



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

SEPARACIÓN DE GRASA DEL AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS

Paulina Maldonado Abascal

Asesorada por el Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SEPARACIÓN DE GRASA DEL AGUA RESIDUAL DE UNA
INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

PAULINA MALDONADO ABASCAL
ASESORADA POR EL ING. RENATO GIOVANNI PONCIANO
SANDOVAL
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely De León Arana
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SEPARACIÓN DE GRASA DEL AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 16 de agosto de 2007.

Paulina Maldonado Abascal

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por haberme permitido culminar este trabajo, dándome la fuerza y el entendimiento necesario.

MIS PADRES

Por ser mí ejemplo a seguir.

MI FAMILIA

A quienes agradezco su apoyo.

DEDICATORIA:

A MIS COMPAÑEROS ESTUDIANTES

Para que con esfuerzo y perseverancia culminen sus estudios colaborando al desarrollo de nuestra Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Industria láctea	1
1.1.1 Leche como alimento	1
1.1.2 Productos lácteos	2
1.2 Lípidos en la leche	4
1.3 Lacto Suero	5
1.3.1 Alternativas de uso del Lacto Suero	6
1.4 Planta de tratamiento de aguas residuales	7
1.4.1 Tratamiento Primario	8
1.4.2 Coagulación Floculación	9
1.4.3 Tratamiento Secundario	10
1.4.4 Tratamiento Terciario	10
1.4.5 Tratamiento de Lodos	11
2. MARCO METODOLÓGICO	13
2.1 Proceso de Saponificación	15
2.1.1 Descripción de Materiales	16
2.1.2 Descripción del Proceso	17

2.2	Proceso de Coagulación Floculación	17
2.2.1	Descripción de Materiales	18
2.2.2	Descripción del Proceso	18
2.3	Proceso de Separación de Grasa en Suspensión	19
2.3.1	Descripción de Materiales	20
2.3.2	Descripción del Proceso	21
3.	RESULTADOS	23
3.1	Proceso de Saponificación	23
3.2	Proceso de Coagulación Floculación	24
3.3	Proceso de Separación de Grasa en Suspensión	25
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
4.1	Proceso de Saponificación	27
4.2	Proceso de Coagulación Floculación	28
4.3	Proceso de Separación de Grasa en Suspensión	28
	CONCLUSIONES	31
	RECOMENDACIONES	33
	BIBLIOGRAFÍA	35
	APÉNDICE I	37
	APÉNDICE II	43
	APÉNDICE III	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama planta de tratamiento de aguas residuales	14
2	Resultados fase de servicio técnico	25
3	Pérdida de la humedad con diferentes concentraciones de salmuera	45
4	Reducción de la humedad utilizando salmueras	46
5	Pérdida de humedad en función del tiempo de reposo	47
6	Humedad en función del tiempo de reposo	48
7	Reducción de la humedad en función del tiempo de reposo	49
8	Reducción de la humedad con tratamientos térmicos	50
9	Reducción de la humedad utilizando métodos combinados	51

TABLAS

I	Contenido de lípidos en leche de vaca	4
II	Composición del lacto suero y de la leche	6
III	Pruebas de saponificación punto A	23
IV	Pruebas de saponificación punto B	24
V	Asignación de puntaje a las muestras	24
VI	Separación de la grasa con sulfato de aluminio	25
VII	Pruebas de saponificación, punto A	37
VIII	Pruebas de saponificación, punto A	37
IX	Pruebas de saponificación, punto A	38

X	Pruebas de saponificación, punto B	38
XI	Pruebas de saponificación, punto B	39
XII	Pruebas de saponificación, punto B	39
XIII	Pruebas de saponificación, punto B	40
XIV	Pruebas de saponificación, punto B	40
XV	Pruebas de saponificación, punto B	41
XVI	Pruebas con coagulantes, punto A	43
XVII	Pruebas con coagulantes, punto A	43
XVIII	Pruebas con coagulantes, punto A	44
XIX	Pruebas con coagulantes, punto A	44
XX	Pruebas con coagulantes, punto A	44
XXI	Separación de suspensión con salmuera, punto B	45
XXII	Separación de suspensión con salmuera, punto B	46
XXIII	Separación de suspensión con salmuera, punto B	47
XXIV	Separación de suspensión con salmuera, punto B	48
XXV	Separación de suspensión con tratamiento térmico, punto B	49
XXVI	Separación de suspensión. Pruebas con calenamiento filtrado con tratamiento térmico, punto B	50
XXVII	Separación de suspensión. Pruebas con métodos combinados, punto B	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Calentamiento
F	Filtrado
Δ/F	Calentamiento y filtrado
mL	Mililitros
pH	Concentración de hidrógenos
ppm	Partes por millón
%	Porcentajes
UHT	Ultra High Temperature, por sus siglas en inglés
h	Horas
RCOOH	Rama independiente de ácido graso

GLOSARIO

Ácido carboxílico	Compuesto orgánico de fórmula general RCOOH, también llamado ácido graso, por encontrarse naturalmente en las grasas y aceites.
Álcali	Término utilizado para referirse a las bases solubles en agua.
Coagulación	Se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.
Coagulantes	Son electrolitos simples, generalmente una sal inorgánica que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio, también puede ser un ácido inorgánico o una base, se caracterizan por promover la coagulación de partículas en suspensión.
Coloide	En química, coloides o suspensión coloidal, se refiere a un sistema de dos fases, una continua y una dispersa en forma de partículas microscópicas.
Electrolito	Compuesto que conduce la corriente eléctrica al disociarse en agua y formar iones.
Emulsión	Dispersión coloidal de un líquido en otro.

Emulsificante	Sustancia que ayuda a formar una emulsión.
Floculación	Proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, aglutinándose y formando pequeñas masas de modo de facilitar la sedimentación o flotación, según su densidad.
Grasa o Lípidos	Biomoléculas orgánicas compuestas principalmente por carbono e hidrógeno. Generalmente contienen oxígeno en menor proporción, así como nitrógeno y azufre entre otros.
Glicerina o Glicerol	Nombre común que se le da al 1,2,3-propanotriol, es un líquido incoloro que se obtiene como producto secundario en la elaboración de jabón (saponificación).
Humedad	Contenido de agua dentro de un sólido.
Jabón	Sal sódica o potásica de los ácidos grasos que se obtiene como producto de la hidrólisis de un éster con un hidróxido.
Oxidación	Reacción química donde un compuesto cede electrones, generalmente, mediante la adquisición de un átomo de oxígeno.
Rancidez Oxidativa	Deterioro o descomposición de una sustancia orgánica que se oxida.

Saponificación	En química, término utilizado para distinguir la reacción entre un ácido graso o un lípido portador de ácidos grasos y un álcali o base, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido llamada jabón.
Soda cáustica	Nombre común para el hidróxido de sodio.
Sulfato	
de aluminio	Sal de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, utilizada como coagulante en procesos de tratamiento de aguas residuales.
Triglicérido	Lípido formado por un una molécula de glicerol, que tiene esterificadas sus tres grupos de hidroxilos por tres ácidos grasos.

RESUMEN

El presente estudio se enfoca en la separación de la grasa, en una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de una industria de productos lácteos, con el objetivo de encontrar una solución al problema de acumulación de grasa residual en dicha planta.

Se seleccionaron dos puntos estratégicos de muestreo en función de las características físicas que la grasa presentaba, así como del volumen acumulado de la misma. De esta manera, se trabajaron dos grupos de grasa distintos, el primer grupo en estado sólido, extrayendo la grasa del primer tanque o trampa de grasa, y el segundo, como un líquido denso, acumulándose en el tercer tanque de la planta, también llamado separador de flotantes, ver Diagrama pg.11.

En la primera etapa del estudio se realizaron pruebas de saponificación con el objeto de obtener información acerca de la naturaleza de la grasa, así como de explorar la posibilidad de aprovechar dicha grasa en la elaboración de jabón. La segunda etapa consistió en determinar cuáles métodos eran los más adecuados en la separación de la grasa en una planta de tratamiento de aguas residuales. Con el primer grupo se utilizaron coagulantes químicos para promover una mejor separación, en la primera etapa del proceso. Con el segundo grupo se emplearon salmueras, filtrado y calentamiento, para separar la suspensión y así mejorar la calidad de la grasa residual. Los resultados obtenidos a través del estudio demuestran que es posible obtener jabón a partir de la grasa residual extraída del primer tanque del proceso.

Sin embargo, no fue posible la elaboración de jabón a partir de la grasa extraída del tercer tanque ya que se trataba de una suspensión de grasa en agua. En cuanto a la utilización de sulfato de aluminio como coagulante, se obtuvo el mejor rendimiento con un pH de 7.51 a una concentración de 50 ppm. Finalmente, se determinó que no es posible separar la suspensión utilizando salmueras concentradas ni mediante tratamientos térmicos.

OBJETIVOS

- **General:**

Solucionar un problema de acumulación de grasa en una planta tratadora de aguas residuales provenientes de una industria láctea, mediante la separación de la misma.

- **Específicos:**

1. Determinar la tasa de acumulación de grasa en los tanques afectados, así como indagar acerca de las características fisicoquímicas de dicha materia residual.
2. Evaluar y comparar diferentes métodos de separación de la grasa residual en función de las características que está presente.
3. Presentar a gerencia y a mandos medios los resultados obtenidos a partir de la fase de investigación y de servicio técnico profesional.

INTRODUCCIÓN

En todo proceso industrial se convierte materia prima en productos útiles para la sociedad, mediante cambios físicos y químicos a los materiales. A lo largo del proceso de transformación de la materia prima se generan residuos o subproductos, no siempre deseados y rara vez amigables con el ambiente. En años anteriores, una práctica común era desechar dichos residuos a desagües o bien, a los ríos, lagos y océanos, sin darles ningún tratamiento. Actualmente se conocen los severos daños que esta práctica causa al medio ambiente y a los ecosistemas, así como al mismo ser humano. Por ello, se han creado nuevas leyes estatales e internacionales, las cuales promueven la conservación del medio ambiente. En Guatemala, el 12 de mayo del 2006, entró en vigencia el Acuerdo Gubernativo número 236-2006, acerca de las descargas y reusos de aguas residuales. En éste se prohíbe a cualquier persona individual o jurídica, pública o privada, descargar aguas residuales o lodos, en cualquier área donde se ponga en riesgo la biodiversidad, la salud o la seguridad humana.

Por lo anterior, el sector industrial se ha visto en la necesidad de implementar sistemas depuradores de emisiones y efluentes. En cuanto a efluentes líquidos, una de las opciones más viables es la utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que los procesos son muy versátiles, variando según el tipo de contaminación que se produzca. Sin embargo, con estos cambios, se han presentado situaciones problemáticas debido a la instalación de procedimientos ajenos a los propios de cada empresa.

En el caso particular de una industria de productos lácteos que cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, se observó una acumulación excesiva de grasa en los tanques, la cual imposibilita su funcionamiento. El objetivo de la presente investigación es, mediante la separación de la grasa residual, encontrar una solución al problema evidenciado. La planta de tratamiento de aguas residuales esta compuesta por tres tanques que cumplen las siguientes funciones. El primer tanque funge como trampa de grasa y aceites, en el segundo tanque ocurre la biodigestión aeróbica y el tercer tanque sirve como decantador de la grasa residual desemulsionada. La planta también cuenta con una laguna artificial que brinda un tratamiento final al agua.

Para cumplir con los objetivos establecidos, en la fase de investigación se realizaron pruebas de saponificación a la grasa residual recuperada de dos tanques distintos. Con ello se pretende obtener información acerca del grado de deterioro, así como de ciertas propiedades de la grasa y la viabilidad de la utilización de este material en la elaboración de jabón.

Con base a los resultados obtenidos en la fase de investigación, la fase de servicio técnico busca mejorar la separación de la grasa en suspensión, en la primera etapa del tratamiento, así como en el tercer tanque. La separación de la grasa, en el primer tanque, se optimizó mediante la aplicación de coagulantes químicos. En el tercer tanque se aplicaron salmueras y tratamientos térmicos para separar las dos fases.

Finalmente, en la fase de docencia, se presentaron los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones de la investigación, a personas dentro de la empresa interesadas en el tema.

Así mismo, se realizó un manual para la elaboración de jabón a partir de la grasa residual extraída del primer tanque.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Industria láctea

La leche fue considerada por la humanidad, un importante alimento desde épocas muy remotas. A lo largo de la historia, diferentes culturas han utilizado la leche dándole diversos usos, ya sean alimenticios o medicinales. Sin embargo, en otras épocas su producción y consumo era restringida debido a que únicamente podía ser conservada por unas horas. Esto provocó el desarrollo de nuevos métodos para conservar el valor nutricional del alimento por más tiempo, así surge la elaboración de quesos, vinos y conservas.

Actualmente, y gracias a los avances tecnológicos, la industria láctea ha crecido considerablemente. En cuanto a nutrición, es una de las industrias más importante a nivel mundial, ya que la leche está compuesta por más de cien sustancias dispersas en el medio. Entre los diferentes componentes se encuentran proteínas, grasas, carbohidratos, así como vitaminas y minerales esenciales. Por ello, la leche fue nombrada, por organismos internacionales, como alimento indispensable para la nutrición humana, especialmente para los niños.

1.1.1 Leche como alimento

La leche destinada para el consumo se puede clasificar en leche cruda, leche tratada térmicamente y leche en polvo. Se le llama leche cruda al producto fresco sin recibir ningún tratamiento. La leche tratada

térmicamente pasa por una serie de cambios térmicos que permiten conservar el alimento libre de contaminaciones antes de su consumo.

Existen diferentes tratamientos dependiendo de los tiempos y temperaturas a las que se somete la leche. De esta manera, se tiene leche pasteurizada, la pasteurización es un proceso térmico al cual se someten los líquidos con la finalidad de reducir los contaminantes, leche esterilizada y leche UHT, Ultra High Temperatura, por sus siglas en inglés. Todos son procedimientos que buscan la estabilidad térmica y la destrucción de microorganismos patógenos.

La leche en polvo se obtiene a partir de la deshidratación de la leche entera o desnatada, proceso equivalente al tratamiento de pasteurización. La leche fermentada, como el yogurt, es otra forma de consumir y aprovechar los nutrientes de la leche. Se obtiene por la acción de bacterias lácticas, el ácido láctico que éstas producen coagula y espesa la leche concediéndole un sabor ácido muy peculiar. La fermentación se detiene mediante refrigeración del producto.

1.1.2 Productos lácteos

Según Veisseyre (1988.214), a partir de la leche se elabora una gran cantidad de productos derivados como los quesos en sus diferentes presentaciones, desde frescos hasta añejados; cremas, mantequilla, nata, helados, dulces, yogurt, leche en polvo o fluida, etc.

En su transformación, la leche debe pasar por una serie de tratamientos y procesos térmicos, químicos y biológicos, los cuales conservan el alimento y lo vuelven apto para el consumo humano. Desde el momento en que la leche es ordeñada y recolectada, debe cumplir con estrictas normas de higiene y calidad.

Si las características de la leche cumplen con las normas establecidas, la leche continúa las siguientes etapas para su transformación y posterior comercialización. Inicialmente, la leche es homogenizada y pasteurizada. La modalidad de pasteurización a utilizar, depende del uso que se le vaya a dar a la misma, ya que algunos productos requieren de actividad microbiana para su elaboración.

En la fabricación de quesos, la leche pasteurizada es vertida en tinas largas de acero inoxidable, donde se agrega el cultivo, un caldo compuesto por bacterias fermentadoras que producen ácido láctico, y el cuajo para promover el aglutinamiento de las proteínas y separación del suero. El cuajo es una enzima llamada quimosina extraída originalmente del estomago de los rumiantes. Luego, el queso es moldeado y prensado para conservar la forma y perder el suero sobrante.

A diferencia de los quesos, en la elaboración de nata, crema, y mantequilla, la leche pasteurizada es desnatada. Éstas son elaboradas a partir de la nata, y según el producto a obtener es la concentración de grasa en la nata. Esta concentración se obtiene por medio de separación de la grasa por centrifugación. A su vez, la mantequilla, que debe tener un 80% de grasa y como máximo un 20% de humedad, se obtiene con la ayuda de cultivos bacterianos y mediante el batido de la nata espesa con cambios bruscos de temperatura. De esta forma los glóbulos de grasa se agrupan rompiendo la emulsión y separándose del suero sobrante.

Así como el queso, la crema y la mantequilla existen diferentes productos elaborados a partir de la leche. La mayoría de los procesos son similares, cuentan con acción bacteriana, térmica o ambas, y se obtiene como subproducto, únicamente, suero láctico.

1.2 Lípidos en la leche

Los lípidos de la leche provienen de la sangre de la vaca, así como de la síntesis en las glándulas mamarias. Con un aporte de 35-40 gramos por litro de leche, son una fuente de energía, nutrientes, ácidos grasos y vitaminas liposolubles. La composición de los lípidos en la leche es compleja y varía según la especie de animal, la alimentación, estación del año, así como locación.

En general, se puede hacer la siguiente distribución:

Tabla I. Contenido de lípidos en la leche de vaca

Triglicéridos	94 - 97 %
Monoglicéridos	0.7 - 1.0 %
Diglicéridos	0.5 - 0.8 %
Ácidos grasos libres	0.2 - 0.4 %
Fosfolípidos	0.8 - 1.6 %
Colesterol	0.02 - 0.2 %
Vitaminas liposolubles	0.6 - 1.0 %
Pigmentos	0.1 - 0.4 %
Aldehídos, cetonas, lactosas	0.08 - 0.6 %

Fuente: Veisseyre, R. Lactología Técnica composición, recogida, tratamiento y transformación de la leche. Pag. 226.

Los triglicéridos, que conforman la mayor proporción de lípidos en la leche, son los responsables de las propiedades nutricionales y tecnológicas de la grasa. Éstos, condicionados por la composición y disposición de los ácidos grasos que los conforman. Los ácidos grasos que se encuentran en la leche, en triglicéridos, monoglicéridos, diglicéridos y en forma libre, son generalmente de número par de átomos de carbono, y de cadenas no ramificadas. Un 65% son ácidos grasos saturados, dejando así, un 35% de ácidos grasos insaturados. Otros compuestos lípidos que conforman la leche, en menores cantidades, son algunos hidrocarburos, fosfolípidos,

colesterol, tocoferoles, así como algunas vitaminas liposolubles como la vitamina A, D, K, E.

Algunas reacciones que se llevan a cabo en la grasa son:

Lipólisis: La lipólisis es una reacción enzimática de los triglicéridos, en la cual se liberan ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, así como glicerol, se relaciona con el enranciamiento u rancidez oxidativa. Esta reacción es producida por una enzima nativa de la leche de origen bacteriano llamada Lipasa. Dicha enzima se inactiva con tratamientos térmicos, pasteurización.

Autooxidación de los lípidos: Una reacción de oxidación de los ácidos grasos libres, en donde se liberan una gran cantidad de compuestos como, aromáticos, aldehídos y cetonas, con los cuales se alteran las propiedades organolépticas de la leche y sus derivados. La autooxidación de los lípidos es promovida por la exposición a luz, temperaturas altas, oxígeno y pH bajos.

1.3 Lacto suero

El suero láctico, o lacto suero, es un líquido que se obtiene como subproducto de la elaboración de los quesos y otros productos lácteos. Constituye entre el 80% - 90% del volumen de la leche original, contiene la mitad de los sólidos y aproximadamente el 55% de las sales y minerales, como se muestra en la Tabla II.

En muchas industrias lácteas se aprovecha el alto contenido en proteínas residuales en el suero elaborando requesón o queso ricotta. Sin embargo, aún después de haber elaborado este último queso, el suero sigue siendo alto en nutrientes. De esta forma, muchas empresas elaboran

refrescos para el consumo humano a partir del suero o lo venden como alimento para animales.

Tabla II. Composición del lacto suero y de la leche (%)

COMPONENTES	LACTO SUERO	LECHE ENTERA
Sólidos totales	6.4-6.5	12
Agua	93.6	88
Grasa	0.05	3.4
Proteínas	0.55	3.2
Lactosa	4.8	4.7
Sales Minerales	0.5-0.8	0.72

Fuente: Veisseyre, R. Lactología Técnica Composición, recogida, tratamiento y transformación de la leche. Pág. 356.

1.3.1 Alternativas de uso del lacto suero

Dependiendo de la capacidad de la planta y por consiguiente, del volumen de suero producido, existen diferentes usos que se le pueden dar como materia prima. En pequeñas industrias, el suero usualmente se da como alimento para animales principalmente porque 12 kg de suero equivalen a 1 kg de cebada. Igualmente factible resulta la elaboración de refrescos para el consumo humano ya que no se requiere maquinaria sofisticada.

Por otra parte, si se manejan volúmenes elevados de lacto suero, la separación de sus componentes como las proteínas y la lactosa, resulta una alternativa factible y remunerable. Otra posibilidad que se está explorando en la actualidad, es la producción de etanol y ácido láctico a partir de la fermentación del lacto suero, así como de metano, por medio de una digestión anaeróbica.

Con estos procedimientos muchas veces se obtiene un beneficio económico y a su vez, se reduce el potencial contaminante del lacto suero. Debido a que la producción de suero puede llegar a ser hasta nueve veces

la cantidad del queso fabricado, su aporte a las aguas residuales de la empresa resulta de gran importancia, no solo por el volumen que éste representa, si no también por la alta concentración de materia orgánica.

1.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales

Así como la industria láctea, la mayoría de las actividades industriales generan aguas residuales como resultado de sus procesos. Sin embargo, las composiciones del agua residual proveniente de las industrias lácteas son muy diversa.

En las plantas de lácteos se empaca una gran variedad de productos y se realizan diversos procesos, por ello las características fisicoquímicas de las aguas residuales varían considerablemente. Los efluentes están compuestos por residuos de producto, derrames de leche, aguas de enfriamiento y condensación, suero láctico y detergentes o agentes limpiadores. La mayoría de los componentes orgánicos son, por lo general, grasas, proteínas, lactosa y ácido láctico. Debido a la gran variedad de compuestos, la UNEP (2000.167) considera que los sistemas depuradores de aguas residuales en la industria láctea deben de cumplir ciertos requisitos indispensables, algunos de ellos aplicables en otras industrias.

- El método debe proveer suficiente eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable, amonio, compuestos nitrogenados, sólidos en suspensión, fosfatos, etc.
- El sistema debe ser estable frente a las interrupciones en el abastecimiento de energía, picos de carga, interrupciones en la alimentación y/o compuestos tóxicos.
- Debe permitir hacer ampliaciones conforme vaya creciendo el proceso productivo que le da origen.

- No debe depender de suministros provenientes del exterior.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales representan una solución para diferentes industrias debido a su versatilidad. Dichas plantas están compuestas por un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen la función de remover impurezas y contaminantes no deseados del agua, para que pueda reutilizarse, o bien, devolverse al ambiente sin causar daños.

Las etapas por las que se hace pasar el agua residual se dividen en tratamiento primario, secundario y terciario. La información que sigue ha sido obtenida de Corbitt (1990.231-246).

1.4.1. Tratamiento primario

El tratamiento primario consiste en la remoción de sólidos gruesos, grasas, aceites y arenas presentes en el agua en suspensión o flotación. Esto se realiza mediante filtración y desbaste del afluente para remover todos los objetos extraños que puedan dañar el equipo.

La remoción de grasas y aceites generalmente se lleva a cabo en trampas de grasa, mediante flotación por densidad o arrastre con aire. Las arenas y partículas coloidales se eliminan mediante sedimentación. Dependiendo de las características del agua residual, la sedimentación puede ser natural, cuando se trata de sólidos en suspensión, o forzada cuando se trata de soluciones coloidales. En ésta última se utiliza un proceso conocido como coagulación-floculación, el cual tiene por objeto agrupar estas partículas coloidales.

1.4.2 Coagulación floculación

Como se mencionó anteriormente, las aguas residuales contienen sustancias, tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas como inorgánicas. Dichas sustancias son de diversos tamaños y densidades, de tal forma que, las sustancias de mayor tamaño pueden eliminarse por sedimentación. Sin embargo, algunas partículas no sedimentan por tener un tamaño tan pequeño, así como carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y formación de una partícula más pesada para poder así sedimentar. Estas partículas llamadas coloides o partículas coloidales, tienen un diámetro comprendido entre 1 μm y 0.2 μm .

Las soluciones coloidales son estables al predominar los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Los factores estabilizantes son aquellas fuerzas que provocan repulsión entre las partículas, como las fuerzas eléctricas y la propia hidratación. Los factores desestabilizantes son, por el contrario, las fuerzas de atracción que pueden dar lugar a la unión y aglomeración de las partículas. Entre ellas, se puede mencionar el movimiento Browniano, las fuerzas de Van der Waals y, en menor escala, la fuerza de gravedad.

El proceso de coagulación es el proceso de desestabilización de las partículas coloidales, con el objeto de neutralizar o desestabilizar las fuerzas de repulsión. A continuación ocurre el proceso de floculación, mediante el cual, las partículas se unen formando agregados o flóculos. En los procesos de tratamiento de aguas, la coagulación y floculación, tienen por objeto, desestabilizar y aglomerar las partículas coloidales dispersas en el agua, volviéndolas así, más voluminosas y pesadas para que puedan ser separadas posteriormente.

1.4.3 Tratamiento secundario

Cuando el agua pasa al tratamiento secundario, se busca remover impurezas disueltas en el agua mediante la acción bacteriana. Esto se lleva a cabo en grandes tanques con agitación y oxigenación, en donde las bacterias digieren la materia orgánica contenida en el agua.

Los tratamientos biológicos o secundarios, se dividen en tratamiento de biomasa suspendida y en tratamiento de biomasa fija. El funcionamiento es el mismo, con la única diferencia que en el primero las bacterias se encuentran en suspensión en el medio, mientras que en el segundo, la biomasa se encuentra fija en un material de soporte en contacto con el agua y la contaminación orgánica. Sin importar la modalidad utilizada, siempre ocurre la formación de flóculos y lodos, por ello el paso final en el tratamiento secundario es la sedimentación secundaria para producir un efluente de agua con bajos niveles de materia orgánica en suspensión.

1.4.4 Tratamiento terciario

Con el tratamiento terciario se da un último refinamiento al efluente con el objetivo de mejorar la calidad del agua para cumplir con los parámetros establecidos. Dependiendo de las características deseadas es posible utilizar varios tratamientos terciarios, dentro de los que se puede mencionar el lagunaje, la desinfección, tierras húmedas, entre otros.

1.4.5 Tratamiento de lodos

Los lodos, fangos, arenas y sólidos extraídos del tratamiento primario y secundario deben tratarse y disponerse de forma segura. Generalmente esta materia tiene un alto contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas potencialmente dañinas para la salud. El objetivo es reducir la cantidad de sustancias y microorganismos, presentes en los lodos, que puedan causar enfermedades. Algunos métodos son el compostaje, abonamiento y depolimerización, así como la descomposición bacteriana anaeróbica y aeróbica.

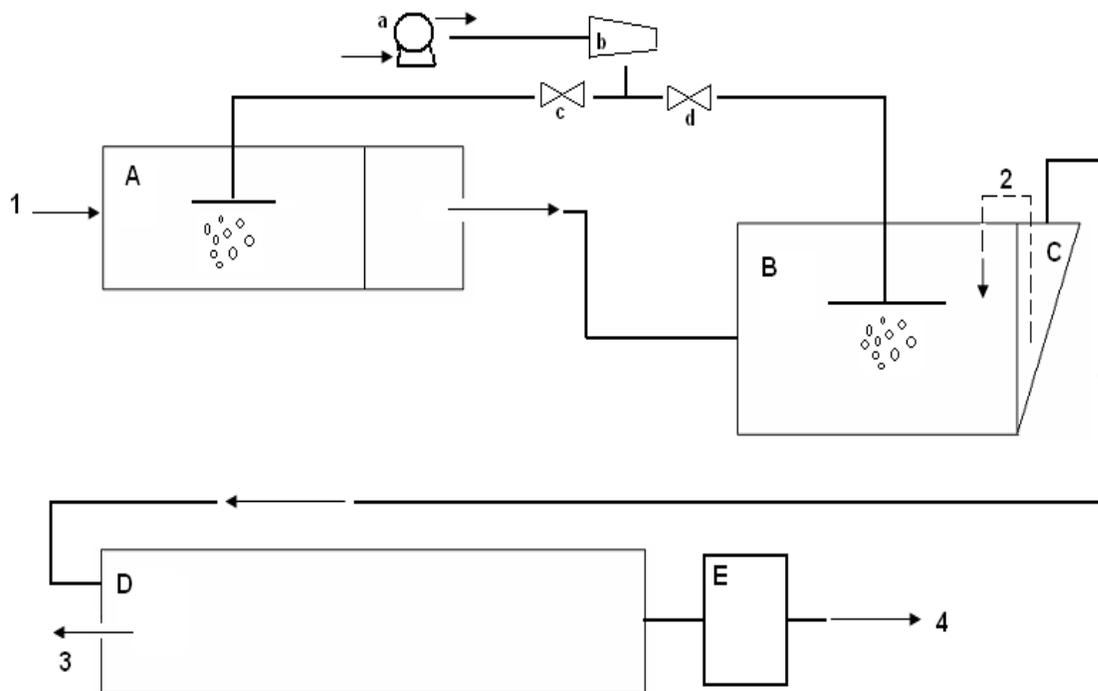
En general, se puede describir una planta de tratamiento de aguas como un conjunto de etapas o niveles de tratamiento, los cuales pueden variar o modificarse según las necesidades de la industria generadora del efluente contaminante. De esta manera se tiene tratamiento primario, secundario o biológico y terciario, así como pre-tratamientos, tratamiento de lodos y tratamientos en el cuerpo receptor. Todo lo anterior en función de las características finales deseadas y del uso que se le vaya a dar al agua tratada.

2. MARCO METODOLÓGICO

Se seleccionaron dos puntos críticos de muestreo en función de las características observadas en la grasa acumulada. El primer punto, denominado Punto A, funge como la trampa de grasa. El segundo punto, denominado Punto B, funge como separador de flotantes.

Las muestras obtenidas fueron preparadas por separado, sin embargo, el tratamiento que recibieron fue el mismo. Inicialmente fue removida la mayor cantidad de agua por decantación. Seguidamente se trataron las muestras procurando eliminar la mayor cantidad de material indeseable. Para ello, las muestras se calentaron con el objetivo de reducir la viscosidad y facilitar el proceso de filtración. Finalmente, las muestras se dejaron en reposo por 24 hrs. para favorecer la separación de agua sobrante, e impurezas.

Figura 1. Diagrama de planta de tratamiento de aguas residuales



LISTADO DE EQUIPO

- a. Motor eléctrico
- b. Compresor de aire
- c. Válvula núm. 1
- d. Válvula núm. 2

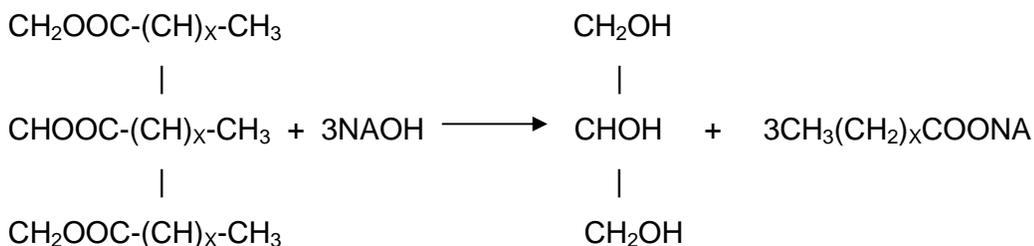
SIMBOLOGÍA

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 Entrada de afluente | A Trampa de grasa | D Separador de flotantes |
| 2 Recirculación de sedimento | B Biodigestor | E Laguna artificial |
| 3 Salida de materia flotante | C Sedimentador | |
| 4 Salida del efluente | | |

2.1 Proceso de saponificación:

En química, el término saponificación es utilizado para distinguir la reacción entre un ácido graso o un lípido portador de ácidos grasos y un álcali o base, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido llamada jabón. En general, la reacción de saponificación es aplicable a cualquier reacción de hidrólisis alcalina de un éster. Usualmente, la grasa utilizada para saponificación proporciona una mezcla de cuatro o más ácidos grasos con puntos de ebullición elevados y cercanos entre sí. La reacción de saponificación puede representarse esquemáticamente, por medio de las siguientes ecuaciones:

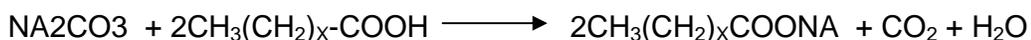
1) Saponificación de triglicéridos por la acción de hidróxido de sodio:



2) Saponificación de ácidos grasos libres por la acción de hidróxido de sodio:



3) Saponificación de ácidos grasos libres por la acción de carbonato de sodio:



2.1.1 Descripción de materiales:

Lípidos o grasas

Los lípidos son sustancias con alto contenido de ácidos grasos. En la naturaleza, los lípidos que se encuentran, son los aceites y las grasas, se diferencian principalmente en que, a temperatura ambiente, los aceites son líquidos y las grasas son sólidas. Generalmente, los aceites provienen del reino vegetal y las grasas, del reino animal, por ende, en el presente estudio se trabajaron con lípidos o grasas del reino animal. El jabón obtenido a partir de dicha grasa se caracteriza por su dureza, para ablandar el producto se utilizan proporciones de grasa y aceite como materia prima.

Soda cáustica

La función principal de éste álcali, es neutralizar los ácidos grasos contenidos en los lípidos, para la formación de la sal respectiva, es decir, el jabón. Se emplea en solución, siendo ésta, un líquido grisáceo cristalino, viscoso y altamente corrosivo.

Sal

Se utiliza sal o cloruro de sodio para precipitar el jabón de su solución o lejía. Esto se debe a la insolubilidad del jabón en salmueras o soluciones acuosas de sal.

2.1.2 Descripción del proceso

Los dos procesos básicos para producir jabón se describen a continuación:

1. Saponificación de grasas y ácidos neutros

Este es el método más utilizado no solo por ser el más antiguo y conocido, sino también porque el equipo requerido para obtener un jabón de buena calidad, es relativamente sencillo y de bajo costo.

2. Neutralización de ácidos grasos

La producción y manipulación de ácidos grasos requiere materiales resistentes, éstos suelen ser más caros y difíciles de conseguir. Existe poca diferencia entre los jabones hechos de grasa y aceites neutros y los procedentes de ácidos grasos, la elección del método depende de las materias primas y de los factores económicos.

El presente estudio considera la fabricación de jabón a partir del proceso de saponificación de grasas y ácidos neutros.

2.2 Proceso de coagulación-floculación

La coagulación y posterior floculación son métodos ampliamente utilizados en el tratamiento y potabilización del agua. La desestabilización o neutralización de las cargas eléctricas de los coloides se realiza aplicando al agua determinadas cantidades de coagulante (como el sulfato de aluminio, sulfato férrico, polímeros inorgánicos y polímeros naturales). Los coagulantes son sustancias químicas que se adicionan al agua para fomentar la formación de flóculos, mediante la neutralización de las cargas

superficiales de los coloides presentes. Generalmente, se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio neutralizan las cargas eléctricas negativas que rodean las partículas.

2.2.1 Descripción de materiales

Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más utilizados desde años anteriores, su eficiencia y dosificación se encuentran en función de variables como la naturaleza de las aguas residuales y sus características fisicoquímicas. Sin embargo, el pH es la variable más importante a considerar ya que afecta directamente la eficiencia del proceso.

Cal

La cal muerta o apagada es el hidróxido de calcio, un compuesto obtenido al reaccionar óxido de calcio y agua. Es un cristal incoloro o polvo blanco, en solución es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales.

2.2.2 Descripción del proceso

La coagulación se consigue mediante una difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua empleando medios de agitación rápida. Tras la neutralización de las partículas coloidales, las partículas se encuentran en disposición de aglomerarse. Esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudada ahora por una agitación lenta, es el objetivo de la floculación. La floculación está relacionada con los fenómenos

de transporte de las partículas dentro del líquido, que son los que ocasionan el contacto y colisión de las partículas coaguladas.

La coagulación y floculación tienen lugar en etapas sucesivas, de tal forma que, una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, hasta formar mayores flóculos. En la eficiencia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características fisicoquímicas del agua, así como una adecuada energía de agitación, para conseguir una dispersión completa del coagulante. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la ruptura de los flóculos ya formados.

2.3 Proceso de separación de grasa en suspensión:

Las suspensiones de grasa en agua poseen energía interfacial, por esto, son termodinámicamente inestables. La separación de la suspensión depende de ciertos factores, como lo son: la película interfacial, la viscosidad de la fase continua, el tamaño de la gota de aceite en suspensión y la edad.

Película interfacial

Las gotas dispersas están en constante movimiento, colisionando frecuentemente, por ello una película interfacial fuerte evita la coalescencia de estas gotas.

Viscosidad de la fase continua

Una viscosidad alta en la fase externa disminuye el coeficiente de difusión y la frecuencia de colisión de las gotas, por lo que se incrementa la estabilidad de la suspensión.

Tamaño de la gota

En general, gotas pequeñas estabilizan la suspensión, porque las gotas grandes tienden a atraer gotas pequeñas. Una gran distribución de tamaños de partículas produce una suspensión menos estable que una distribución uniforme de tamaño de gota.

La edad

La edad incrementa la estabilidad ya que permite que la interfase llegue a ser más gruesa, más fuerte y más dura.

2.3.1 Descripción de materiales

Salmueras

La concentración de la salmuera es un factor importante en la formación de suspensiones estables. Agua fresca o salmueras con baja concentración de sal, favorecen la estabilidad. Por el contrario, altas concentraciones de sal provocan pérdida en la estabilidad de la suspensión.

Tratamiento térmico

Usualmente, la temperatura tiene un efecto muy fuerte en la estabilidad de la suspensión de grasa en agua. Al incrementar la temperatura se incrementa la difusión de las gotas, decrece la viscosidad de la fase externa, disminuye la película interfacial y se modifica la tensión superficial. Todos estos cambios disminuyen la estabilidad y ayudan a separar las fases.

2.3.2 Descripción del proceso

Las suspensiones de grasa en agua, son una dispersión de gotas de grasa que se vuelven estables por la acción de materiales naturales o artificiales presentes. Los diámetros de las gotas varían desde una hasta centenares de micras, aunque la mayoría son de diez. Para la formación de la suspensión, además de agua y aceite, se necesita la agitación y presencia de un agente estabilizante, éstos ayudan a reducir la tensión superficial entre fases.

La separación se puede llevar a cabo adicionando un agente desestabilizador como la salmuera, ya que por tratarse de un electrolito, éste cambia la polaridad de las moléculas y modifica el estado de las fuerzas que interactúan. O bien por intercambio de calor, que contribuye reduciendo la viscosidad de la fase continua y disminuyendo la tensión interfacial. Con la adición de calor aumenta el movimiento molecular, las gotas se expanden y la película que rodea a éstas se rompe o reduce su resistencia.

3. RESULTADOS

3.1 Proceso de saponificación

En la Tabla III se puede observar un aumento en el rendimiento conforme aumenta la concentración de soda cáustica, produciendo un jabón con valores de pH entre 9 y 11. Los valores mostrados en la Tabla II son los promedios de los datos mostrados en las Tablas VII, VIII y IX, del Apéndice I.

Tabla III. Pruebas de saponificación punto A

Muestra	A	B	C	D
Volumen de muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Jabón Obtenido	400 ml	500 ml	550 ml	600 ml
pH del jabón	10.22	10.43	10.48	10.55

Fuente: Datos experimentales obtenidos por la autora.

En la Tabla IV se pueden observar los altos valores de pH, así como los bajos rendimientos. Nuevamente, los valores tabulados son los promedios de los resultados observados en el Apéndice I, de las Tablas X a la Tabla XV.

Tabla IV. Pruebas de saponificación punto B

Muestra	A	B	C	D
Peso de muestra	500 mL	500 mL	500 MI	500 mL
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Jabón Obtenido	230 mL	200 mL	200 mL	290 mL
pH del jabón	11.33	11.62	11.91	11.83

Fuente: Datos experimentales obtenidos por la autora.

3.2 Proceso de coagulación floculación

Se compararon los resultados obtenidos entre sí mediante la asignación de un puntaje a cada muestra, siendo cuatro el mejor resultado. El puntaje se asignó en función de las características observadas como el color, la formación de flóculos, sedimentación y olor.

Tabla V. Asignación de puntaje a las muestras

Propiedades	Alta	Baja
Formación de Flóculos	1	0
Sedimentación	1	0
Turbidez	0	1
Olor	0	1

En la Tabla VI se muestran los resultados al aplicar sulfato de aluminio (alúmina), en el cual se obtuvo un mejor rendimiento con un valor de pH de 7.51. En el Apéndice II, Tablas No. XVI, XVII y XVIII, se puede observar el mismo comportamiento a diferentes valores de pH, obteniendo siempre los mejores resultados con valores cercanos al 7.50.

Tabla VI. Separación de la grasa con sulfato de aluminio

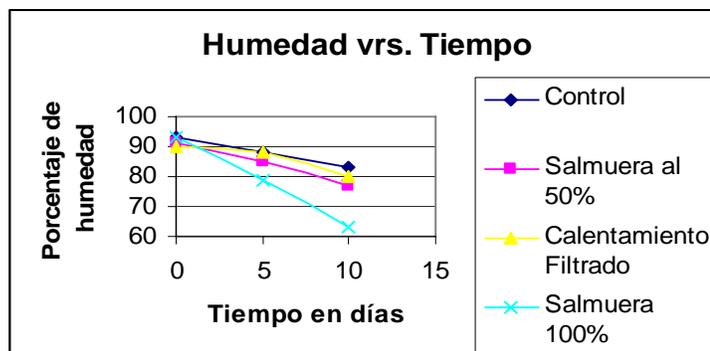
Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
pH	6.60	6.96	7.51	8.35
Alúmina	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm
Resultado	1	3	4	2

Fuente: Datos experimentales obtenidos por la autora

3.3 Proceso de separación de grasa en suspensión

En la Figura 2 se muestra la pérdida de humedad en función del tiempo de reposo que se le dio a la suspensión. Se puede observar que la mayor pérdida en humedad ocurre al aplicar salmuera al 100%, y la menor pérdida, con el tratamiento térmico y filtrado.

Figura 2. Resultado fase de servicio técnico



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Proceso de saponificación

Las grasas son sustancias orgánicas compuestas en su mayoría por triglicéridos, éstos son moléculas formadas por tres ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol. En el proceso de saponificación se rompe dicha molécula por acción de un álcali, formando la sal de dichos ácidos y liberando una molécula de glicerina. Sin embargo, las grasas no están compuestas únicamente por triglicéridos, contienen una gran cantidad de sustancias tanto saponificables, como diglicéridos o monoglicéridos, así como sustancias insaponificables. Estas sustancias insaponificables se encuentran en la grasa de forma natural o bien, se forman por medio de una serie de reacciones químicas originadas principalmente por la presencia de agua, luz y oxígeno. Este proceso de alteración de la grasa se conoce como rancidez oxidativa.

A partir de la Tabla III de los resultados, se puede inferir que sí es posible la saponificación de la grasa residual extraída del primer tanque de la planta tratadora de aguas residuales. Se obtuvieron resultados positivos en las pruebas de saponificación con altos rendimientos y niveles de alcalinidad aceptables. Sin embargo, como se muestra en la Tabla IV, no se obtuvieron resultados positivos en las pruebas de saponificación con las muestras de grasa extraídas del tercer tanque del proceso, denominado Punto B. Por medio de las pruebas de saponificación y en base a los resultados observados se determinó que se trataba de una grasa en suspensión con el agua residual y altamente oxidada, lo cual imposibilita su saponificación. Se obtuvieron rendimientos muy bajos y niveles de alcalinidad demasiado altos produciendo un jabón de mala calidad.

Con base a lo anterior, se concluyó que el mejor lugar para reutilizar la grasa es en el punto A, ya que la grasa removida allí tiene características más aptas para su transformación en la fabricación de jabón.

4.2 Proceso de coagulación floculación

Como ya se expuso en la sección 1.3.1 de Tratamiento Primario, el pH es la variable más importante en el proceso de coagulación-floculación. Según la Tabla V de los resultados, el pH óptimo es de 7.51 para el tipo de aguas residuales tratadas provenientes de actividades de la industria láctea. Se trabajaron concentraciones de sulfato de aluminio de 100 ppm y 50 ppm, obteniendo los mejores resultados con una concentración de 50 ppm a un pH de 7.51.

4.3 Proceso de separación de grasa en suspensión

En la segunda etapa se trabajó con la grasa separada en el Punto B. Dicha grasa se encuentra en suspensión con el agua residual, es decir, se encuentra dispersa en el medio, en forma de pequeñas gotitas independientes. Las suspensiones son un medio inestable, dos líquidos inmiscibles se separan de forma natural y espontánea a menos que presente condiciones estabilizadoras. Para separar la suspensión en sus dos fases se utilizaron métodos físicos como la filtración y calentamiento, así como la utilización de sal como desestabilizante.

Sin embargo, no se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que no fue posible reducir la humedad hasta niveles aceptables. Como se puede observar en las Gráficas 2, 3 y 4 del Apéndice II, la humedad disminuye conforme aumenta la concentración de salmuera, obteniendo un valor mínimo de 63%. Se determinó que el tratamiento térmico resulta menos eficiente

dando porcentajes de humedad más altos, como se puede observar en la Gráfica 1 de los resultados.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos el mejor lugar para separar la grasa es el primer tanque o trampa de grasa, ya que las características de la grasa obtenida la hacen más apta para su utilización y además es el punto en el que la separación es factible técnicamente.
2. No es posible obtener jabón a partir de la grasa residual extraída del tercer tanque por tratarse de una suspensión de grasa altamente oxidada.
3. No es factible separar la suspensión de grasa en agua, formada en la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante la adición de salmueras ni mediante tratamientos térmicos.

RECOMENDACIONES

1. Resulta conveniente utilizar el suero láctico en la elaboración de refrescos para el consumo humano o bien, comercializar dicho subproducto en la alimentación de ganado, ya que de esta manera se reduce en gran parte el potencial contaminante de los efluentes líquidos provenientes de industrias lácteas.
2. Es necesaria la separación de la grasa residual en el primer tanque del proceso, para evitar que dicho material fluya a las siguientes etapas donde se dificultando su separación y disposición final. Para ello es posible la utilización de coagulantes químicos, así como de microburbujas que promuevan la flotación de la grasa dispersa en el medio.
3. Se debe conscientizar al sector industrial para promover el aprovechamiento de las grasas residual en la elaboración de jabón u otros productos derivados de la grasa, para optimizar la utilidad de la materia prima y evitar la contaminación del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Oil Chemists Society. **Fatty Acids**. (EEUU: Everett H. Pryde, 1979)
2. Brown, LeMay, Bursten. **Química la ciencia central**. (Quinta edición; México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica, 1991)
3. Chirash, W. **Prácticas para obtener sebo y calidad de sebo**. MET Technology Transfer Department, 1991.
4. Corbitt, Robert. **Standard Handbook of Environmental Engineering**. (EEUU: McGraw Hill, 1990)
5. H.G. Kirschenbauer. **Grasas y aceites, química y tecnología**. (México: Editorial Continental, 1964)
6. Mattil, Karl F., Noris, Frank A., Stirton, Alexander J., Swern, Daniel. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. (Tercera edición; EEUU: SWERN, 1964)
7. Morrison y Boyd. **Química Orgánica**. (Quinta edición; México: Addison-Wesley Iberoamericana, 1990)

8. UNEP 2000. **Cleaner Production in Dairy Processing**. United Nation Publication.

9. Veisseyre, R. **Lactología Técnica: Composición, recogida, tratamiento y transformación de la leche**. (España: Editorial Acribia, 1988)

10. Woollatt, Edgar. **The manufacture of soaps, other detergents and glycerine**. (Nueva York: Ellis Horwood Limited, 1985)

APÉNDICE I

Resultados fase de investigación

Tabla VII. Pruebas de saponificación punto A

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	150 ml	150 ml	150 ml	150 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	200 ml	320 ml	325 ml	400 ml
pH del jabón	9.91	9.99	10.07	10.00

Tabla VIII. Pruebas de saponificación punto A

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	500 ml	625 ml	690 ml	750 ml
pH del jabón	10.54	10.85	10.89	10.92

Tabla IX. Pruebas de saponificación, punto A

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	200 ml	200 ml	200 ml	200 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	500 ml	600 ml	650 ml	690 ml
pH del jabón	10.22	10.45	10.50	10.74

Tabla X. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	200 ml	200 ml	200 ml	200 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	375 ml	375 ml	250 ml	470 ml
pH del jabón	12.02	12.92	12.78	12.80

Tabla XI. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	300 ml	300 ml	300 ml	300 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	500 ml	430 ml	550 ml	575 ml
pH del jabón	12.79	13.03	13.04	13.00

Tabla XII. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	288 ml	260 ml	250 ml	325 ml
pH del jabón	12.81	12.48	12.65	11.81

Tabla XIII. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	100 ml	100 ml	120 ml	285 ml
pH del jabón	11.30	11.08	11.57	12.30

Tabla XIV. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	50 ml	75 ml	100 ml	100 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	91.49 ml	75.74 ml	21.95 ml	80 ml
pH del jabón	9.63	10.61	11.50	11.19

Tabla XV. Pruebas de saponificación, punto B

Muestra	A	B	C	D
Estado de la muestra	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Volumen de la muestra	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Concentración Soda cáustica	15 %	20%	25 %	30 %
Volumen soda cáustica	30 ml	10 ml	15 ml	23 ml
Tiempo	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Cantidad de jabón obtenido	31 ml	2.75 ml	19 ml	25 ml
pH del jabón	9.47	9.57	9.89	9.93

APÉNDICE II

Resultados Fase de Servicio Técnico

Tabla XVI. Separación de la grasa. Pruebas con coagulantes, punto A

Muestra	A	B	C	D	Control
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L
pH inicial	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07
pH deseado	6.07	7.43	9.79	11.54	--
Alúmina	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm	--
Color	Blanco opaco	Verde brillante	Verde ámbar	Café ámbar	Blanco
Superficie	Natilla	Turbia con filóculos	Natilla fina	Nada	Natilla
Sedimento	0	0	3 ml	5 ml	0
Puntaje	3	4	2	1	--

Tabla XVII. Separación de la grasa. Pruebas con coagulantes, punto A

Muestra	A	B	C	D	Control
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L
pH inicial	5.52	5.52	5.52	5.52	5.52
pH deseado	5.71	6.11	7.25	9.30	--
Alúmina	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm	--
Color	Verde opaco	Verde opaco	Verde opaco	Verde opaco	Verde opaco
Superficie	Turbia	Natilla	Nata	Natilla fina	Natilla
Sedimento	2 ml	2 ml	3 ml	4 ml	0
Puntaje	2	3	4	1	--

Tabla XVIII. Separación de la grasa. Pruebas con coagulantes, punto A

Muestra	A	B	C	D	Control
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L
pH inicial	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88
pH deseado	6.60	6.96	7.51	8.35	--
Alúmina	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm	--
Color	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Superficie	Natilla rala	Natilla espumosa	Espuma semisólida	Natilla con burbujas	Nata
Sedimento	1 ml	3 ml	3 ml	4 ml	0
Puntaje	2	3	4	1	--

Tabla XIX. Separación de la grasa. Pruebas con coagulantes, punto A

Muestra	A	B	C	D	Control
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L
pH inicial	4.53	4.53	4.53	4.53	4.53
pH deseado	6.87	7.18	7.49	7.54	--
Alúmina	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm	--
Color	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Superficie	Natilla	Nata	Nata semisólida	Nata espesa	Nata
Sedimento	2 ml	1 ml	3 ml	3 ml	0
Puntaje	1	2	4	3	--

Tabla XX. Separación de la grasa. Pruebas con coagulantes, punto A

Muestra	A	B	C	D	Control
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L
Ph inicial	5.32	5.32	5.32	5.32	5.32
Ph deseado	6.43	7.98	9.26	11.14	--
Alúmina	100 ppm	100 ppm	100 ppm	100 ppm	--
Color	Verde	Verde opaco	Blanco	Blanco	Verde
Superficie	Natilla rala	Natilla	Turbio	Nada	Nata
Sedimento	1 ml	2 ml	4 ml	4 ml	0
Puntaje	2	3	1	1	--

Tabla XXI. Separación de la suspensión. Pruebas con salmuera, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	90 %	90 %	90 %	90 %
Concentración de Salmuera	30 %	35 %	40 %	45 %
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	48 ml	51 ml	50 ml	51 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.65 g	0.55 g	0.66	0.60 g
Humedad	87 %	89 %	87 %	88 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	150 ml	145 ml	158 ml	160 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.96 g	0.85 g	1.02 g	1.05 g
Humedad Final	81 %	83 %	80 %	79 %

Muestra de cálculo: Obtención del Porcentaje de Humedad (H%)

$$H\% = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Primera corrida: $H\% = \frac{(5 - 0.65)}{5} * 100 = 87\%$

Figura 3. Pérdida de la humedad con diferentes concentraciones de salmuera

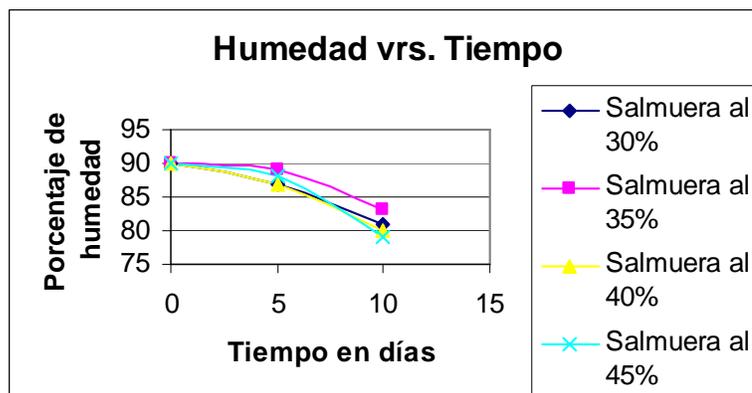


Tabla XXII. Separación de la suspensión. Pruebas con salmuera, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	93 %	93 %	93 %	93 %
Concentración de Salmuera	0	25 %	50%	75 %
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	45 ml	45 ml	51 ml	56 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.55 g	0.51	0.95	1.11 g
Humedad	89 %	90 %	81 %	78 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	143 ml	151 ml	175 ml	205 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.76 g	0.95 g	1.08 g	1.35 g
Humedad Final	85 %	81 %	78 %	73 %

Figura 4. Reducción de la humedad utilizando salmueras

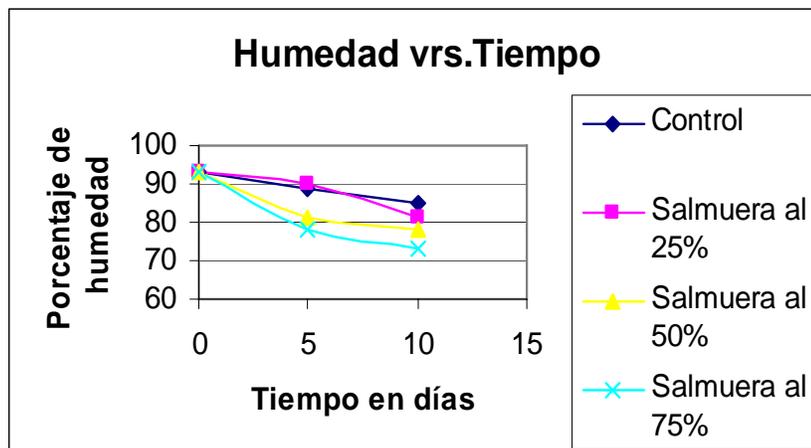


Tabla XXIII. Separación de la suspensión. Pruebas con salmuera, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	91 %	91 %	91 %	91 %
Concentración de Salmuera	0	50 %	75 %	100 %
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	55 ml	68 ml	51 ml	59 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.61 g	0.76 g	1.01 g	1.11 g
Humedad	88 %	85 %	80 %	78 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	153 ml	190 ml	199 ml	229 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.94	1.15 g	1.36 g	1.69 g
Humedad Final	81 %	77 %	73 %	66 %

Figura 5. Pérdida de humedad en función del tiempo de reposo

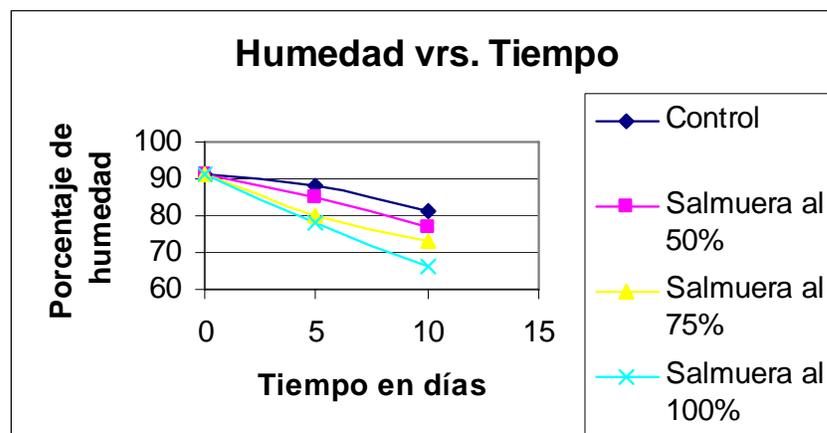


Tabla XXIV. Separación de la suspensión. Pruebas con salmuera, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	93 %	93 %	93 %	93 %
Cantidad de Sal	0	25 g	50 g	75 g
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	61 ml	86 ml	96 ml	95 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.60 g	1.05 g	1.11 g	1.05 g
Humedad	88 %	79 %	78%	79 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	161 ml	218 ml	221 ml	235 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	1.01 g	1.75 g	1.71 g	1.85
Humedad Final	80 %	65 %	66 %	63 %

Figura 6. Humedad en función del tiempo de reposo

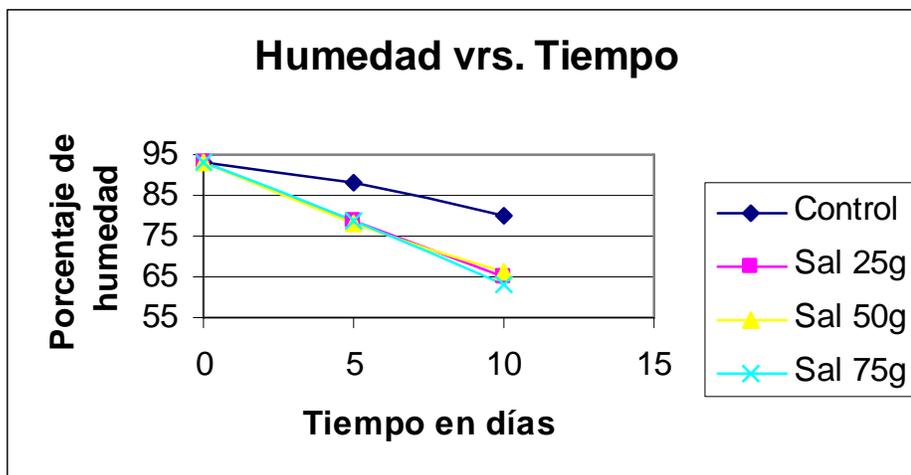


Tabla XXV. Separación de la suspensión. Pruebas con calentamiento- filtrado, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	91 %	91 %	91 %	91 %
Calentamiento	No	65° C	65° C	100 ° C
Filtrado	No	Si	No	Si
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	43 ml	44 ml	52 ml	50 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.55 g	0.60 g	0.66 g	0.65 g
Humedad	89 %	88 %	87 %	87 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	162 ml	173 ml	189 ml	191 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	1.01 g	0.95 g	1.19 g	1.10 g
Humedad Final	80 %	81 %	76 %	78 %

Figura 7. Reducción de la humedad en función del tiempo de reposo

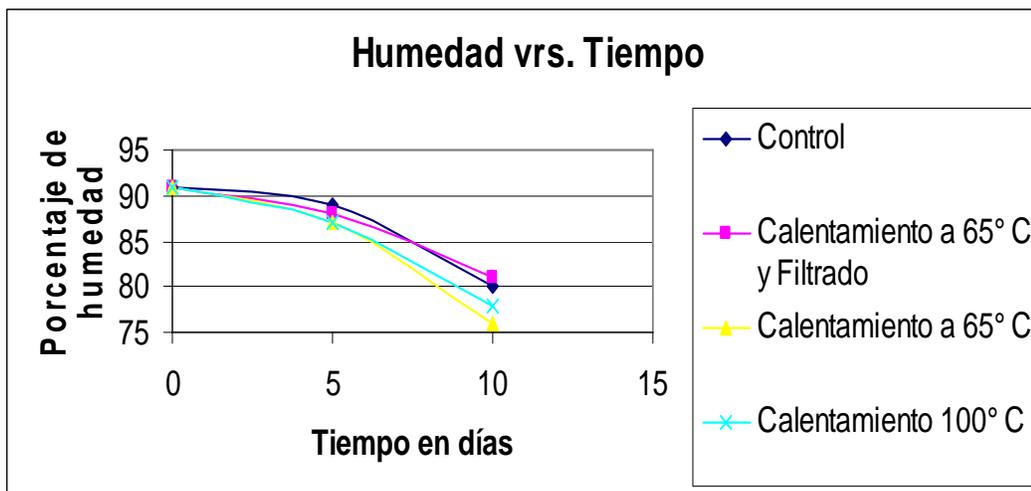


Tabla XXVI. Separación de la suspensión. Pruebas con calentamiento- filtrado, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	90 %	90 %	90 %	90 %
Calentamiento	Si	Si	No	No
Filtrado	Si	No	Si	No
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	53 ml	50 ml	47 ml	50 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.61 g	0.65 g	0.60 g	0.55 g
Humedad	88 %	87 %	88 %	89 %
Calentamiento	Si	Si	No	No
Filtrado	Si	No	Si	No
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	154 ml	161 ml	150 ml	144 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.85 g	0.94 g	1.03 g	0.75 g
Humedad Final	83 %	80 %	81 %	85 %

Figura 8. Reducción de la humedad con tratamientos térmicos

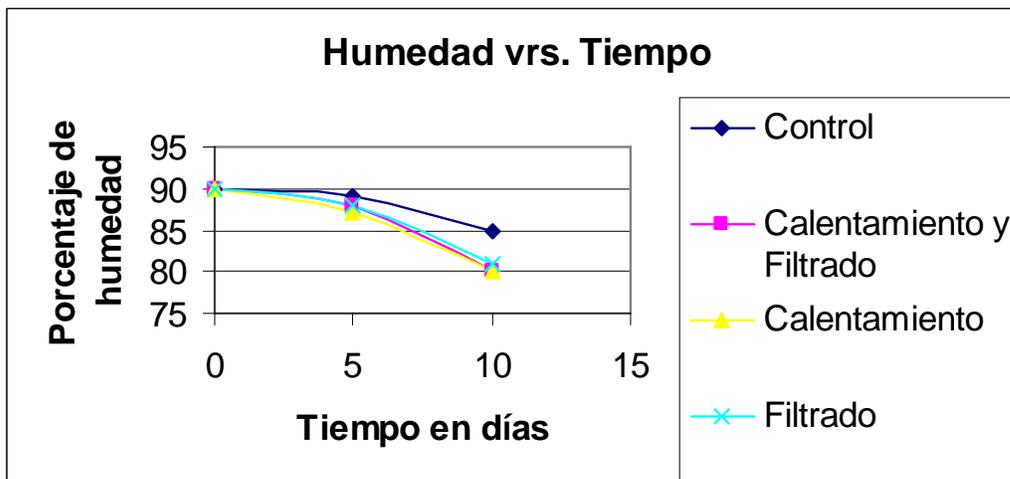
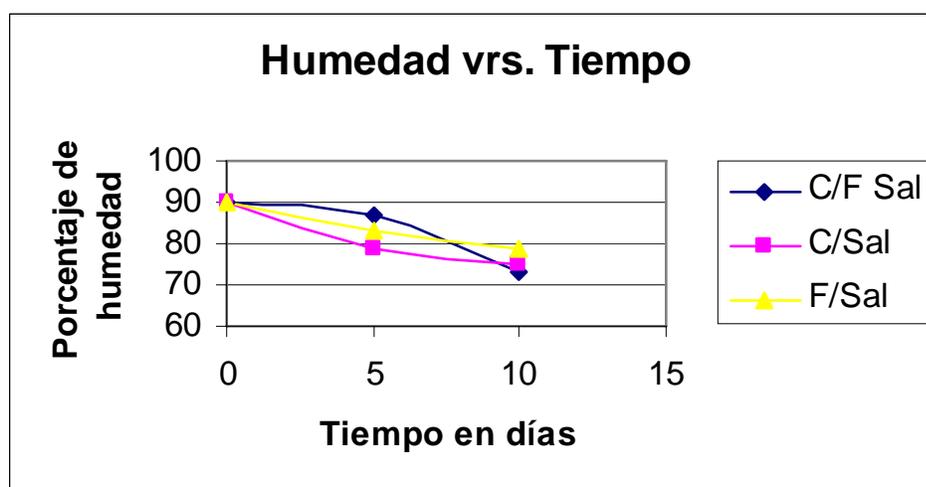


Tabla XXVII. Separación de la suspensión. Pruebas con métodos combinados, punto B

Muestra	A	B	C	D
Volumen	1 L	1 L	1 L	1 L
Humedad Inicial	90 %	90 %	90 %	90 %
Sal	50 g	50 g	0	0
Alcohol	0	0	70 %	70 %
Calentamiento	Si	Si	Si	No
Filtrado	Si	No	Si	Si
Tiempo	5 días	5 días	5 días	5 días
Decantación	65 ml	62 ml	69 ml	71 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	0.66 g	1.04 g	0.85 g	0.71 g
Humedad	87 %	79 %	83 %	86 %
Tiempo	10 días	10 días	10 días	10 días
Decantación	196 ml	193 ml	196 ml	181 ml
Peso inicial	5 g	5 g	5 g	5 g
Peso final	1.35 g	1.22 g	1.20 g	1.03 g
Humedad Final	73 %	75 %	76 %	79 %

Gráfica 9. Reducción de la humedad utilizando métodos combinados



APÉNDICE III

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Ejercicio Profesional Supervisado

MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE JABÓN A PARTIR DE GRASA RESIDUAL EXTRAÍDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN UNA EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS

Elaborado por Paulina Maldonado

En el siguiente manual se muestra una forma sencilla de elaborar jabón a partir de la grasa residual de una empresa dedicada a la elaboración de productos lácteos. Ya que en todos los procedimientos industriales se generan emisiones y efluentes de desecho, resulta conveniente encontrar una posible utilidad a dichos subproductos. A continuación se muestra una serie de pasos que describen el procedimiento a seguir en la preparación de la grasa y elaboración de jabón.

Preparación de la grasa:

1. La grasa residual proveniente de los procesos de elaboración de productos lácteos se extrae del primer tanque de la planta de tratamiento de aguas o trampa de grasa. Dicha grasa se encuentra en estado sólido con una gran cantidad de impurezas y excedente de agua. Después

de recolectarla se debe calentar hasta derretirla y así, facilitar el proceso de filtrado con el cual se busca eliminar la mayor cantidad de objetos sólidos como hojas, insectos o plásticos. Seguidamente se realiza un segundo filtrado utilizando papel filtro para eliminar impurezas de menor tamaño.

2. Después del filtrado, se realiza una decantación para extraer el agua que pudiera encontrarse en la grasa. Para ello se coloca la grasa filtrada en decantadores y se deja reposar de 24 a 48 horas.

Proceso de Saponificación:

3. Para elaborar jabón a partir de grasa se requieren los siguientes materiales y reactivos:
Materiales: hornilla, reactor (beaker o cacerola), agitador, moldes, termómetro.
Reactivos: Soda cáustica al 30%, Cloruro de Sodio (sal de mesa), solución de Cloruro de Sodio al 50%.
4. Primero vierta la grasa filtrada y decantada en el reactor y proceda a calentarla con la hornilla hasta su fundición.
5. Cuando la grasa se encuentre en estado líquido y su temperatura sea de 90° C, proceda a añadir la solución de soda cáustica y agite a una velocidad moderada, continúe calentando hasta observar la formación de una masa semisólida. Para un litro de grasa se requiere medio litro de Soda Cáustica al 30%.

6. A continuación agregue el Cloruro de Sodio a la solución para facilitar la precipitación del jabón.
7. A la masa de jabón formada se le debe realizar un lavado con una solución de Cloruro de Sodio al 50% para quitar restos de Soda Cáustica.
8. Utilizando indicadores de pH se mide la alcalinidad del jabón, debe tener un pH entre 9.5 y 10.5. Finalmente, el jabón se moldea y se deja secando por 24 horas.