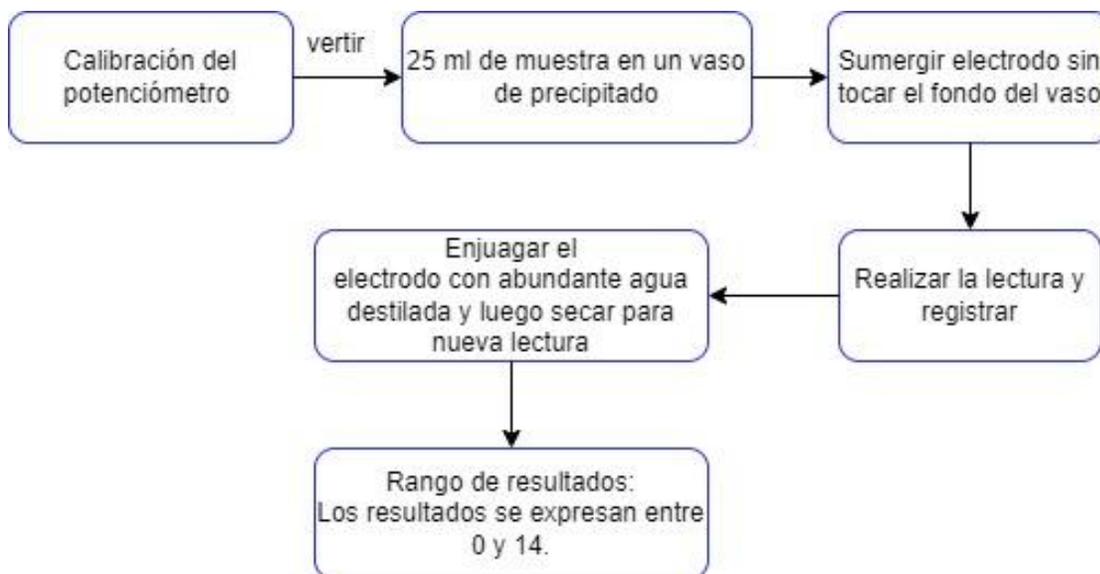
Procedimiento

1. Se calibra el potenciómetro.
2. En un vaso de precipitado de 25 ml se coloca unos 10 ml de suero.
3. Se sumerge el electrodo sin tocar el fondo del vaso.
4. Se realiza la lectura respectiva.
5. Se realiza la lectura por triplicado con la misma muestra para mayor eficiencia en la lectura de resultados.
6. Antes de proceder con la siguiente lectura, se enjuaga el electrodo con abundante agua destilada y luego se seca.

Los resultados expresados se encuentran entre 0 y 14.

Figura 12.1

Método potenciométrico



12.2.2 Determinación de la densidad

La densidad de un agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 , es una característica física importante del agua residual, dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento.

Los lactodensímetros son instrumentos de vidrio utilizados para la medición de la densidad de la leche y así poder determinar si ha sido mezclada con agua o si ha sido parcialmente descremada.

Los lactodensímetros son aerómetros, cuerpos flotadores de vidrio lastrados en su parte inferior con varilla graduada. Cuando el aerómetro se introduce en la leche o suero lácteo sufre un impulso hacia arriba igual al peso del líquido desaloja (principio de Arquímedes), quedando el valor de densidad reflejado en la varilla graduada.

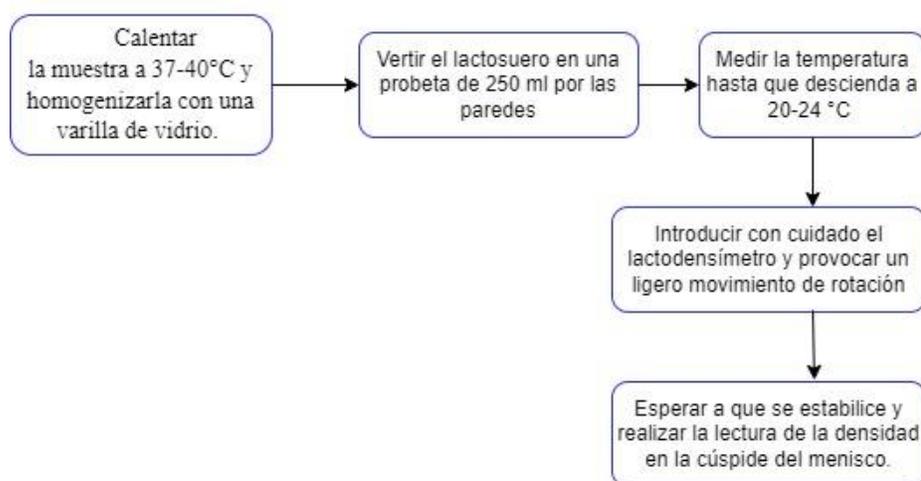
Procedimiento

1. Calentar la muestra a $37\text{-}40^\circ\text{C}$ y homogenizarla con una varilla de vidrio.
2. Verter el lactosuero en una probeta de 250 ml por las paredes para así evitar la formación de espuma.

3. Medir la temperatura hasta que descienda a 20-24 °C (temperatura ambiente).
4. Introducir con cuidado el lactodensímetro manteniendo el aparato en el eje de la probeta y provocar un ligero movimiento de rotación a fin de que no se pegue a las paredes.
5. Esperar a que se estabilice y realizar la lectura de la densidad en la cúspide del menisco.

Figura 12.2

Determinación de la densidad (lactodensímetro)



12.2.3 Determinación de grasas y aceites (Método Gerber)

En la determinación de aceite y grasa, no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica, los grupos de sustancias con características físicas similares se determinan cuantitativamente sobre la base de su solubilidad común en un solvente de extracción orgánico. “Aceite y grasa” se define como cualquier material recuperado como sustancia soluble en el solvente.

El método Gerber consiste en separar las grasas y aceites dentro de un recipiente medidor llamado butirómetro, el cual mide el volumen y lo indica en el porcentaje de masa.

La butirometría según Gerber es un método rápido que se sigue utilizando en la actualidad en los laboratorios de las lecherías a pesar de la introducción de métodos más automatizados para la determinación del contenido de grasas y aceites. Las ventajas que este método presenta son las siguientes:

- ◆ No es necesario estar calibrando el equipo de medición, lo cual es requiere normalmente de largos periodos de tiempo.
- ◆ Los gastos de inversión son reducidos y al mismo tiempo los costos de hacer análisis rápidos de muestras individuales
- ◆ Posibilidad de aplicar este método a todos los tipos de leche.

Materiales:

- Butirómetro calibrado con tapón
- Pipeta DIN 10283-p para leche
- Pipeta DIN 12837-B o grifo de medición de 10 ml para ácido sulfúrico
- Pipeta DIN 12837-C o grifo de medición de 1 ml para ácido amílico
- Centrifuga para determinación de contenido de grasa en leche
- Regulador de temperatura para el butirómetro

Reactivos:

- Ácido sulfúrico
- Alcohol amílico (compuesto por 2- butano metílico-1-ol y 3-butano metílico-1-ol)

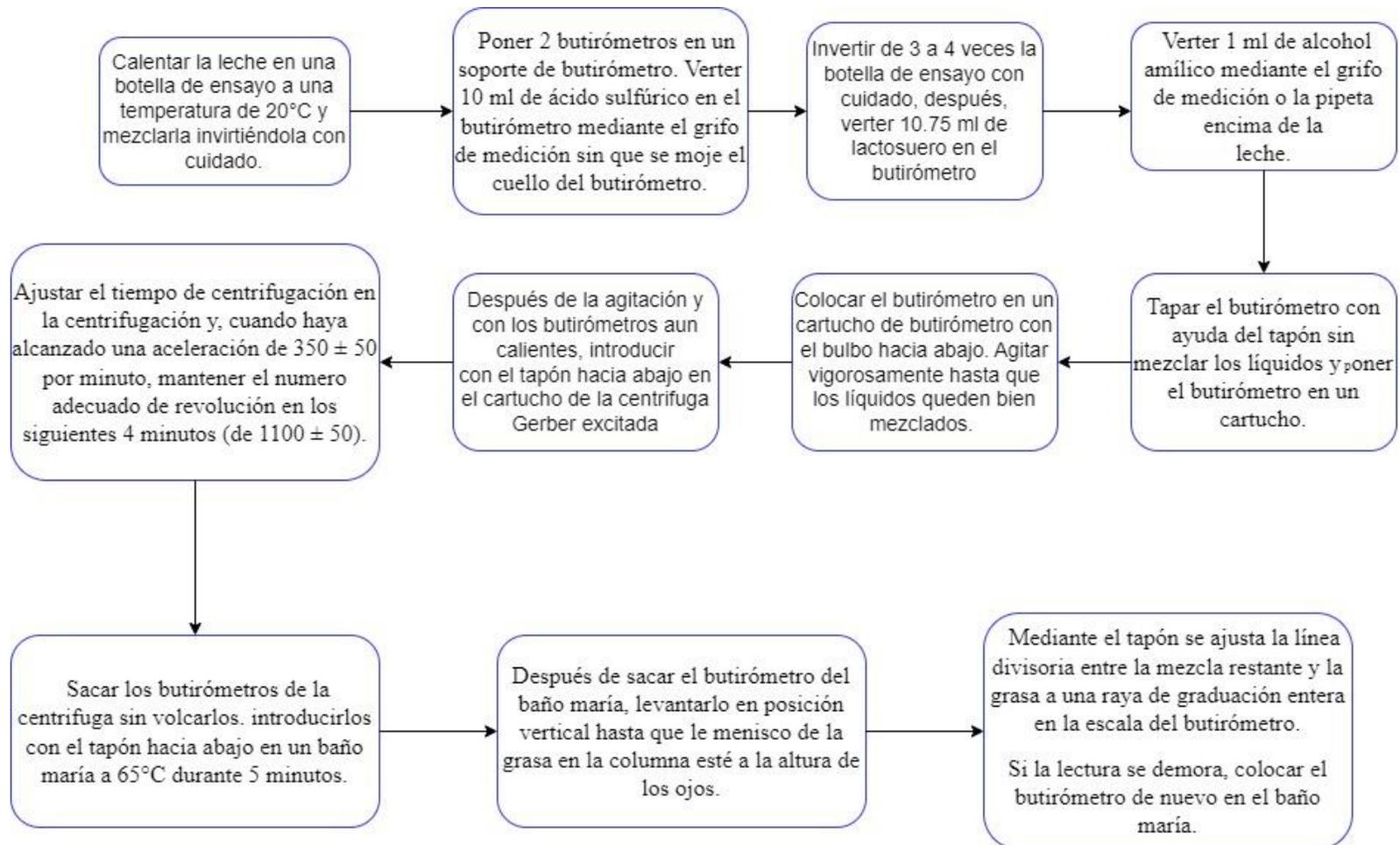
Procedimiento:

1. Calentar la leche en una botella de ensayo a una temperatura de 20°C y mezclarla invirtiéndola con cuidado. Se debe de lograr una distribución homogénea de la grasa para evitar la formación de espuma o de que se produzca mantequilla.
2. Poner 2 butirómetros en un soporte de butirómetro. Verter 10 ml de ácido sulfúrico en el butirómetro mediante el grifo de medición sin que se moje el cuello del butirómetro.
3. Invertir de 3 a 4 veces la botella de ensayo con cuidado, después, verter 10.75 ml de lactosuero en el butirómetro de modo que no toque el cuello del butirómetro y no se mezclen con el ácido sulfúrico. Para esto es preciso apoyar la punta de la pipeta de la leche lateralmente y lo más bajo posible en el borde del butirómetro y formar una capa de leche encima del ácido sulfúrico.
4. Verter 1 ml de alcohol amílico mediante el grifo de medición o la pipeta encima de la leche.
5. Tapar el butirómetro con ayuda del tapón sin mezclar los líquidos.
6. Poner el butirómetro en un cartucho.
7. Colocar el butirómetro en un cartucho de butirómetro con el bulbo hacia abajo. Agitar vigorosamente hasta que los líquidos queden bien mezclados. El dedo pulgar debe presionar firmemente el tapón del butirómetro. Invertir el butirómetro varias veces para que se disperse el ácido sulfúrico que queda en el bulbo.

8. Después de la agitación y con los butirómetros aun calientes, introducir con el tapón hacia abajo en el cartucho de la centrifuga Gerber excitada. Los butirómetros deben quedar situados uno frente al otro. Antes de llevar a cabo este paso debe de ajustarse la columna de grasa a la altura de nivel de grasa esperado girando al tapón.
9. Ajustar el tiempo de centrifugación en la centrifugación y, cuando haya alcanzado una aceleración de 350 ± 50 por minuto, mantener el numero adecuado de revolución en los siguientes 4 minutos (de 1100 ± 50).
10. Sacar los butirómetros de la centrifuga sin volcarlos. introducirlos con el tapón hacia abajo en un baño maría a 65°C durante 5 minutos.
11. Después de sacar el butirómetro del baño maría, levantarlo en posición vertical hasta que le menisco de la grasa en la columna esté a la altura de los ojos.
12. Mediante el tapón se ajusta la línea divisoria entre la mezcla restante y la grasa a una rayade graduación entera en la escala del butirómetro.
13. Si la lectura se demora, colocar el butirómetro de nuevo en el baño maría.

Figura 12.3

Método Gerber (Grasas y aceites)



Recomendaciones y puntos que considerar:

- Los aparatos medidores de volumen están calibrados para una temperatura de 20°C. cualquier diferencia de temperatura influye directamente en el volumen
- Utilizar guantes de caucho y gafas de protección para el uso de los reactivos.
- La mezcla de los reactivos y el lactosuero puede producir mucho calor, haciendo que el gas producido logre que el tapón salte o incluso que el butirómetro se rompa.
- En vez de utilizar el cartucho del butirómetro, puede utilizarse un paño.
- La regulación de temperatura es importante en la exactitud de los resultados. A 65 °C se garantiza un resultado exacto. A temperaturas inferiores, se reduce el volumen de la columna de grasa y se indica un contenido bajo de grasa en la muestra.
- Si los ojos y el menisco que se produce no están a la misma altura, se produce un error de paralaje.
- Para medición en lactosuero y leches desnatadas, realizar centrifugación dos veces, y entre los procesos de centrifugación, calentar el butirómetro 5 minutos a 65°C por 5 minutos.

12.2.4 Determinación de Demanda química de oxígeno (DQO) Método HACH 8000

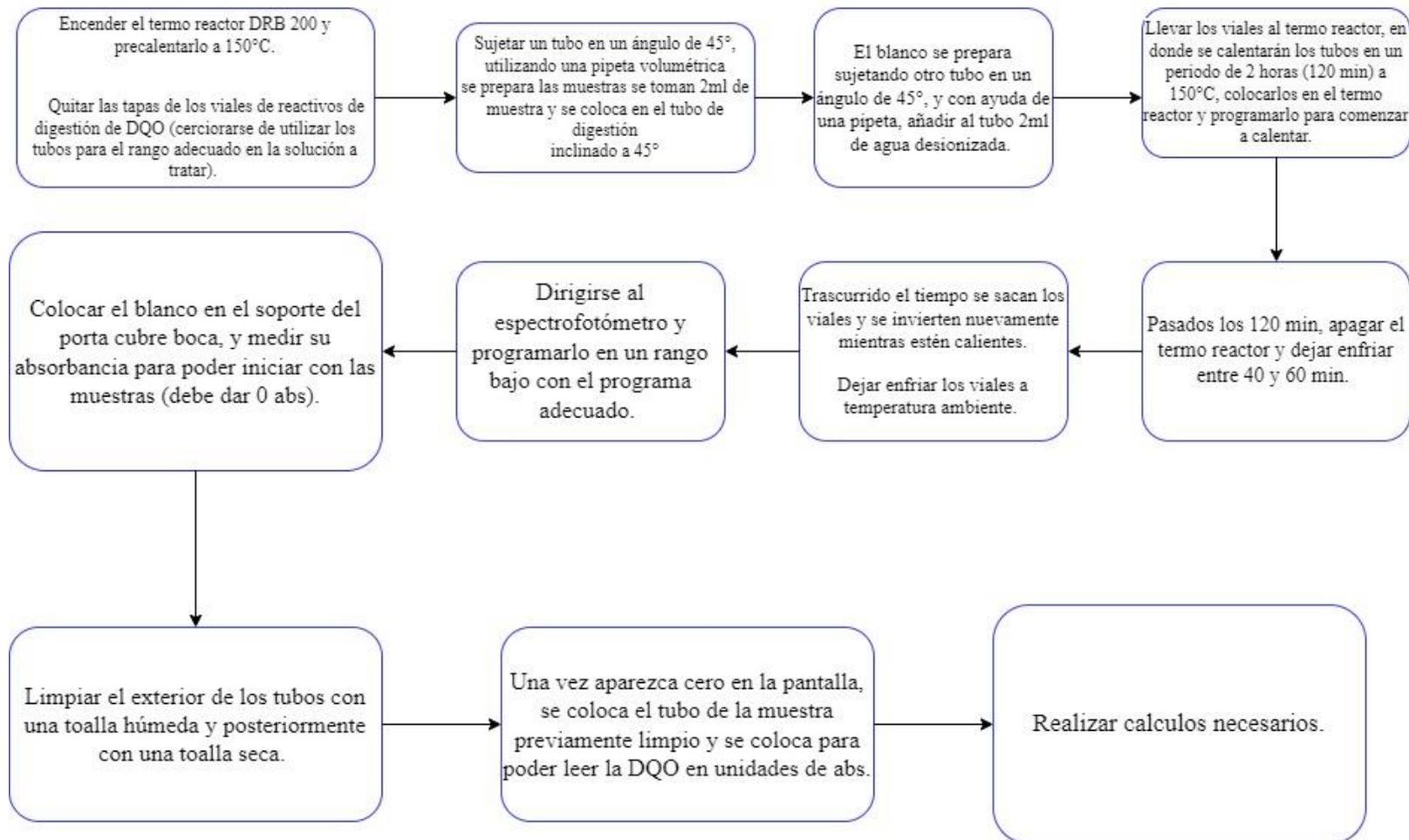
La Demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se encuentra en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. el método HACH 8000 utiliza dicromato preferiblemente sobre los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a las muestras.

Procedimiento:

1. Encender el termo reactor DRB 200 y precalentarlo a 150°C.
2. Quitar las tapas de los viales de reactivos de digestión de DQO (cerciorarse de utilizar los tubos para el rango adecuado en la solución a tratar).
3. Sujetar un tubo en un ángulo de 45°, utilizando una pipeta volumétrica se prepara las muestras se toman 2ml de muestra y se coloca en el tubo de digestión inclinado a 45°.
4. El blanco se prepara sujetando otro tubo en un ángulo de 45°, y con ayuda de una pipeta, añadir al tubo 2ml de agua desionizada.
5. Tapar bien los tubos, enjuagarlos con agua y limpiarlos con una toalla para limpiar.
6. Sujetar los tubos e invertirlos en un rango de 6 a 7 veces para que la solución muestra pueda reaccionar con los químicos contenidos en los viales.
7. Llevar los viales al termo reactor, en donde se calentarán los tubos en un periodo de 2 horas (120 min) a 150°C, colocarlos en el termo reactor y programarlo para comenzar a calentar.
8. Pasados los 120 min, apagar el termo reactor y dejar enfriar entre 40 y 60 min.
9. Trascurrido el tiempo se sacan los viales y se invierten nuevamente mientras estén calientes.
10. Dejar enfriar los viales a temperatura ambiente.
11. Dirigirse al espectrofotómetro y programarlo en un rango bajo con el programa adecuado.
12. Colocar el blanco en el soporte de la porta cubre boca, y medir su absorbancia para poder iniciar con las muestras (debe dar 0 abs).
13. Limpiar el exterior de los tubos con una toalla húmeda y posteriormente con una toalla seca.
14. Una vez aparezca cero en la pantalla, se coloca el tubo de la muestra previamente limpio y se coloca para poder leer la DQO en unidades de abs.

Figura 12.4

Método HACH 8000 (DQO)



Recomendaciones y puntos que considerar:

- La disolución es fuertemente acida y produce una reacción exotérmica, por lo cual se deben usar guantes para seguridad.
- Retirar los tubos del digestor y dejar que se enfríen a temperatura ambiente, permitiendo que cualquier precipitado se sedimente.
- La absorbancia se mide en el espectrofotómetro, que está previamente calibrado.
- Para aguas que contengan una DQO baja de 5 mg/L a 75 mg/L utilizar la solución de digestión B, y si los valores son más altos que 75 mg/L, después de usar los reactivos, reanalizar la muestra, utilizando la disolución.

Como se muestra a continuación, se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica del lactosuero antes de ser tratado en los prototipos de separadores API, que se presentan en la tabla a continuación. En esta misma tabla se puede observar que su pH hace que se clasifique para este lactosuero como ácido, debido a que, para poder ser considerado un lactosuero dulce, su pH debería ser mayor a 6.0 (> 6,0).

Tabla 12.1

Caracterización fisicoquímica de lactosuero residual

Muestra	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)	pH	Densidad (g/cm³)	Temperatura (°C)
1	4564	8700	3.86	1,023	24.9
2	4792	9000	3.82	1,025	24.8
3	4660	8300	3.85	1,021	24.7
Media	4672	8666.66	3.84	1.023	24.8
Des. Est.	114.47	351.18	0.02081	0.002	0.10
% C.v.	2.45	4.05	0.5	0.1	0.4

Así mismo, en esta tabla puede observarse los elevados valores que se obtuvieron en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales sobrepasan los 100,000 mg de O₂ por cada litro, por lo que se deduce que estos resultados son más elevados que los que se reportan en otros trabajos previos y en la composición promedio del lactosuero.

Por otra parte, los contenidos promedio de Grasas y Aceites (G y A) (8666.66 mg/L) resultan también muy elevados, ya que si son comparados con los que se indican para un lactosuero ácido promedio (< 0,50 g/dL). Asimismo, estos valores altos de G y A pueden justificar los elevados valores de DQO que se determinaron en la caracterización.

13 RESULTADOS

Figura 13.1

Separador API rectangular en pruebas



Figura 13.2

Separador API circular en tiempo de pruebas



13.1 pH

Tabla 9.13

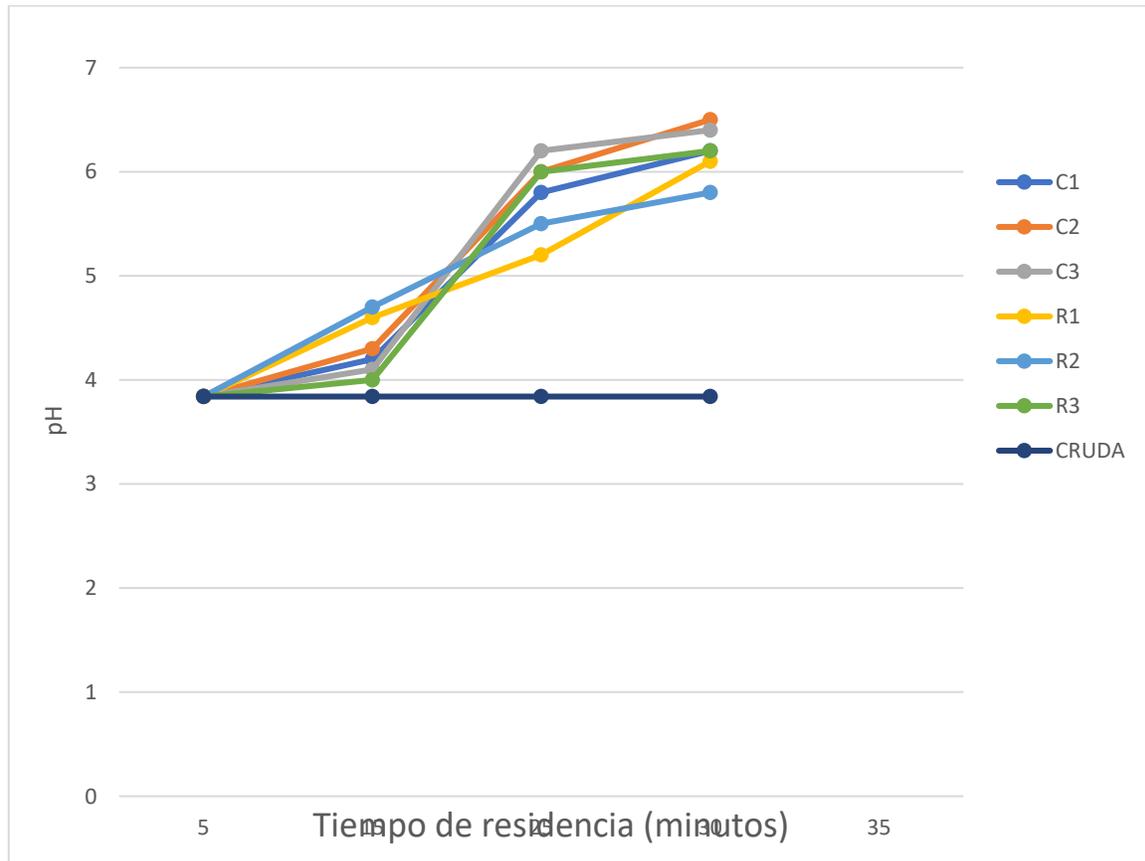
Resultados obtenidos después del tratamiento para pH

Muestra	API Circular	API Rectangular
1	6.2	6.1
2	6.5	5.8
3	6.4	6.2
Media	6.36	6.10
Des. Est.	0.15	0.30
% C.v.	2.39	4.91

Después de realizar los tratamientos de separación en ambos prototipos, se obtienen los resultados que aparecen en la tabla 9.13, en la cual se puede observar que hubo una variación con respecto al lactosuero sin tratar, y en los 3 tratamientos del prototipo circular y los 3 tratamientos del rectangular hubo una ligera variación.

Figura 13.3

Comportamiento de pH en el efluente tratado



Asimismo, hay que tener en consideración que el comportamiento del pH en los tratamientos con los prototipos circulares es mas favorable en cuanto a la neutralidad del efluente.

13.2 Densidad

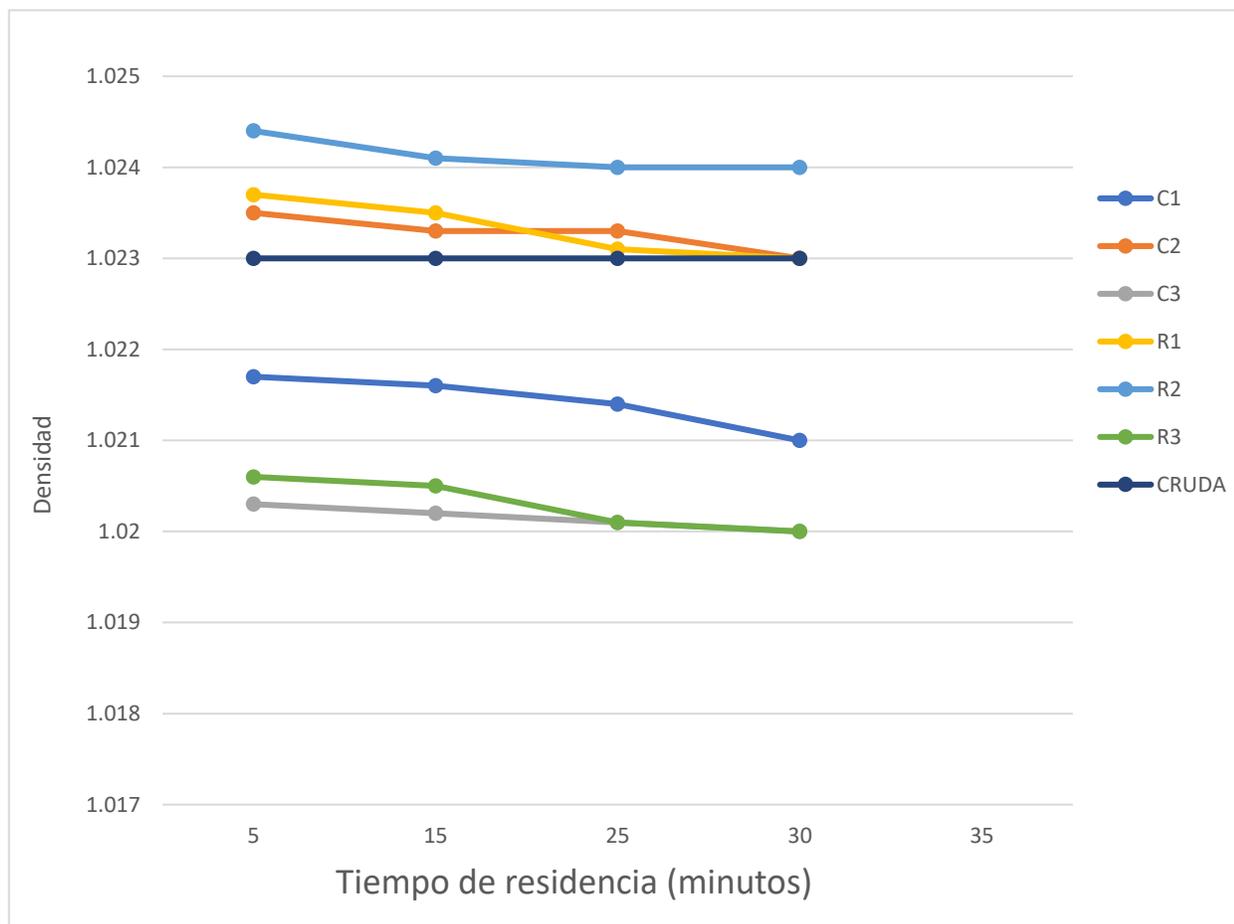
Tabla 13.1

Resultados obtenidos después del tratamiento para densidad

Muestra	API Circular Densidad (g/cm ³)	API Rectangular Densidad (g/cm ³)
1	1.021	1.023
2	1.023	1.024
3	1.020	1.020
Media	1.021	1.022
Des. Est.	0.001	0.002
% C.v.	0.14	0.20

Figura 13.4

Densidad de los efluentes despues de ser tratados.



En el caso de la densidad, después de realizar los tratamientos de separación en ambos prototipos, se obtienen los resultados que aparecen en la tabla 9.14, en la cual se puede observar que hubo una ligera y mínima variación con respecto al lactosuero sin tratar, en los 6 tratamientos, aunque este parámetro no sea de tanta relevancia para determinar la eficiencia de separación en los prototipos.

13.3 DQO

Tabla 13.2

Resultados obtenidos después del tratamiento para Demanda Química de Oxígeno

Muestra	API Circular DQO (mg/L)	API Rectangular DQO (mg/L)
1	1143	1722
2	1368	1978
3	1306	1881
Media	1272.33	1860.32
Des. Est.	116.21	129.24
% C.v.	9.1	6.9

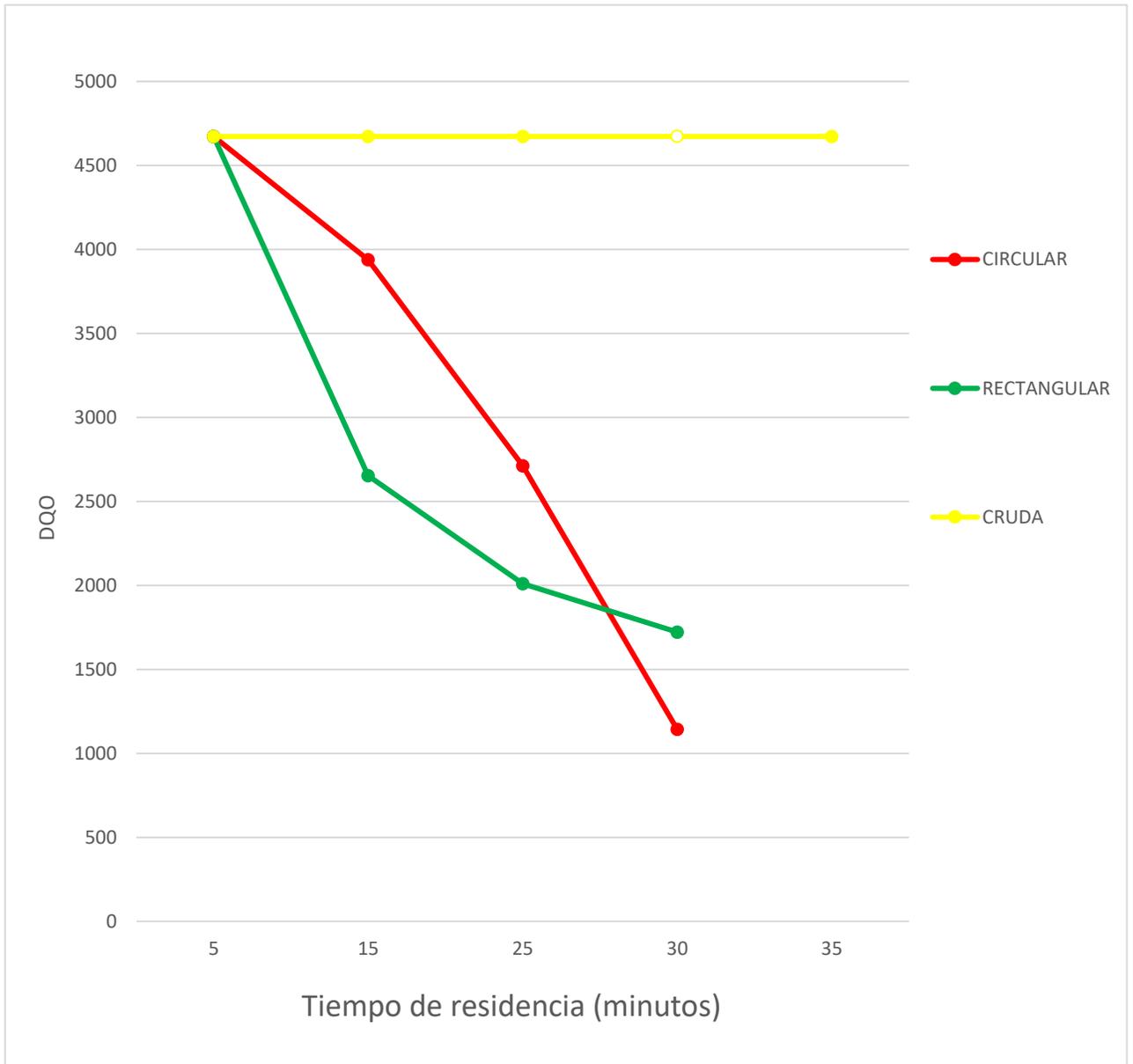
De los resultados obtenidos, se escogieron el tratamiento que mejor resultado presentó para cada prototipo.

El agua residual sin tratar contaba con una DQO de 4672 mg/L y luego de estar residiendo en los prototipos circular y rectangular en un tiempo de 30 minutos con las placas coalescentes, presentó una disminución, llegando a valores mínimos de 1143 mg/L para el prototipo circular y de 1722 mg/L para el prototipo rectangular.

La figura 1 presenta el comportamiento de la DQO en el agua tratada con los separadores API circular y rectangular con 30 minutos de tiempo de residencia, con relación al agua sin tratar.

Figura 13.5

Comportamiento de DQO en efluente tratado



De la figura anterior se observa que ambos tratamientos presentaron una reducción en la DQO desde los primeros 5 minutos y siguió la reducción en el transcurso del tiempo, hasta un porcentaje de reducción del 63.14% en el prototipo circular y un 75.53% en el prototipo rectangular.

En la tabla se presentan los porcentajes de reducción obtenidos en todos los tratamientos con los 30 minutos como tiempo de residencia:

Tabla 13.3

% de remoción de DQO en los tratamientos

Tratamiento	DQO (mg/L)	Remoción de DQO (%)
R1	1722	63.14
R2	1978	57.66
R3	1881	59.73
C1	1143	75.53
C2	1368	70.71
C3	1306	72.04
Agua sin tratar	4672	----

Puede observarse que en los 30 minutos de residencia se obtienen razonables porcentajes de remoción; puede observarse que en los tratamientos realizados en el prototipo circular (C1,C2, y C3) hubieron resultados de remoción mas favorables que a los del separador rectangular.

En ambos prototipos se presentaron porcentajes de reducción de DQO por arriba del 50%, sin embargo, el prototipo circular muestra mejor eficiencia en los 30 minutos debido a las dos fases de separación en los mismos 30 minutos.

13.4 Grasas y aceites

Tabla 13.4

Resultados obtenidos después del tratamiento para Grasas y Aceites

Muestra	API Circular G y A (mg/L)	API Rectangular G y A (mg/L)
1	3737	4636
2	3846	4743
3	3987	4428
Media	3856.66	4602.33
Des. Est.	125.34	160.17
% C.v.	3.2	3.4

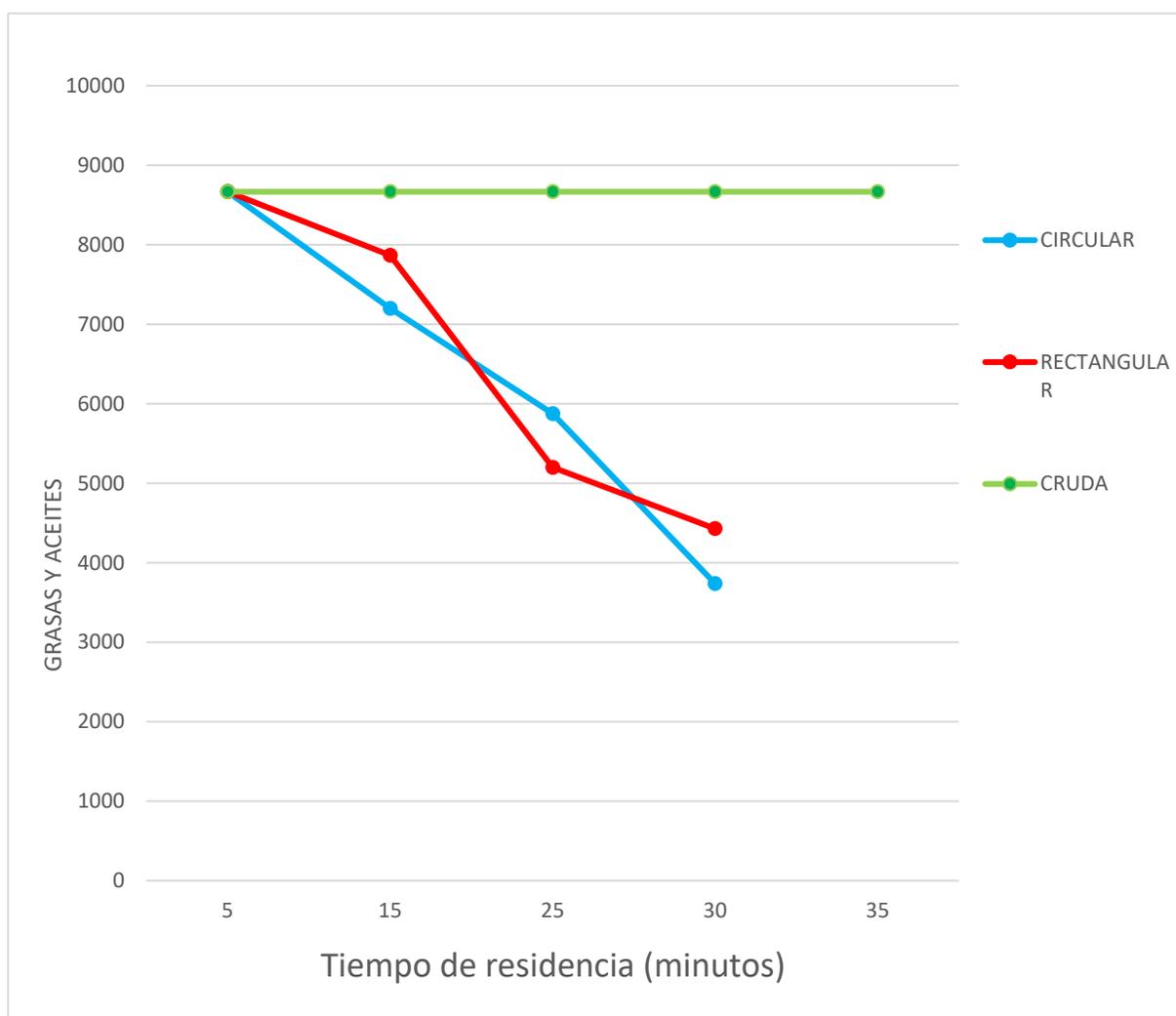
De los resultados obtenidos en cuanto a grasas y aceites, se escogieron el tratamiento que mejor resultado presentó en los prototipos circular y rectangular.

El agua residual sin tratar contaba con una nivel de grasas y aceites de de 8666.66 mg/L y luego de estar llevarse a cabo los procesos de separación con ayuda de la coalescencia en los prototipos circular y rectangular en un tiempo de 30 minutos, también se presentó una disminución, llegando a valores mínimos de 3737 mg/L para el prototipo circular y de 4428 mg/L para el prototipo rectangular.

La figura siguiente representa el comportamiento de las grasas y aceites en el agua tratada con los separadores API circular y rectangular con 30 minutos de tiempo de residencia, con relación al agua sin tratar.

Figura 13.6

Comportamiento de GyA en efluentes tratados



De la figura anterior se observa que ambos tratamientos presentaron una reducción en la DQO desde los primeros 5 minutos y siguió la reducción en el transcurso del tiempo, hasta un porcentaje de reducción del 63.14% en el prototipo circular y un 75.53% en el prototipo rectangular.

En la tabla siguiente se presentan los porcentajes de remoción que fueron obtenidos en todos los tratamientos con los 30 minutos como tiempo de residencia:

Tabla13.5

Resultados obtenidos después del tratamiento para Grasas y Aceites

Tratamiento	Grasas y Aceites (mg/L)	Remoción de GyA (%)
R1	4636	46.50
R2	4743	45.27
R3	4428	48.90
C1	3737	56.88
C2	3846	55.62
C3	3987	53.99
Agua sin tratar	8666.66	----

Después de analizar los datos puede observarse que en los 30 minutos de residencia se obtienen buenos porcentajes de remoción; puede observarse que en los tratamientos realizados en el prototipo circular (C1, C2, y C3) hubieron resultados de remoción más favorables que a los del separador rectangular.

Puede observarse también que en los prototipos de los separadores API del tipo circular el porcentaje de remoción se encuentra por arriba del 50%, y por otro lado, el prototipo rectangular muestra una eficiencia menor y aproximada al 50%.

14 DISCUSIONES

Para poder evaluar los separadores API, desde su diseño hasta sus parámetros para operación óptima, se tomó como referencia estudios previos ya realizados en diferentes industrias donde se incluyeron las industrias lácteas. En este trabajo de investigación los parámetros más importantes para evaluar el funcionamiento y rendimiento de los prototipos fueron las grasas y aceites y la DQO, que se encuentran en cantidades elevadas en el efluente lácteo.

El conocimiento de los parámetros fisicoquímicos del efluente a tratar permite la determinación de condiciones, el comportamiento de los valores establecidos, la verificación del cumplimiento de los límites y rangos establecidos por normativas vigentes.

15 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

15.1 CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación se logró corroborar el efecto en la remoción de contaminantes utilizando la propiedad de la coalescencia en el tratamiento primario de aguas residuales de la industria lechera. Esto se refleja en la eficiencia de remoción de materia contaminante representada por la DQO y por las grasas y aceites. El prototipo del separador API que tuvo el mejor desempeño en la remoción de materia contaminante fue el prototipo circular con un tiempo de residencia de 30 minutos.

El agua residual láctea que se trató contiene a la entrada del sistema: DQO (4672 mg/L,); grasas (8666.66 mg/L); densidad (1.023 g/cm³) y pH (3.84,), estos parámetros fueron importantes de determinar para poder conformar las condiciones iniciales de operación de los sistemas.

La eficiencia de remoción de DQO en el prototipo circular fue de hasta 75.53% y para el prototipo rectangular de hasta 63.14% y la eficiencia de remoción de grasas y aceites en el prototipo rectangular fue de 48.9%, mientras que para el prototipo circular fue de hasta 56.88% mostrando en ambos casos una buena capacidad de tratamiento.

El costo - beneficio del proyecto, demuestra que puede ser implementado, y demuestra que puede disminuirse la mano de obra y reducir los gastos importantes en la operación.

Además, la información recabada de la investigación acerca de normas ambientales que rigen actualmente nuestro entorno, nos permitió corroborar después del tratamiento al lactosuero residual si este se encontraba dentro de los LPM por las normas.

Asimismo, el diseño de diferentes propuestas para la remoción de grasas y aceites permite enfocar los conceptos iniciales a las necesidades más importantes en la construcción de un prototipo funcional. Es por esto que la realización de una lista de materiales es necesario para

la construcción del prototipo que permite enfocar la búsqueda de estos y optimizar costos de fabricación y montaje.

15.2 RECOMENDACIONES

Se debe analizar el proyecto hasta el más mínimo detalle para realizar un diseño óptimo de los prototipos. En este proyecto de residencia se omitieron ciertos materiales, que son útiles y que se tienen que implementar como es el caso de terminales, cables eléctricos, canaletas, etc. Esto con el fin de que al momento de la implementación sea fácil realizar una modificación del sistema.

Los resultados obtenidos en este trabajo son a nivel experimental y en un laboratorio, donde generalmente condiciones ambientales como lo son la presión y temperatura fueron diferentes a las condiciones ambientales a las que generalmente hay en los sitios en donde se encuentran las plantas de tratamiento.

Las características del agua residual usada para la experimentación tuvieron variaciones en sus parámetros debido al tiempo y forma de transporte y almacenamiento, por lo que mínimamente se requiere que el efluente residual se encuentre refrigerada a 4°C.

Para próximos trabajos se recomienda considerar el monitoreo de parámetros como los sólidos suspendidos totales y DBO, esto para tener una idea más clara de las características del efluente que se está tratando, así como un monitoreo más exacto.

Otra recomendación es llevar a cabo el trabajo experimental a un nivel de planta piloto en la ubicación de la planta de tratamiento, esto con el objetivo de reducir posibles variaciones horarias y diarias que se pueden presentar debido a algún cambio en los procesos de producción de los productos, así como también condiciones ambientales como lo son la presión, y la temperatura que pueden verse reflejadas en la composición del agua residual.

16 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

- ◆ Búsqueda e interpretación de información científica.
- ◆ Capacidad de analizar y sintetizar información.
- ◆ Resolución a problemas que se presentan, proponiendo y desarrollando ideas para tener mejores resultados.
- ◆ Capacidad de construcción de equipos de procesos.
- ◆ Realizar análisis químicos en muestras utilizadas en el proyecto.
- ◆ Interpretación de resultados en la caracterización fisicoquímica de las muestras

17 INDICE DE FIGURAS

Fig. 10.3 Producción de diferentes tipos de quesos en México (SAGARPA, 2015).

Fig. 10.2 Micela de caseína.

Fig. 10.3 Glóbulos de grasa de leche de vaca (vista microscópica). Esquema de la pared de un glóbulo graso.

Fig. 10.4 Proceso esquemático de la producción de leche y los productos que se obtiene.

Fig. 10.5 Tratamiento primario para las aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).

Fig. 10.6 Tratamiento secundario para aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).

Fig. 10.7 Tratamiento terciario para aguas aceitosas producidas en plantas petroquímicas, petroleras y químicas (Thanh, 2002).

Fig. 10.8 Esquema de separador API (API,1997)

Fig. 10.9 Esquema de un separador CPI (API, 1997).

Fig. 10.10 Tipos de DAF (Ortiz-Oliveros, 2002).

Fig. 10.11 Diagrama de sedimentador cilíndrico.

Fig. 10.12 Diagrama de sedimentador rectangular.

Figura 10.13 Partes básicas de un separador de hidrocarburos (Tecnofibersl, 2013).

Figura 10.14 Deshidratador Electrostático (Calle, L. A., 2004).

Figura 10.15 Separación por coalescencia (Ken Arnold, Maurice I. Stewart, Jr., 1999).

Figura 10.16 Vista lateral de un separador API (American Petroleum Institute, 2013).

Figura 10.17 Vista superior de un separador API (American Petroleum Institute, 2013).

Figura 10.18 Placas de coalescencia.

Figura 11.1 Recipiente rectangular.

Figura 11.2 Vista aérea de separador rectangular.

Figura 11.3 Vista lateral derecha del separador rectangular.

Figura 11.4 Recipientes circulares.

Figura 11.5 Vista lateral derecha del separador circular.

Figura 11.6 Vista superior de separador circular.

Figura 12.1 Método potenciométrico.

Figura 12.2 Determinación de la densidad (lactodensímetro).

Figura 12.3 Método Gerber (Grasas y aceites).

Figura 12.4 Método HACH 8000 (DQO).

Figura 13.1 Separador API rectangular en pruebas.

Figura 13.2 Separador API circular en tiempo de pruebas.

Figura 13.3 Comportamiento de pH en el efluente tratado.

Figura 13.4 Densidad de los efluentes despues de ser tratados.

Figura 13.5 Comportamiento de DQO en efluente tratado.

Figura 13.6 Comportamiento de GyA en efluentes tratados.

18 INDICE DE TABLAS

Tabla 10.4 Composición básica promedio de nutrientes en la leche.

Tabla 10.2 Clasificación de efluentes lácteos en diferentes procesos. (Aguilar,2014).

Tabla 10.3 Composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de quesos.

Tabla 10.4 Procesos de tratamientos para contaminantes específicos.

Tabla 10.5 Viabilidad económica de procesos de tratamiento.

Tabla 10.6 Muestreo en descargas no municipales.

Tabla 10.7 Numero e intervalo de muestras simples.

Tabla 10.8 Límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales.

Tabla 12.1 Caracterización fisicoquímica de lactosuero residual.

Tabla 13.1 Resultados obtenidos después del tratamiento para densidad.

Tabla 13.2 Resultados obtenidos después del tratamiento para Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 13.3 % de remoción de DQO en los tratamientos.

Tabla 13.4 Resultados obtenidos después del tratamiento para Grasas y Aceites.

Tabla13.5 Resultados obtenidos después del tratamiento para Grasas y Aceites.

19 LISTA DE ABREVIATURAS

API. Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute)

CPI. Interceptor de Placas Corrugadas (Corrugated Plate Interceptor)

DAF. Flotación por Aire Disuelto (Dissolved Air Flotation)

DQO. Demanda Química de Oxígeno

NOM. Norma Oficial Mexicana

LPM. Límite Máximo Permisible

20 GLOSARIO

Absorción. En química de coloides es el proceso mediante el cual, cuando dos fases entran en contacto, uno de los componentes pasa de una fase a la otra.

Aceite. Sustancia grasa, líquida a temperatura ordinaria, de mayor o menor viscosidad, no miscible con agua y de menor densidad que ella, se puede obtener sintéticamente.

Aditivo. Producto que se incorpora a la leche, previa a la coagulación, con objeto de corregir y mejorar las características de esta para la fabricación de quesos. Son aditivos el cloruro cálcico, nitratos sódico y potásico, colorantes y enzimas, entre otros.

Afinado. Se denomina afinado del queso a las transformaciones que tiene el queso en un periodo más o menos largo de almacenamiento en unas condiciones determinadas, necesarias para concluir la fabricación del queso.

Agua Clarificada. Agua que contiene materia particulada que fluye con lentitud a través de un tanque de sedimentación después de que las partículas más grandes se asienten en el fondo durante cierto tiempo.

Biodegradable. Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por medios biológicos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias.

Biomasa. La biomasa es un tipo de energía renovable generada a partir de la combustión de materia orgánica, la cual se origina a partir de diferentes procesos que suceden en el día a día.

Coagulación. La coagulación es el proceso que neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua. Como las partículas naturales son típicamente negativas, los coagulantes o productos químicos cargados positivamente se agregan al proceso para neutralizar la carga.

Coalescencia. Acción mediante la cual las partículas en suspensión, gotitas de una emulsión o de un metal se unen para formar gránulos o gotas mayores, respectivamente.

Densidad. Es una magnitud que nos indica la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

Determinación bioquímica. Es la determinación de la cantidad de un determinado componente químico o biológico en una sustancia.

Determinación fisicoquímica. Controles o análisis que determinan las propiedades físicas (densidad, punto crioscópico.) y químicas (pH, acidez, materia grasa) de la leche.

Drenaje. El sistema de drenaje consiste en una serie de redes de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir, conducir y evacuar las aguas residuales y los escurrimientos superficiales producidos por las lluvias.

Efluente. Todo residuo gaseoso, líquido, sólido o mezcla de ellos que fluye a un cuerpo receptor.

Filtración. Se emplea en el tratamiento del agua, la filtración se utiliza para eliminar el floculo biológico del efluente secundario decantado, precipitados obtenidos y sólidos que permanecen después de coagulación química de las aguas residuales en los procesos de tratamiento fisicoquímicos o tratamientos posteriores.

Floculación. Formación de aglomerados por unión de partículas en suspensión existentes en el seno del líquido, mediante la adición de un reactivo llamado floculante.

Flujo Laminar. Es el movimiento del fluido altamente ordenado y es posible identificar líneas de flujo a lo largo de las cuales parece moverse en láminas continuas.

Ingeniería Ambiental. Es el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para diseñar y construir sistemas y procesos para la producción de bienes y servicios que contribuyan a la racionalización y eficientización de las relaciones de intercambio de materia y energía que suceden entre la sociedad y la naturaleza.

Lactosa. Componente azucarado de la leche más abundante, el más simple y el más constante de proporción. Su función biológica como fuente de energía para las bacterias es lo más importante para la elaboración del queso ya que estas son la base para la transformación de la leche en queso.

Levadura. Son hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, principalmente los azúcares o hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias.

Lodos. Son sólidos con un contenido de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Oxidación. Reacción química que se produce cuando una sustancia entra en contacto con el oxígeno o cualquier otra sustancia oxidante. La herrumbre y el color marrón de una manzana cortada son ejemplos de oxidación.

Sedimentación. Es la operación unitaria mediante la cual se separa el fluido y los sólidos de una suspensión por gravedad, aprovechando la diferencia de densidad entre ambas fases.

21 BIBLIOGRAFIA

Aguilar, D. (2014). *Diseño de un sistema de flotación por Aire Disuelto (F.A.D) para mejorar la calidad del agua residual de la industria láctea El Ordeño y La Corpabe*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Aguinaga, S. (1996). *Manual De Procedimientos analíticos Para Aguas Y Efluentes*.

Aguirre-Ezkauriatza E.J., Ramírez-Medrano A., Aguilar-Yáñez J.M., Álvarez M.M. 2009. *Production of freeze dried protein and Lactobacillus casei probiotic biomass from goat milk whey*. Revista Mexicana de Ingeniería Química.

Aktaş N., Boyacı İ.H., Mutlu M., Tanyolaç A. 2006. *Optimization of lactose utilization in deproteinated whey by Kluyveromyces marxianus using response surface methodology (RSM)*. Bioresource Technology.

Calle, L. A., (2004). *Química y Características del Petróleo y Productos Básicos*. Quito. Institucional Universidad Central.

Altuntas E.G., Cosansu S., Ayhan K. 2010. *Some growth parameters and antimicrobial activity of a bacteriocin-producing strain Pediococcus acidilactici 13*. International Journal of Food Microbiology.

Blázquez, P., Montero, M.C. (2010). *Reutilización de agua en bahía blanca plata 3era cuenca*. Fecha de consulta: 23 de junio del 2012.

ATAS. (1986). *Principios para el diseño y la operación de plantas de tratamiento de aguas de refinerías de petróleo*. Asociación Técnica Alemana de Saneamiento, ATV (Abwasser Technische Vereinigung)

Celis, M., & Juárez, D. (2009). *Microbiología de la leche*. Universidad Tecnológica Nacional.

Cortés-Sánchez A., Valle-González E.R., Salazar-Flores R.D., Ashutosh S. 2015. *Biotechnological alternatives for the utilization of dairy industry waste products*. Advances in Bioscience and Biotechnology.

Dareioti M.A., Kornaros M. 2015. *Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time*. Bioresource Technology.

Demirbas A., 2010. *Biorefinery Technologies for Biomass Upgrading. Energy Sources*. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.

Figueroa-Rodríguez K.A., Figueroa-Sandoval B., Hernández-Rosas F. 2012. *Estudio exploratorio del nivel de producción e inocuidad en empresas lácteas del Estado de Veracruz, México*. Revista Científica, FCV-LUZ 22.

Hernández M. (2017). *Seguridad Alimentaria de México*. FAO.

Fuente: ibid. P. 18,22,23,27,29,30,31

Jiménez Idrovo, V. A. (2019). *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Residuales Para La Hilandería “Cabezas e Hijos”* Del. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jiménez, S. (2012). *Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial, doméstica y de servicios*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Jurado-Gámez H. Muñoz-Domínguez L. Quitiaquez-Montenegro D. Fajardo-Argoti C. Insuasty-Santacruz E. (2019). *Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras*. 66(1): 53-66.

Koytsoykos, A. (2009). *Oil refineries waste waters treatment*. Chemical and biochemical technology applications for wastes treatment and water – gases production machineries construction – complete plants installation.

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Tomo I y II. 3a edición. McGraw-Hill. México D.F.

Molero, M; Castro, G; Briñez, W. (2018). *Evaluación fisicoquímica del lactosuero obtenido de la producción de queso blanco aplicando un método artesanal*. Zulia, VE. Revista Científica, FCV-LUZ.

Ortiz-Oliveros, H. B. (2002). *TRATAMIENTO DE AGUAS OLEOSAS POR FLOTACIÓN* Universidad Autónoma del Estado de México.

Pacururu Reyes, A. R. (2011). *Plan de Manejo Ambiental para la industria Láctea “Productos San Salvador”*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Padín C.G., Díaz M.F. (2009). *Fermentación alcohólica del lactosuero por Kluyveromyces marxianus y solventes orgánicos como extractantes*. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología.

Parashar A., Jin Y., Mason B., Chae M., Bressler D.C. (2015). *Incorporation of whey permeate, a dairy effluent, in ethanol fermentation to provide a zero waste solution for the dairy industry*. Journal Dairy Science.

Perry, R. H. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana de España.

Prazeres A.R., Carvalho F., Rivas J. (2013). *Fenton-like application to pretreated cheese whey wastewater*. Journal of Environmental Management.

Prudêncio E.S., Müller C.M.O., Fritzen-Freire C.B., Amboni R.D.M.C., Petrus J.C.C. (2014). *Effect of whey nanofiltration process combined with diafiltration on the rheological and physicochemical properties of ricotta cheese*. Food Research International.

- Romero, J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*.
- SAGARPA. (2015). *Panorama de la lechería en México*. Boletín informativo.
- Sáenz-Roldan, L. F. (2013). *DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL EN LA PLANTA DE LÁCTEOS OASIS*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias: Vol. Bachelor.
- Thanh, P. (2002). *Oily wastewater treatment by membrane bioreactor process coupled with biological activated carbon process*. A thesis for the degree of master of engineering. Asian institute of technology school of environment, resource and development. Thailand.
- Vázquez S., Crosa M.J., Rey F., Lopretti M. (2009). *Viabilidad del uso de suero de quesería como base del medio de cultivo de la cepa nativa probiótica Lactobacillus paracasei HA9-2*. Revista LATU.
- Villena, L. (1995). *Contaminación De La Industria Láctea*. Insacan.
- Wolz M., Mersh E., Kulozik U. (2016). *Thermal aggregation of whey proteins under shear stress*. Food Hydrocolloids.
- Xinmin W., Ruili Z., Zhihua L., Yuanhong W., Tingfu J. (2008). *Determination of glucosamine and lactose in milk-based formulae by high-performance liquid chromatography*. Journal of Food Composition and Analysis 21: 225-258.
- Zamora-Carrillo, M., Santamaría-Días, E., Álvarez-Calvache, F., & Santamaría-Freire, E. (2015). *Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos*. Agroindustrial Science.
- Zhou F., Wu Z., Chen C., Han J., Ai L., Guo B. (2014). *Exopolysaccharides produced by Rhizobium radiobacter S10 in whey and their rheological properties*. Food Hydrocolloids.
- Zorrilla, P. (2018). *Planta Procesadora de Lácteos*. In Concebir (Vol. 01, Issue 01).

