



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES DE CUAUTITLÁN

Tratamiento fisicoquímico por neutralización – precipitación  
de suero lácteo con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADOS EN QUÍMICA INDUSTRIAL

PRESENTAN:

MARIA DEL CARMEN CABRERA TREJO

JAIME ALBERTO GONZÁLEZ MONTALVO

Asesora: QFB. CLAUDIA PÉREZ GARRIDO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos.**

A nuestra asesora de tesis la Lic. Q.F.B. Claudia Pérez Garrido, por paciencia y compromiso con este proyecto hasta el final.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que han brindado todo lo necesario para realizar nuestros estudios de licenciatura y con quienes estaremos siempre agradecidos.

A nuestra familia y amigos quienes nos apoyaron para lograr este trabajo.

## **Dedicatoria**

A nuestros hijos Lizeth González Cabrera y Jaime González Cabrera.

A María Montalvo Granada por su apoyo su paciencia y apoyo para realizar este proyecto.

A María Victoria Trejo Cortes y Candelaria Trejo Cortes por su compañía en cada logro.

## INDICE

<i>Índice de figuras</i> .....	6
<i>Índice de tablas</i> .....	6
<i>Índice de gráficos</i> .....	7
<i>Abreviaturas</i> .....	8
<b>Resumen</b> .....	9
<b>1</b> Introducción y objetivo .....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Objetivo general .....	11
<b>2</b> Marco teórico.....	12
2.1 Aguas residuales .....	12
2.1.1 Definición.....	12
2.2 Procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales.....	16
2.3 Lactosuero .....	24
2.3.1 Generalidades.....	24
2.3.2 Problemática del lactosuero como residuo.....	26
<b>3</b> Metodología propuesta para lactosuero ácido .....	28
3.1 Origen de lactosuero .....	28
3.2 Procedimiento experimental.....	30
3.3 Muestreo y caracterización en campo .....	34
3.4 Acondicionamiento del lactosuero.....	35
3.5 Caracterización de lactosuero .....	35
3.5.1 Determinación de pH.....	35

3.5.2	Lectura de turbidez.....	36
3.5.3	Determinación de solidos totales.....	36
3.5.4	Determinación de demanda química de oxígeno (DQO). ....	36
3.5.5	Determinación de cloruros .....	37
3.5.6	Determinación de dureza total.....	37
3.6	Prueba de Jarras .....	37
3.7	Coagulación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	39
4	Resultados y discusión. ....	40
4.1	Muestreo y caracterización de muestra cruda.....	40
4.2	Centrifugación- Acondicionamiento.....	40
	Turbidez.....	41
	Sólidos totales.....	42
	Grasa .....	43
4.3	Selección de condiciones de coagulación con el método de Pruebas de Jarras.....	44
4.4	Caracterización después de la Prueba de Jarras. ....	46
	pH.....	46
	Turbidez.....	47
	Demanda química de oxígeno. ....	49
	Sólidos totales.....	50
	Cloruros.....	51
5	Conclusiones .....	52
	<i>Glosario</i> .....	55

6	Bibliografía .....	59
---	--------------------	----

*Índice de figuras*

Figura 1. Representación de una partícula coloidal.....	18
Figura 2. Recolección de muestras de lactosuero .....	34

*Índice de tablas*

Tabla 1. Reactivos químicos que se utilizan como coagulantes .....	19
Tabla 2. Proteínas del lactosuero (Lehninger, 2015) .....	24
Tabla 3. Peso molecular y punto isoeléctrico de las proteínas del suero de leche de vaca (Lehninger, 2015)	25
Tabla 4. Composición de lactosuero ácido ( Parra Huertas, 2009) .....	26
Tabla 5. Procedimiento experimental .....	31
Tabla 6 Técnicas Analíticas .....	32
Tabla 7. Hora de toma de muestras de cada ruta .....	35
Tabla 8. Pruebas de dosis con solución saturada de $\text{Ca(OH)}_2$ al 10% .....	38
Tabla 9. Pruebas de temperatura .....	38
Tabla 10. Parámetros de operación de la Prueba de Jarras .....	39
Tabla 11 Caracterización de muestra cruda .....	40
Tabla 12 Caracterización de muestras centrifugadas .....	41
Tabla 13. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos .....	54
Tabla 14. Caracterización de lactosuero en la etapa de coagulación con $\text{Ca(OH)}_2$ .....	46

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Comparación de lecturas de turbidez. ....	42
Gráfico 2. Comparación de Sólidos totales.....	43
Gráfico 3. Comparación de porcentaje de remoción de grasa.....	44
Gráfico 4. Turbidez de lactosuero centrifugado con diferente concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y diferente temperatura. .....	45
Gráfico 5 variación de pH en las diferentes dosis de Prueba de Jarras .....	45
Gráfico 6. Ajuste de pH de muestra de lactosuero con 2.1g/l de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . ....	47
Gráfico 7. Comparativo de turbidez acondicionamiento-coagulación. ....	48
Gráfico 8 Variación de pH en las diferentes dosis de Prueba de Jarras.....	48
Gráfico 9. Comparativo de demanda química de oxígeno, etapas acondicionamiento-coagulación.....	49
Gráfico 10. Comparativo de dureza de las etapas acondicionamiento-coagulación .....	50
Gráfico 11 . Comparativo de sólidos totales de las etapas acondicionamiento-coagulación día 04/06/1751	



### *Abreviaturas*

μm	Micrómetro
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda biológica de oxígeno por cinco días
DOF	Diario Oficial de Federación
L	Litro
Meq	Miliequivalente
ml	Mililitro
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
Ppm	Partes por millón
SD	Sólidos disueltos
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sólidos totales

## Resumen

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo la neutralización-coagulación de lactosuero ácido en Sistema de Jarras, con el fin de proponer un tratamiento para disminuir el impacto ambiental en suelos y aguas, tomando como referencia los lineamientos de calidad que pide la NOM-001-SEMARNAT-1996. Las muestras de lactosuero a estudiar corresponden a la producción de queso oaxaca artesanal proveniente de tres localidades que se muestrearon en dos días diferentes de junio de 2017: San Pablo y El Fresno que pertenecen al municipio de Soyaniquilpan de Juárez y San Juan Daxthi que pertenece al municipio de Jilotepec. Por el contenido de grasas de este tipo de residuo se aplica centrifugación a las muestras, retirándose 73.23% en promedio diario. Se analizan los parámetros de calidad: turbidez, ST, DQO, cloruros y dureza del lactosuero crudo y después de la coagulación para caracterizar y evaluar la propuesta de tratamiento.

# 1 Introducción y objetivo

## 1.1 Introducción

El lactosuero o suero de leche se define como un producto lácteo obtenido de la separación del coágulo de la leche en la producción de quesos; contiene más del 50% de los sólidos de la leche incluyendo proteínas, lactosa, minerales, vitaminas y grasa (Hernández, 2015), por cada 10 litros de leche que se usan en el proceso se obtienen 9 litros de suero como residuo (Moreno J., 2015).

La clasificación de este residuo dependerá del tipo de proceso utilizado: puede ser dulce si es obtenido de la producción de queso por coagulación enzimática, o ácido si es obtenido por coagulación ácida.

El lactosuero varía en composición dependiendo del origen de la leche y el tipo de queso que se haya elaborado, pero en promedio presenta un 93.1% de agua, 4.9% de lactosa, 0.9% de proteína, 0.6% de cenizas (minerales), 0.3% grasas, 0.2% de ácido láctico y vitaminas hidrosolubles (Rigaux, 1901). De acuerdo con esta composición rica en nutrientes es notorio el gran impacto que genera al ambiente; en el caso de los suelos este residuo, disminuye el rendimiento de las cosechas, las proteínas y la lactosa se transforman en contaminantes por la carga de materia orgánica que permite la reproducción de microorganismos produciendo cambios significativos en la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) del agua, limitando la vida acuática, por ello la importancia de tratarlos químicamente (García, 2008).

En esta tesis se aplicó neutralización–precipitación con  $Ca(OH)_2$  como coagulante por ser un producto químico que se utiliza frecuentemente en la remediación de suelos (Ing. David Soriano Torres, 1990), es fácil de conseguir y económico. Además tiene la característica de no generar lixiviados tóxicos o que requieran algún tratamiento adicional con respecto a otros coagulantes químicos más usados en la industria como  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ . Para lograr la mayor eficiencia de coagulación se establece con ensayos de concentración y temperatura.

## 1.2 Objetivo general

Proponer un tratamiento de neutralización–precipitación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para disminuir el impacto ambiental de lactosuero ácido obtenido de la producción de queso oaxaca artesanal para cumplir con los lineamientos de la NOM-001-Semarnat-1996, mediante ensayos a diferentes concentraciones y temperaturas en un sistema de jarras con el fin de aplicar las condiciones en las que el coagulante tiene mayor eficiencia.

## 2 Marco teórico

### 2.1 Aguas residuales

#### 2.1.1 Definición

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1997 define como agua residual a aquella de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. Para clasificar a un agua residual se siguen ciertos parámetros de calidad y se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y radiológicos.

##### 2.1.1.1 Parámetros físicos

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida.

###### ➤ *Sabor y olor*

Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de  $\text{Cl}^-$ , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de  $\text{SO}_4^{=}$ . El  $\text{CO}_2$  libre le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un color y sabor desagradables (Lapeña, 1990).

###### ➤ *Color*

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes, el agua pura sólo es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle color rojizo, y la de manganeso un color negro. El color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas, puede representar un potencial colorante de ciertos productos cuando se utiliza como material de proceso, y un potencial espumante en su uso en calderas (Lapeña, 1990).

Las medidas de color se hacen normalmente en laboratorio, por comparación con un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto,  $\text{Co Cl}_2$ , y cloroplatinato de potasio,  $\text{K}_2\text{Cl}_6\text{Pt}$ , se expresa en una escala de unidades de Pt-Co (unidades Hazen) o simplemente Pt.

Según el origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la adsorción en carbón activo (Lapeña, 1990).

### 2.1.1.2 Parámetros químicos

#### ➤ *Turbidez*

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Las algas, sedimentos en suspensión (arcillas, limos, partículas de sílice) y la materia orgánica en el agua pueden aumentar la turbidez a un nivel peligroso para ciertos organismos (Sánchez, 2007). Estos son difíciles de decantar y filtrar, además interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua pero se puede eliminar mediante procesos de coagulación.

El equipo que lee este parámetro se conoce como turbidímetro; mide la intensidad de luz difractada al incidir un rayo luminoso sobre las partículas en suspensión (Lapeña, 1990).

#### ➤ *pH*

Es una medida de la concentración de iones hidrógeno, se define como  $\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+])$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

Su medición se realiza fácilmente con un pH metro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales que, por coloración, indican el pH.

#### ➤ *Dureza*

Este parámetro es debido a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos. También causan dureza en las aguas el hierro, aluminio y manganeso, pero estos iones no se encuentran presentes ordinariamente en cantidades

apreciables. Los nitratos se hallan presentes usualmente en pequeñas cantidades, en promedio, los sulfatos exceden a los cloruros (Powell, 1986). Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, tuberías, intercambiadores de calor, etc. Por lo contrario, las aguas muy blandas pueden no ser indicadas para el consumo.

Existen diferentes tipos de dureza:

- 1.- Dureza total o título hidrométrico (TH). Mide el contenido total de iones Ca y Mg, se puede distinguir entre la dureza de Ca y la dureza de Mg.
- 2.- Dureza permanente o no carbonatada. Mide el contenido total de iones Ca y Mg después de someter el agua a ebullición durante media hora, filtración y recuperación de volumen inicial con agua destilada. El método es de poca exactitud y depende de las condiciones de la ebullición.
- 3.- Dureza temporal o carbonatada. Mide la dureza asociada a iones  $\text{HCO}_3^-$  eliminada por ebullición y es la diferencia entre la dureza total y permanente.

La dureza se puede expresar en meq/L, en ppm de  $\text{CaCO}_3$  o en grados hidrométricos, las aguas con menos de 50 ppm en  $\text{CaCO}_3$  se llaman blandas hasta 100 ligeramente duras, hasta 200 moderadamente duras y a partir de 200ppm muy duras. (Guiteras, 2003)

#### ➤ *Alcalinidad*

Es una medida de la capacidad de neutralizar ácidos, Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato, carbonato e hidróxido, pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y carbonatos pueden producir  $\text{CO}_2$  en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado.

La alcalinidad simple está medida por el viraje de la fenolftaleína a un pH entre 8.2 y 9.8; a partir de esta medición se pueden determinar las concentraciones en carbonato, bicarbonato e hidróxido.

➤ *Sólidos disueltos*

Es la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por la evaporación de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco del agua previamente filtrada. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas superficiales como subterráneas. Aunque para las aguas potables se indica un valor máximo deseable de 500ppm.

➤ *Sólidos en suspensión (SS)*

Es una medida de los sólidos sedimentables no disueltos que pueden ser retenidos en un filtro, se pueden determinar pesando el filtro después de secarlo. En las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm pero en las aguas superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación.

➤ *Sólidos totales*

Son la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.

➤ *Cloruros*

El contenido de cloruros afecta la potabilidad de agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas. El ion cloruro  $\text{Cl}^-$  forma sales muy solubles, suele ir asociadas al  $\text{Na}^+$  especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores.

### **2.1.1.3 Parámetros indicativos de contaminación Orgánica y Biológica.**

Tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas naturales. Los residuos domésticos contienen materias orgánicas en descomposición, detergentes y microorganismos. Los vertidos industriales, contienen múltiples compuestos orgánicos, tales como aceites y disolventes; de la actividad agrícola resultan residuos de herbicidas y pesticidas, etc. La concentración de estos compuestos es variable por múltiples causas.



➤ *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Mide la capacidad de un oxidante químico, dicromato o permanganato por las materias oxidables contenidas en el agua y se expresan en ppm de O<sub>2</sub>. Indica el contenido de materias orgánicas oxidables y otras sustancias reductoras como Fe<sup>++</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, etc. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5ppm, o un poco superiores, las aguas domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm, en aguas industriales depende del proceso de fabricación.

El análisis para este parámetro se realiza por el método de refluo cerrado o abierto este último es adecuado para una amplia gama de residuos en los que se prefiere un gran tamaño de muestra. Los métodos de refluo cerrados son más económicos en cuanto al uso de sales metálicas como reactivos, pero requieren homogeneización de las muestras que contengan sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles (APHA, 1992).

➤ *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la biodegradación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días y se mide en ppm de O<sub>2</sub> en aguas. De esta forma se obtiene indirectamente, la concentración de materia orgánica e inorgánica. La determinación se realiza midiendo el oxígeno disuelto de una muestra ya sea mediante una valoración yodométrica o un método electrométrico con electrodo de membrana.

## **2.2 Procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales.**

### **2.2.1.1 Tratamiento primario**

Se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, permitiendo; la descarga de efluentes o bien para dar paso a un tratamiento secundario.

➤ **Cribado o desbrozo:**

Se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos.

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos y las rejillas o cribas de gruesos tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 o 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos (Ramalho, 1993).

➤ Eliminación de sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión en esta etapa pueden ser eliminados por coagulación, sedimentación y filtración. En el caso de la filtración, se pueden eliminar hasta el 99% de sólidos.

La coagulación se lleva a cabo utilizando sulfato de alúmina, cal, poli electrolitos y otros reactivos químicos (Tabla 1) que aglomeren las partículas en suspensión y las precipiten con el propósito que se puedan eliminar por decantación o filtración.

➤ Coagulación

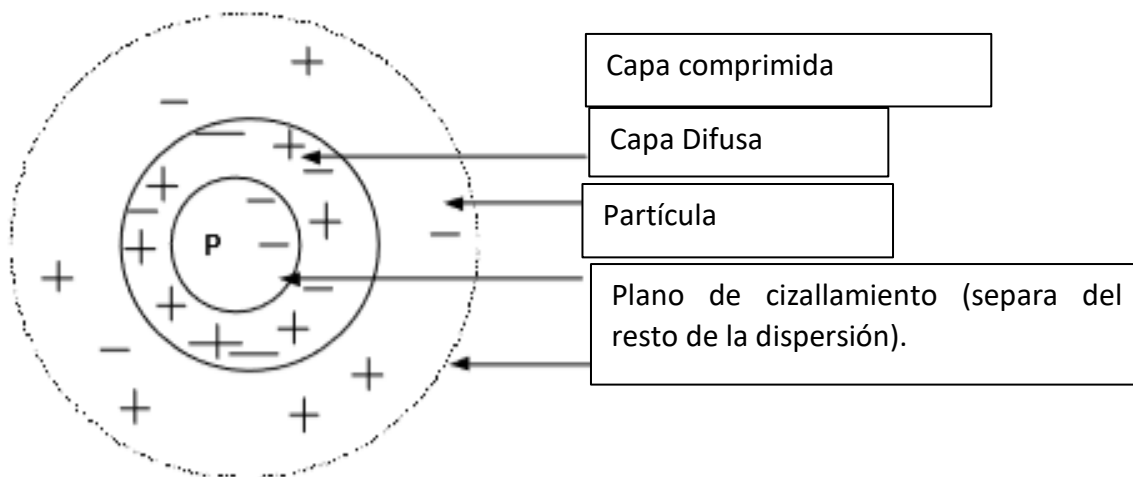
La coagulación se emplea comúnmente para eliminar la turbidez y el color, en la purificación del agua, ambos suelen estar causados por partículas coloidales. Los coloides son partículas que presentan cargas superficiales electrostáticas las cuales impiden aglomerarse y sedimentar el tamaño varía entre 1 y 100 nanómetros (Díaz, 2010).

La coagulación consiste en la neutralización de las cargas superficiales mediante adición de electrolitos. La precipitación de un coloide se provoca mediante la adición de electrolitos de cargas opuestas (Lapeña, 1990). Ciertas fuerzas atractivas existen entre todos los tipos de partículas coloidales, por muy distintas que puedan ser sus naturalezas químicas. Estas fuerzas atractivas son las fuerzas de Van der Waals y son las responsables para la agregación de muchos sistemas coloidales (Peña, 1999; Lapeña, 1990). Las partículas coloidales (ej. Arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas) presentan cargas superficiales electroestáticas que hace que existan fuerzas de repulsión entre ellas y les impida aglomerarse para sedimentar.

El signo y magnitud de esta carga primaria es frecuentemente afectada por el pH y el contenido iónico de la fase acuosa (Weber, 2003). Las cargas primarias, atraen los iones positivos del agua,

los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa (**Figura 1**), por lo tanto, hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado potencial zeta (Andía, 2000).



**Figura 1. Representación de una partícula coloidal**

La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la “nube de iones” que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse (Tabla 1).

Tabla 1. Reactivos químicos que se utilizan como coagulantes

Clasificación	Coagulante	Formula
Basados en Aluminio	Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$
	Aluminato	$NaAlO_2$
	Polihidroxiclорuro de Aluminio	$Al_n(OH_n)_mCl_{3n-m}$
Basados en Hierro	Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$
	Cloruro férrico	$FeCl_3$
	Sulfato ferroso	$FeSO_4$
Basados en calcio	Cloruro Cálcico	$CaCl_2$
	Hidróxido de Calcio	$Ca(OH)_2$
Basados en magnesio	Cloruro de magnesio	$MgCl_2$
Polímeros no iónicos	Poliacrilamidas	$(C_3H_5NO)_n$
	Polímeros del óxido de etileno	
Copolímero de acrilamida-acrilato	Poliacrilamida parcialmente hidrolizada	
Polisulfónicos	Polímeros catiónicos	
Polietilenamina	Polimetacrilato	

Diferentes coagulantes químicos pueden llevar a cabo la desestabilización de los coloides por los siguientes mecanismos:

- *Compresión de la doble capa*

Cuando se aproximan 2 partículas semejantes sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión cuyo potencial está en función de la distancia que lo separa y cae rápidamente con el incremento de los iones de carga opuesta, esto se consigue solo con los iones del coagulante. Existe un potencial de atracción o fuerzas de atracción, entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Wals que depende los átomos que constituyen a las partículas y de la densidad de estos

últimos. Contrariamente a las fuerzas de repulsión las fuerzas de Van der Waals no son afectadas por las características de la solución (Andía, 2000).

- *Adsorción y neutralización de capas*

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Andía, 2000).

- *Inmersión en un precipitado.*

Cuando una sal metálica tal como  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ , o un óxido metálico o hidróxido en el caso de la cal, se utilizan como coagulante, en concentraciones suficientemente altas para ocasionar la precipitación rápida de un hidróxido metálico o carbonato metálico, las partículas coloidales pueden quedar inmersas dentro de estos precipitados a medida que estos se han propuesto muchos mecanismos para la interacción inicial entre un grupo de polímero y un lugar de la partícula (Walter, 2003).

- *Adsorción y puente*

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden

absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una re-estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Andía, 2000).

- **Factores que influyen en la coagulación**

1. Tipo de coagulante
2. Cantidad de coagulante. Esta cantidad tiene relación con dos factores: la turbidez y el color que se va a remover y la concentración bacteriológica

Hay tablas que relacionan la cantidad de coagulante con la de turbidez del agua. Sin embargo, la cantidad exacta solamente se puede determinar con una prueba. En esta investigación, el equipo de Prueba de Jarras es de gran ayuda.

3. Concentración y tipo de color y turbidez:

- Mayor o menor cantidad de coloides protegidos.
- Mayor o menor cantidad de partículas en suspensión.
- Sustancias coloreadas disueltas, etcétera.

4. Otras características químicas del agua:

- Alcalinidad natural.
- Concentración de hierro.
- Materia orgánica, etcétera.

5. Concentración de iones-hidrógeno en el agua (pH):

- Hay un pH óptimo de floculación, que se determina experimentalmente.

6. Tiempo de retención de las unidades de mezcla rápida y lenta:

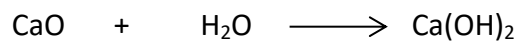
- Unidades de mezcla rápida: el tiempo deberá ser instantáneo y en este lapso se debe dispersar el coagulante de tal modo que la reacción de coagulación se produzca en toda la extensión de la masa líquida;
- Lenta: para la formación de flóculos (floculación). Aglomeración del material gelatinoso (coágulo) en partículas mayores que se decantan con mayor rapidez (flóculos).

7. Temperatura: La coagulación se favorece a temperatura alta.

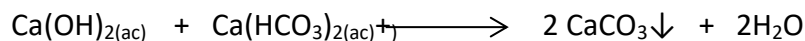
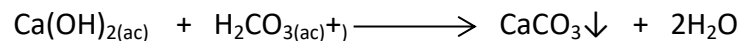
8. Agitación: Si hay poca velocidad en la agitación, la formación de flóculos disminuye y dificulta la decantación.

- **Coagulación con Hidróxido de calcio**

La producción de hidróxido de calcio más económica es a partir de cal viva (óxido de calcio):



Las reacciones de la coagulación con cal son las siguientes:



➤ *Sedimentación*

La eliminación de sólidos por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. Pueden considerarse cuatro tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas.

1. *Sedimentación discreta.* Las partículas que se depositan conservan sus propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico). Se refiere a la sedimentación de partículas en suspensión con baja concentración de sólidos
2. *Sedimentación con floculación.* La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación.

3. *Sedimentación por zonas.* Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una fase distinta con la fase líquida
4. *Compresión.* Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación solo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante (Ramalho, 1993).

➤ *Flotación*

La flotación es el proceso de convertir los sólidos en suspensión y algunas sustancias coloidales y emulsionadas en materia flotante. La separación se consigue introduciendo finas gotas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto de partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido.

➤ *Neutralización*

El tratamiento de neutralización es utilizado en los siguientes casos:

- Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor, ya que la vida acuática es muy sensible a variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a 7.
- Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal.
- Antes del tratamiento químico o biológico.

Para la neutralización de desechos ácidos se utilizan: lechos de piedra caliza, lechada de cal, sosa caustica (NaOH). Y para la neutralización de aguas residuales alcalinas se utilizan ácidos fuertes como ácido sulfúrico y en algunos casos ácido clorhídrico (Ramalho, 1993).

#### **2.2.1.2 Tratamiento secundario**

Se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios.



### 2.2.1.3 Tratamiento terciario

Se le conoce también como tratamiento avanzado es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior al tratamiento secundario convencional.

## 2.3 Lactosuero

### 2.3.1 Generalidades

El lactosuero es un líquido que se obtiene por la coagulación de la leche, una vez que se separan la cuajada (caseína) y la grasa en la elaboración del queso. Las características varían con la leche que se emplea y con el método de coagulación empleado, el principal constituyente después del agua, es la lactosa ( $C_{12}H_{22} \cdot H_2O$ ): un disacárido reductor. También se encuentran las proteínas séricas o del lactosuero (Tabla 2), contribuyendo con un 20% en la producción total de las proteínas totales de la leche (la producción de albúminas es aproximadamente del 16%-18% y la de globulinas del 2% al 4%)(Spreer, 1991).

En la actualidad se producen cerca de 90,000L diarios de lactosuero que impacta negativamente el suelo y los lagos (Zarza, 2017), por lo que es indispensable su tratamiento. Contiene un alto valor nutritivo y tradicionalmente su mayor uso es para la alimentación de cerdos, cuando no se utiliza es un alto contaminante del medio ambiente (García, 2008).

Tabla 2. Proteínas del lactosuero (Lehninger, 2015)

Grupo	Proteínas del suero	% del total de proteínas del suero
Globulinas	Euglobulina	11
	Seudoglobulina	16
Albúminas	Albúmina del suero sanguíneo	5
	$\alpha$ -lactoalbúmina	19
	$\beta$ -lactoglobulina	49

Las proteínas séricas son electrolitos de peso molecular muy grande que en disolución muestran cambios profundos en su solubilidad, en función de: pH, fuerza iónica, propiedades dieléctricas del disolvente y temperatura (ALAIS, 1998). En la tabla 3 se presentan algunos de estos datos.

Tabla 3. Peso molecular y punto isoelectrico de las proteínas del suero de leche de vaca (Lehninger, 2015)

Proteína	Masa molar (kDa)	Punto isoelectrico
<b>β-lactoglobulina</b>	18.4	5.2
<b>α-lactoalbúmina</b>	14.1	4.5-4.8
<b>Inmunoglobulina</b>	150-1000	5.5-8.3
<b>Seroalbúmina</b>	66	4.7-4.9
<b>Lactoferrina</b>	78	9
<b>Lactoperoxidasa</b>	89	9.5
<b>Casenomacropéptido</b>	7	-

El lactosuero además presenta una cantidad amplia de minerales donde sobresale el potasio, seguido del calcio, fósforo, sodio y magnesio. También cuenta con un porcentaje residual de grasa que no coaguló en la elaboración del queso (Warner, 1989) y vitaminas como: vitamina B y vitamina C, siendo la vitamina B<sub>2</sub>, la lactoflavina, la responsable del color verde del suero.

Existen varios tipos de lactosuero, dependiendo principalmente del procedimiento utilizado para la eliminación de la caseína; el primero, denominado dulce está basado en la coagulación por renina a pH 6.5. El segundo, llamado lactosuero ácido, resulta del proceso de fermentación o de adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales como en la elaboración de quesos frescos.

En la Tabla 4 se muestra la composición del lactosuero ácido fresco. El contenido de grasa depende del que tuviera la leche de quesería empleado (Henry & Keener, 1989).

Tabla 4. Composición de lactosuero ácido ( Parra Huertas, 2009)

Componentes	g/l
<b>Sólidos totales</b>	63-70
<b>Lactosa</b>	44-46
<b>Ácido Láctico</b>	6-8
<b>Proteínas</b>	2-1.6
<b>Calcio</b>	2-4.5
<b>Fosfatos</b>	6.4
<b>Cloruros</b>	1.1
<b>Valor de Ph</b>	Alrededor de 5

### 2.3.2 Problemática del lactosuero como residuo.

El lactosuero o suero de quesería, es uno de los materiales más contaminantes que existen en la industria alimentaria. Cada 1000 L de lactosuero generan cerca de 3,5 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y cerca de 6,8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) (Albarrán, 2012) (Parra Huertas, 2009). Los contenidos de lactosa (García, 2008) y grasa pueden ser considerados como los principales responsables por su alta concentración de materia orgánica, debido a que el extracto seco del lactosuero se compone aproximadamente en un 70% de lactosa, esta representa un 70% del consumo bioquímico total de oxígeno, expresado como DBO<sub>5</sub> (mg/l de oxígeno que consumen los microorganismos en 5 días para oxidar las sustancias orgánicas de un litro de agua)(Spreer, 1991).

En las queseras la falta de instalaciones adecuadas para contener el suero y de conocimiento de los fabricantes de queso artesanal provoca que sea vertido al suelo o arroyos cercanos. Una parte del lactosuero se destina a la alimentación animal, sin embargo, la producción de queso rebasa la capacidad de consumo. El lactosuero genera problemas ambientales ya que es un subproducto rico en componentes nutritivos que se transforma en un cultivo de bacterias generando contaminantes como metano y ácido láctico; además, por tener un pH ácido altera la acidez natural de los suelos.

La materia orgánica vertida en los cuerpos de agua en pequeñas proporciones, no es contaminante ya que puede ser oxidada de forma natural por bacterias y otros organismos que la transforman en sustancias minerales inertes, por lo que se dice que es biodegradable. Ahora bien, este es un proceso en el que intervienen microorganismos aerobios, es decir, que necesitan el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua para producir la degradación de la materia orgánica. Si la cantidad de materia orgánica es suficientemente elevada, el consumo de oxígeno puede llevar a su agotamiento, lo que tiene una consecuencia inmediata en la destrucción de las especies acuáticas que necesitan el oxígeno para vivir. Además, el exceso de materia orgánica posibilita la proliferación de microorganismos, muchos de los cuales resultan patógenos (contaminación biológica).

### 3 Metodología propuesta para lactosuero ácido

#### 3.1 Origen de lactosuero

El lactosuero utilizado en este trabajo, tipo ácido proviene de diferentes localidades pertenecientes a los municipios de Soyaniquilpan de Juárez y Jilotepec de Molina Enríquez en el Estado de México.



La producción de queso en el municipio de Jilotepec de Molina Enríquez y Soyaniquilpan de Juárez, en su mayoría, es de tipo artesanal y no cuenta con el equipamiento necesario para contener o tratar sus desechos (lactosuero). En esta región se fabrica queso de una forma más industrializada a partir de 1994 (Zarza, 2017) y desde entonces los efluentes de suero, donde se realiza la descarga han provocado la erosión del suelo y la contaminación de los lagos cercanos.

Las muestras utilizadas son de las localidades de El Fresno, San Pablo y San Juan Daxthí. Los cuales son proveedores de leche para la elaboración de queso Oaxaca en la quesera de la localidad de Palos altos (Diagrama 1).

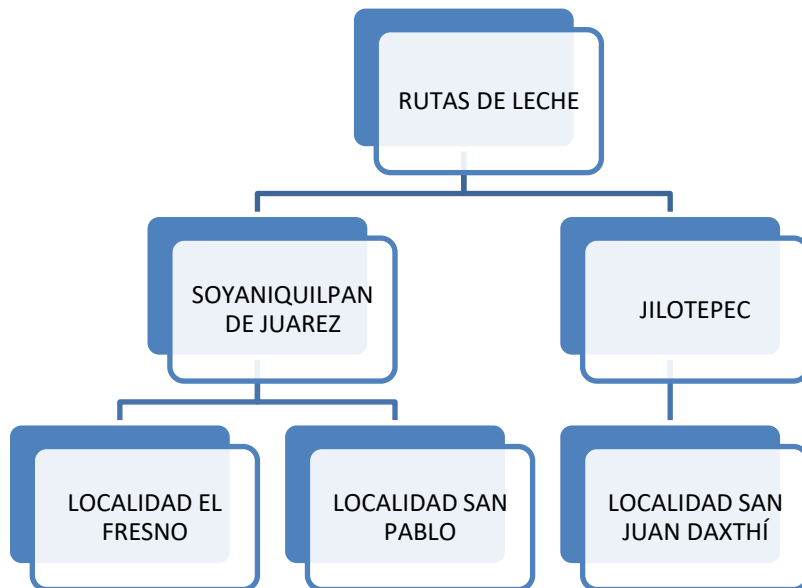


Diagrama 1. Origen de leche para la producción de queso tipo Oaxaca de la quesera de la localidad de Palos Altos

En el siguiente diagrama de flujo se da a conocer la producción de lactosuero y su almacenamiento.

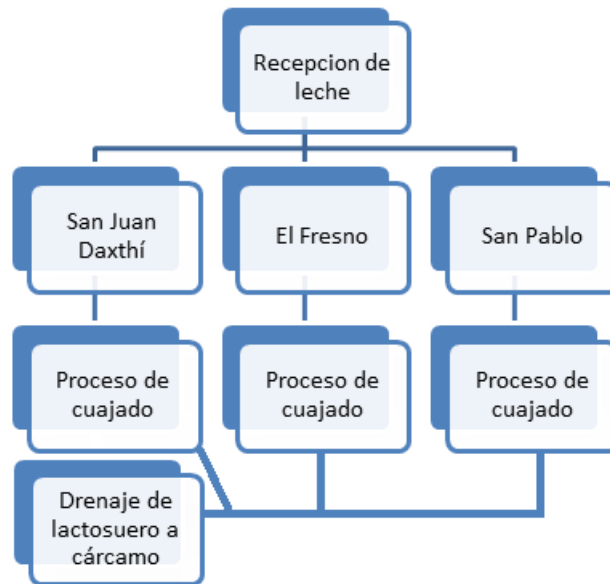


Diagrama 2. Producción de lactosuero

En el proceso de cuajado se realiza una coagulación química con ácido acético glacial a un pH de 5.5 y una temperatura de 35°C en tinas de acero inoxidable de 1500 litros de capacidad. Una vez formada la cuajada se corta y se filtra con coladores para separarla del lactosuero. Los residuos de cada ruta son drenados a un cárcamo.

### 3.2 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental consiste en diferentes etapas que se pueden consultar en la Tabla 5 en la cual se muestra este resumen.

Tabla 5. Procedimiento experimental

Etapa	Objetivo	Parámetros a determinar
<b>Muestreo y caracterización en campo</b>	Conocer los valores iniciales del lactosuero	pH y Temperatura
<b>Acondicionamiento</b>	Eliminar interferencia por grasas para la caracterización del lactosuero	Porcentaje de remoción de grasa por el método de Gerber
<b>Caracterización de acondicionamiento</b>	Verificar el efecto de la centrifugación	Turbidez, dureza, ST, DQO.
<b>Prueba de Jarras</b>	Determinar las condiciones óptimas de trabajo con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como coagulante a diferentes temperaturas.	Temperatura, Dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$
<b>Coagulación y caracterización de lactosuero clarificado</b>	Disminuir el impacto ambiental por la acción de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como coagulante.	Turbidez, Dureza, ST, DQO, Cloruros y pH

Las técnicas analíticas que se llevaron a cabo para la caracterización se presentan en la Tabla 6.



Tabla 6 Técnicas Analíticas

Técnica o prueba de caracterización	Unidades	Fundamento	Referencia
<b>Método de Gerber</b>	% m/m	Este método se basa en la digestión parcial de los componentes de la leche, excepto la grasa, en ácido sulfúrico. Emplea alcohol isoamílico para ayudar a romper la emulsión de la leche y evitar que se quemé la capa de grasa.	(D.O.F, NMX-F-387-1982. Alimentos. Leche Fluida determinacion de grasa butírica por el Método de Gerber. ), (Pérez & León, 2009)
<b>pH</b>		El equipo medidor de pH Modelo HI9622 que se utiliza consiste en un electrodo que es un bulbo de vidrio sensible a iones de hidrógeno, con una salida en milivoltios que varía conforme las alteraciones en la concentración relativa de los iones de hidrógeno dentro y fuera del bulbo.	(APHA, 1992)  Método electroquímico
<b>Turbidez</b>	NTU	Comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea el polímero formacina. El equipo utilizado fue Tur-800-2160 Marca ESD	(APHA, 1992) (Pérez & León, 2009)  Método nefelométrico

<b>Sólidos totales secados a 103-105 °C</b>	mg/L	Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. El aumento de peso corresponde a los sólidos presentes en la muestra. Los pesos de las placas fueron hechos en una balanza analítica.	(APHA, 1992) (Pérez & León, 2009)
<b>Cloruros</b>	mg/L	Titulación con $\text{AgNO}_3$ patrón hasta un punto final amarillo rosado utilizando $\text{K}_2\text{CrO}_4$ como indicador	(APHA, 1992) (Pérez & León, 2009)  Método argentométrico
<b>Dureza</b>	Ppm	Se calcula a partir de los resultados de las valoraciones aisladas de calcio y magnesio utilizando negro de eriocromo T o calmagita como indicador.	(APHA, 1992) (Guiteras, 2003)  Método titulométrico con EDTA
<b>DQO</b>	ppm de $\text{O}_2$	Mediante oxidación de los ácidos crómico y sulfúrico, con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).	(APHA, 1992) (Guiteras, 2003)  Método colorimétrico en reflujo cerrado

### 3.3 Muestreo y caracterización en campo

El procedimiento que se siguió para la toma de muestra (APHA, 1992), se describe a continuación:

- Se recolectaron muestras en botellas de polietileno con capacidad de 10 litros
- Figura 2, de las localidades de El Fresno, San Pablo y San Juan Daxthi cada una por dos días (04/06/17 y 10/06/17).



Figura 2. Recolección de muestras de lactosuero

- Se homogenizó el lactosuero de la tina donde se tomó la muestra
- La muestra se conservó a 4°C previo a su análisis.
- Para la identificación de la muestra se etiquetó cada una con los siguientes datos:

Nombre de la ruta
Fecha de muestreo
pH en campo

En la Tabla 7 se presentan los horarios de muestreo de las rutas a estudiar en los dos días planeados.

Tabla 7. Hora de toma de muestras de cada ruta

Ruta	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
San Juan Daxthi	04/06/17	10:07am
	10/06/17	2:22pm
San Pablo	04/06/17	1:43pm
	10/06/17	2:37pm
Fresno	04/06/17	2:35pm
	10/06/17	2:22pm

### 3.4 Acondicionamiento del lactosuero

Este consistió en eliminar la grasa del lactosuero, que es una de las principales interferencias para la caracterización del mismo y el desarrollo experimental, por lo que cada muestras de 10 litros se centrifugó por triplicado, en una centrifuga de platos, marca LE CREME, el proceso de separación consiste en desplazar los componentes de lactosuero de acuerdo a su peso, dividiéndolos en dos salidas de la centrifuga (Rosane, Gimenes, & M.O., 2008).

La cantidad de grasa removida se determinó mediante el método de Gerber que consiste en mezclar en un butirómetro: 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, 1 ml de lactosuero, 1 ml de alcohol amílico para posteriormente centrifugar durante cinco minutos.

### 3.5 Caracterización de lactosuero

#### 3.5.1 Determinación de pH.

Se hace medición del pH, en los puntos de muestreo, con tiras reactivas, en el laboratorio al caracterizar el residuo y después del tratamiento con un medidor de pH modelo HI9622 calibrado a pH 4, 7 y 10.

### **3.5.2 Lectura de turbidez**

Este parámetro se tomó como referencia para comparar la disminución de materia insoluble en suspensión, después de llevar a cabo el acondicionamiento y después de la coagulación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . El objetivo es determinar la disminución de la materia presente lo que indica la mejora en la calidad del lactosuero.

Las lecturas de turbidez se realizaron en el turbidímetro Tur-800-2160 Marca ESD, el cual se calibro antes de realizar las lecturas con una solución estándar de formacina de 20 NTU y otra a 40 NTU.

### **3.5.3 Determinación de sólidos totales**

Para esta prueba se utiliza una capsula de porcelana a peso constante, para el análisis de la muestra se colocó 25mL del lactosuero evaporando a sequedad en baño maría, después se calienta a  $105^\circ\text{C}$  por 1 hora en la estufa Modelo Blue. Para después dejar reposar en el desecador por 20min y pesar en la balanza analítica (APHA, 1992).

La determinación de sólidos totales se realizó a la muestra inicial de cada una de las rutas obtenida de la quesera (muestra cruda), después del acondicionamiento (muestra centrifugada), la coagulación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (clarificado) para observar la pérdida de materia en cada etapa (D.O.F, NMX-AA-034-SCFI-2015).

### **3.5.4 Determinación de demanda química de oxígeno (DQO).**

Esta prueba se realiza a todas las rutas después del acondicionamiento y de la coagulación para determinar toda la materia oxidable orgánica e inorgánica mediante el Método Colorimétrico en Reflujo Cerrado, el cual consiste en preparar una curva de calibración de cinco patrones de la solución de ftalato hidrogeno de potasio con DQO equivalentes que oscilen entre 200 y 1100 mg  $\text{O}_2/\text{l}$ . Para la preparación de las muestras de suero se colocan 2.5 ml de muestra en un tubo de digestión, 1.5 ml de solución de digestión (4,913 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  calidad de reactivo primario previamente secado a  $103^\circ\text{C}$  durante 2 horas, 167 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y 33,3 g de  $\text{HgSO}_4$  aforados en 1000ml) y 3.5 ml de solución catalítica ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  de calidad para reactivos, en cristales o en polvo, a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado en la proporción de 5,5 g de  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  /kg de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Se digieren los tubos de la curva patrón junto con los tubos de las muestras de lactosuero de cada etapa y un

blanco en un termo reactor a 150°C durante dos horas. Las muestras se leen en espectro fotómetro a 600nm (APHA, 1992).

### **3.5.5 Determinación de cloruros**

Esta determinación se llevó a cabo por triplicado en muestras centrifugadas y en muestras coaguladas de cada ruta de lactosuero por el método argentométrico con dos diluciones: 5ml en 25ml, de esta solución se tomó 1ml y se aforo a 25 ml. Esta última se ajustó a un pH de 9 y se tituló con  $\text{AgNO}_3$  0.0141N, utilizando  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  como indicador hasta un punto final amarillo (APHA, 1992).

### **3.5.6 Determinación de dureza total**

Esta determinación se llevó a cabo por triplicado en muestras centrifugadas y en muestras coaguladas de cada ruta de lactosuero por el método titulométrico con EDTA. De cada muestra de lactosuero se tomó 1ml y se aforo a 25 ml (alícuota), adicionamos 1 ml de solución tampón con pH de 10,0 (16,9g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 143 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  aforado en 250ml).y valoramos con EDTA 0.015 N utilizando Negro de eriocromo T como indicador hasta un punto final azul.

### **3.6 Prueba de Jarras**

En esta prueba se realizaron ensayos de concentración y temperatura para la etapa de coagulación neutralización con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 10% como coagulante, se trabajaron seis sistemas de 1l con variaciones de dosis bajas y dosis altas con solución saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 10% (Tabla 8) para elegir el sistema que favorecía un intervalo de pH 5.5-10 para dar cumplimiento a los lineamientos que especifica la NOM-001 SEMARNAT 1996.

Tabla 8. Pruebas de dosis con solución saturada de  $\text{Ca(OH)}_2$  al 10%

Sistemas	g de $\text{Ca(OH)}_2$ al 10%
1	1.5
2	1.65
3	1.8
4	1.95
5	2.1
6	2.25

La dosis que se eligió corresponde aquella que registró la menor turbiedad final. Con el sistema que se elige de la prueba de dosis de  $\text{Ca(OH)}_2$  se preparan 6 sistemas; Tabla 9 para la determinación de la temperatura óptima, la elección se basara en el sistema que registre el menor valor de turbidez.

Tabla 9. Pruebas de temperatura

Sistemas	Temperatura (°C)
1	60
2	65
3	70
4	75
5	80
6	85

En la Tabla 10 se muestran las condiciones de operación del equipo en el que se realiza este análisis y los datos de iniciales de la muestra de San Juan Daxthi que se utilizaron para la determinación de dosis y temperatura.

Tabla 10. Parámetros de operación de la Prueba de Jarras

Condiciones de trabajo			Datos de muestra inicial	
<b>Agitación</b>	Rápida 120 RPM	Lenta 20-30 RPM	<b>Turbidez</b>	175.8
<b>Tiempo</b>	4 minutos	20 min	<b>pH a 20°C</b>	3.93

### 3.7 Coagulación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Las condiciones de dosis en Prueba de Jarras, antes practicada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  generan sedimentación de material suspendido, por lo que se aplicó en muestras de estudio. Posteriormente se realizara una caracterización de esta etapa para permitir la comparación con los resultados del acondicionamiento.



## 4 Resultados y discusión.

### 4.1 Muestreo y caracterización de muestra cruda

Los resultados de la caracterización de lactosuero sin ningún tratamiento son los que se dan a conocer en la tabla 11 y que se comparan con la caracterización que se llevó a cabo después de la etapa de acondicionamiento.

Tabla 11 Caracterización de muestra cruda

Ruta	Fecha de muestreo	pH	Turbidez (NTU)	Sólidos totales (g/l)	Grasa (g/l)
San Juan Daxthi	04/06/17	4.09	139	119.080	8.208
	10/06/17	5.4	142.5	85.320	7.182
Fresno	04/06/17	4.46	102	91.160	8.208
	10/06/17	4.95	112.3	135.840	9.234
San Pablo	04/06/17	3.88	128.2	190.120	7.182
	10/06/17	4.87	108.3	85.280	10.260

### 4.2 Centrifugación- Acondicionamiento

Los resultados de la caracterización después de centrifugar el lactosuero (Tabla 12) permiten hacer la comparación de esta etapa con la muestra cruda (

Tabla 11) para analizar la mejora en la calidad del lactosuero, determinando el porcentaje de remoción de cada parámetro (grasas, DQO, dureza, cloruros etc.) considerando como cien por ciento los valores de la muestra cruda.

Tabla 12 Caracterización de muestras centrifugadas

Ruta	Fecha de muestreo	Turbidez (NTU)	Sólidos totales (g/l)	Grasa g/l	DQO (g O <sub>2</sub> /l)	Dureza total g CaCO <sub>3</sub> /l	Cloruros g/l
San Juan Daxthi	04/06/17	62.1	89.400	2.052	76.374	0.1074	1.65906
	10/06/17	66.5	83.960	3.078	79.830	0.0948	1.47472
Fresno	04/06/17	64.4	89.800	2.052	73.264	0.0632	1.8434
	10/06/17	54.8	100.720	3.078	77.066	0.0695	2.02774
San Pablo	04/06/17	77.7	102.240	1.026	77.757	0.0695	1.29038
	10/06/17	51.6	82.640	2.052	66.697	0.1200	1.47472

#### Turbidez

La turbidez es una prueba que indica la presencia de materias en suspensión, como grasa, proteína, lactosa, exceso de calcio y otras sales que afectan la calidad del lactosuero (APHA, 1992). En el Grafico 1 se puede observar que la turbidez disminuyo 44% para el día 04/06/17 y 52.3% para el día 10/06/17. La ruta del día 04/06/17 que presento mayor disminución de turbidez fue San Juan Daxthi con un 55.3%, la muestra de menor disminución fue la ruta El Fresno teniendo 36.9% de remoción y San Pablo con un 39.4%. En cuanto al día 10/06/17 San Juan Daxthí presento un 53.3% de disminución de turbidez, San Pablo 52.4% y El Fresno 51.2%.

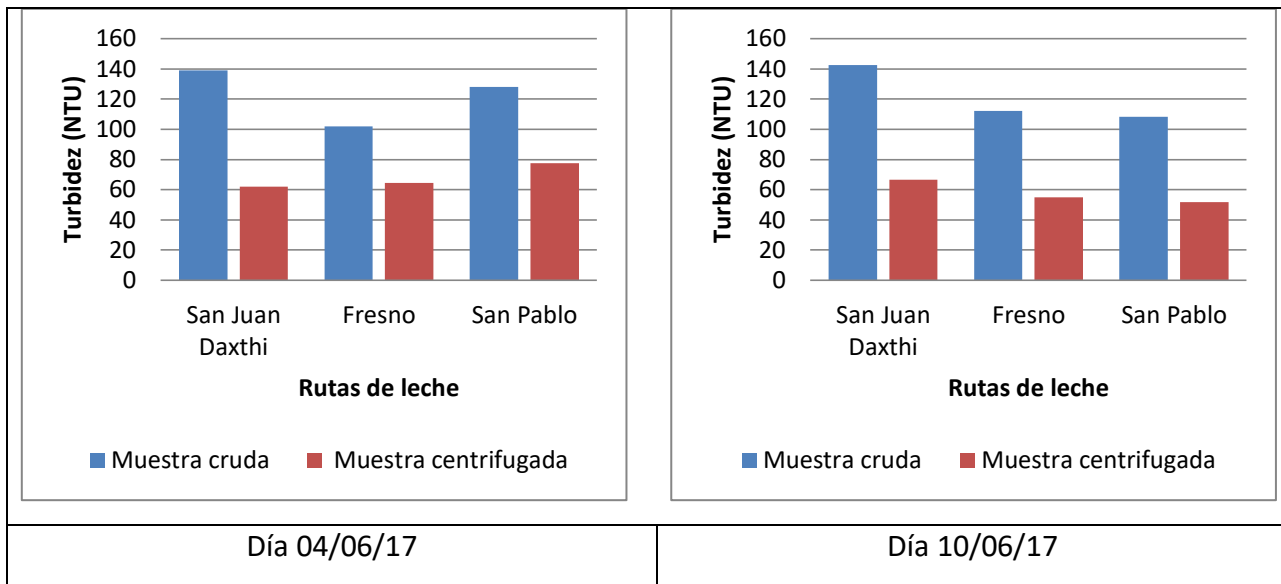


Gráfico 1. Comparación de lecturas de turbidez.

### Sólidos totales

En esta prueba determinamos los materiales suspendidos y disueltos (APHA, 1992). En el Gráfico 2 se puede observar que la turbidez disminuyó 24.2% para el día 04/06/17 y 10.2% para el día 10/06/17. La ruta del día 04/06/17 que presentó mayor disminución de turbidez fue San Pablo con un 46.2%, la muestra de menor disminución fue la ruta El Fresno teniendo 1.5% de remoción y San Juan Daxthi con un 24.9%. En cuanto al día 10/06/17 El Fresno tuvo mayor remoción con 25.9% y la ruta de menor corresponde a San Juan Daxthi con 1.6% y San Pablo con 3.1%.

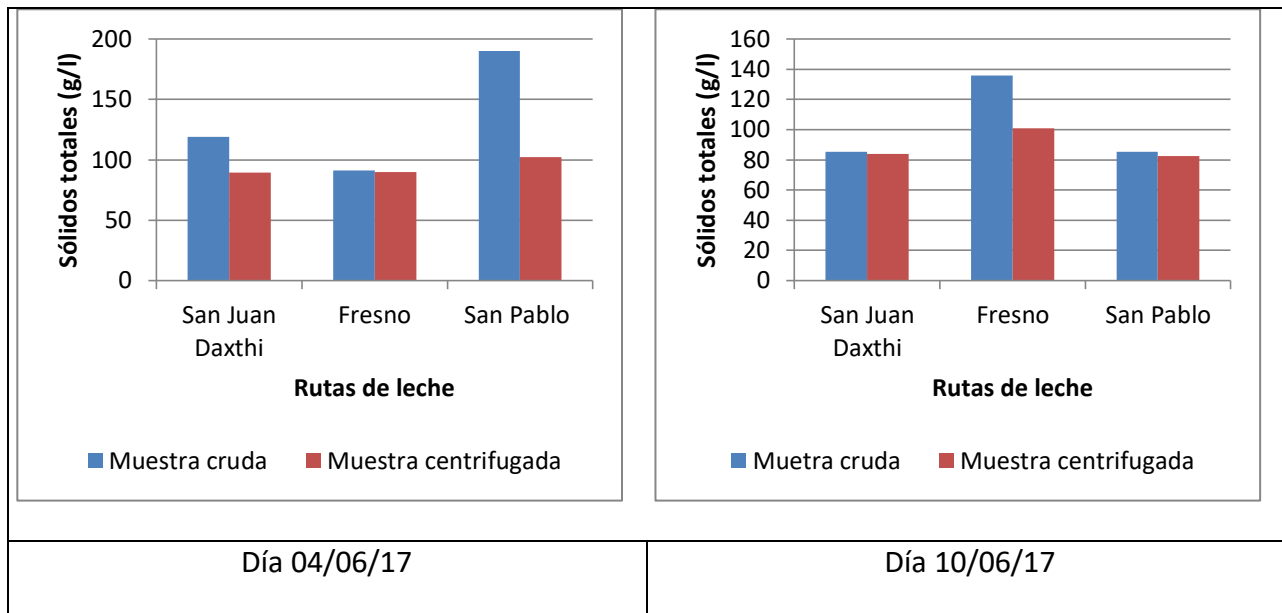


Gráfico 2. Comparación de Sólidos totales.

### Grasa

El contenido de grasa de la muestra cruda en comparación con la etapa de acondicionamiento de las muestras del día 04/06/17 se muestran en el (Gráfico 3), en donde se visualiza que la muestra de San Pablo es la ruta con mayor remoción que representa un 85.7%, a continuación tenemos las rutas de San Juan Daxthi y El Fresno que registran 75% cada una. Este día en promedio tiene 78.56% de remoción.

Para las muestras del día 10/06/17 nos indica que la muestra de San Pablo es la ruta con mayor remoción ya que representa un 80%, a continuación tenemos las rutas de San Juan Daxthi con la menor remoción siendo de 57.1% y El Fresno que registran un 66.6%, En promedio este día presenta un 67.9 %.

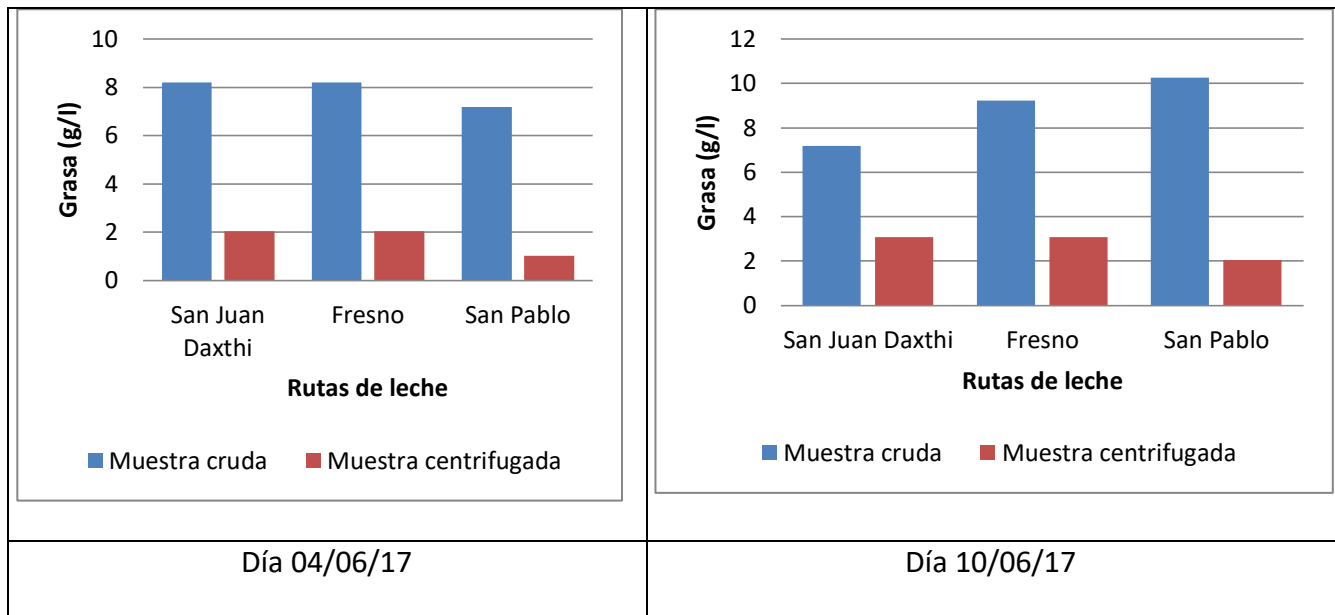


Gráfico 3. Comparación de porcentaje de remoción de grasa.

Se removió un promedio diario de 78.56% quedando 1.07 g/l de grasa residual en el lactosuero de las muestras analizadas del día 04/06/17. En las muestras del día 10/07/17 se logró remover 67.9% quedando aún 2.7 g/l de grasa residual, estos resultados permiten disminuir proporcionalmente la turbidez sin embargo no cumplen con los límites permitidos para su uso en riego de suelos agrícolas que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 que considera un promedio mensual de .015 g/l y promedio diario de .025 g/l (Anexo 1).

La determinación de dureza, DQO y cloruros se realizó con el propósito de tener los parámetros para la comparación entre la etapa de coagulación –neutralización con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y la etapa de acondicionamiento.

#### 4.3 Selección de condiciones de coagulación con el método de Pruebas de Jarras

Para la determinación de dosis óptima se trabajó en un equipo de Prueba de Jarras con seis sistemas de diferentes concentraciones, utilizando la muestra de la localidad de San Juan Daxthi (Gráfico 4). La elección de la concentración consistió en el sistema de menor turbidez, este parámetro indica una mejoría en la calidad del lactosuero. El sistema de concentración 1.5 g/l de  $\text{CaOH}_2$  y 2.25 g/l de  $\text{CaOH}_2$  aumentan la turbidez, por lo que se eligió el sistema de 2.1 g/l de

CaOH<sub>2</sub> ya que presenta la menor turbidez y por tanto mayor eficiencia de coagulación. Además de presentar un pH de 6.8 (Gráfico 5), que se encuentra en el rango de 5 a 10 que establece la NOM 001 SEMARNAT 1996.

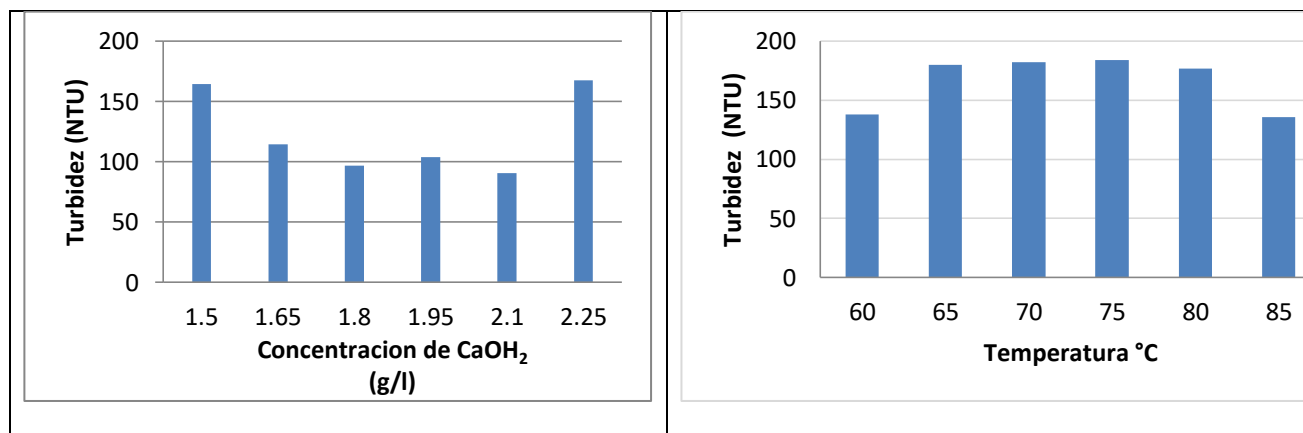


Gráfico 4. Turbidez de lactosuero centrifugado con diferente concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> y diferente temperatura.

En cuanto a la temperatura se puede ver que al aumentar mejora la turbidez, esto es ya que se desestabiliza la estructura de la grasa y promueve la precipitación del coagulante. Para este estudio se decidió por lo tanto trabajar a 85°C.

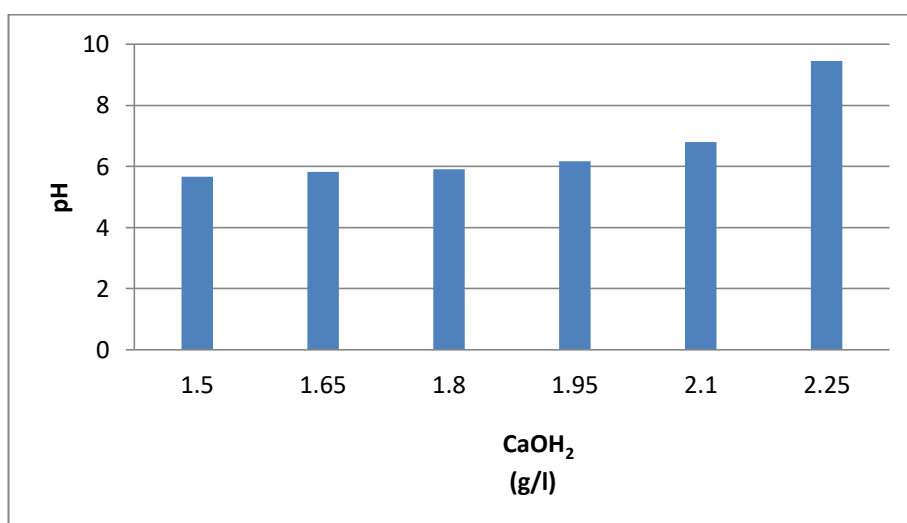


Gráfico 5 variación de pH en las diferentes dosis de Prueba de Jarras

#### 4.4 Caracterización después de la Prueba de Jarras.

En esta etapa aplicamos las condiciones elegidas previamente en la Prueba de Jarras: 2.1 g/l de  $\text{Ca(OH)}_2$  como coagulante y temperatura de 85°C, obteniendo los resultados (Tabla 13) que permite hacer una comparación con la etapa de acondicionamiento.

Tabla 13. Caracterización de lactosuero en la etapa de coagulación con  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Ruta	Fecha de muestreo	pH	Turbidez	DQO (g O <sub>2</sub> /l)	Sólidos totales (g/l)	Cloruros (g/l)	Dureza total (g CaCO <sub>3</sub> /l)
San Juan	04/06/17	6.9	23.7	68.425	82.880	3.0	0.0948
Daxthi	10/06/17	8.4	86	73.609	77.240	3.0	0.0948
Fresno	04/06/17	9.1	140.2	74.992	84.320	2.8	0.0758
	10/06/17	7.1	18	67.734	90.240	2.5	0.0695
San Pablo	04/06/17	6.4	16	67.734	94.160	3.5	0.0695
	10/06/17	7	30.8	69.116	80.680	3.2	0.0884

pH

El pH inicial del suero crudo se ajustó en el intervalo de 5 a 10 después de la coagulación, parámetro que da cumplimiento a los lineamientos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

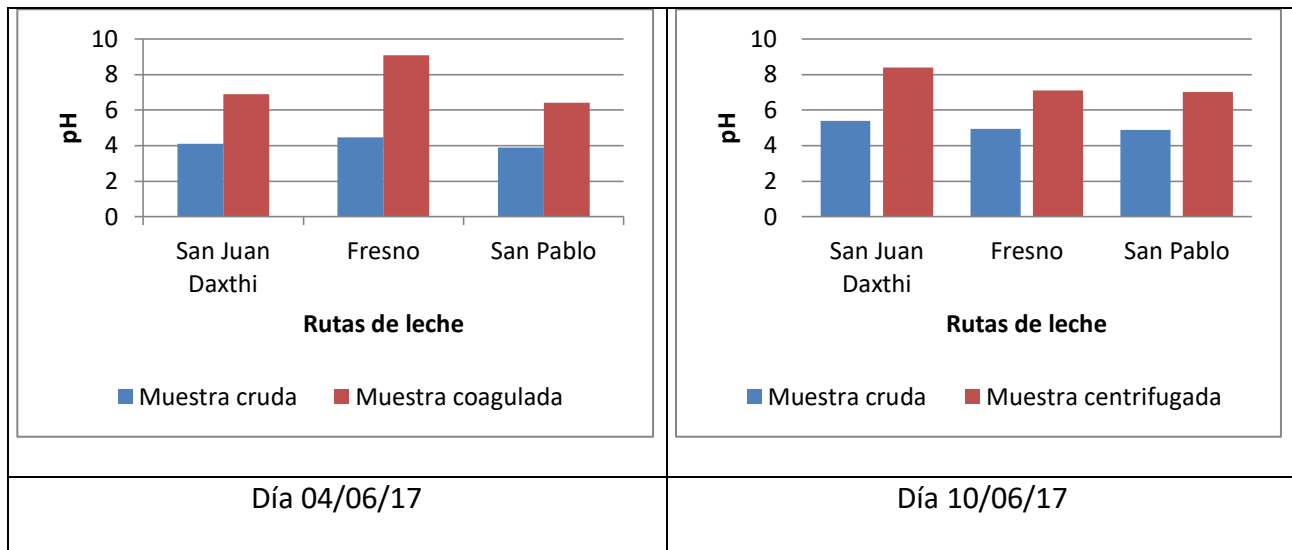


Gráfico 6. Ajuste de pH de muestra de lactosuero con 2.1g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>.

### Turbidez

En este método de coagulación se pudo remover 70.7% de turbidez en el día 04/06/17 y 53.7% en las muestras del día 10/06/17.

La ruta con menor turbidez del día 04/06/17 fue San Pablo teniendo un 79.5% de disminución, San Juan Daxthi tuvo un 61.9% (Gráfico 7). El Fresno aumento la turbidez de 64.4 NTU a 140 NTU esto fue debido a un exceso de Ca(OH)<sub>2</sub> que aumento el pH a 9.1 con respecto a lo esperado en la Prueba de Jarras (Gráfico 8), lo cual disminuyo la eficiencia del coagulante.



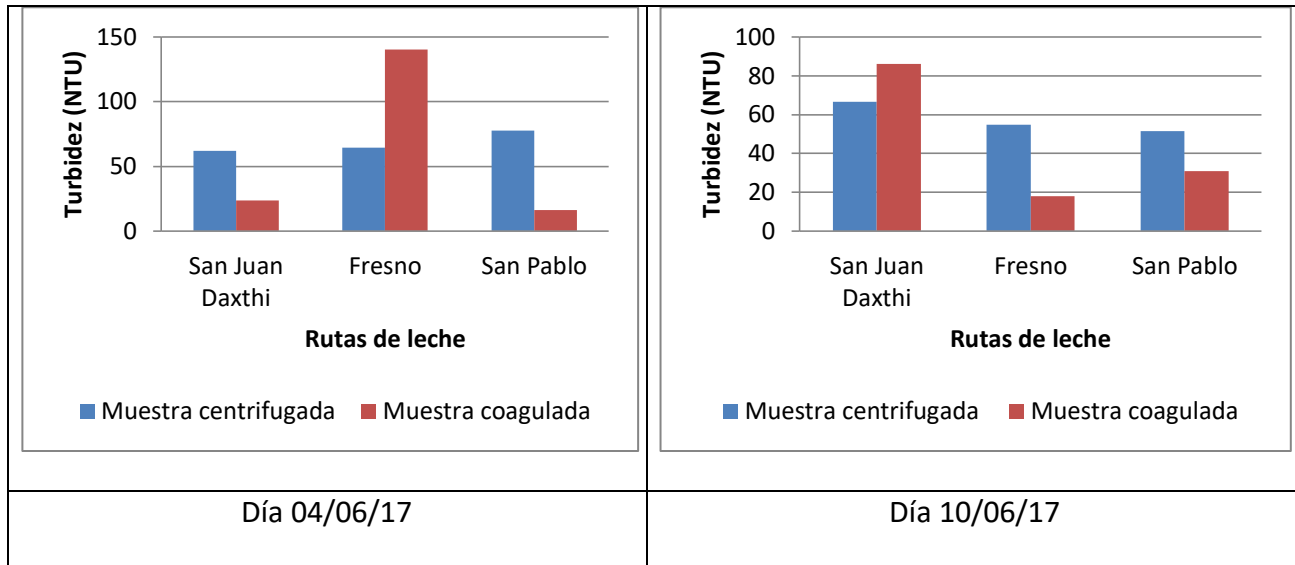


Gráfico 7. Comparativo de turbidez acondicionamiento-coagulación.

En las muestras del día 10/06/17 El Fresno fue la ruta con la menor turbidez al remover el 67.2% y San Pablo disminuyó un 40.3%. San Juan Daxthi presentó un aumento de 66.5 a 86 NTU y pH 8.4 presentándose el mismo patrón observado con la ruta de El Fresno del día 04/06/17, que pudo ser debido a un exceso de coagulante que se puede apreciar en Gráfico 8.

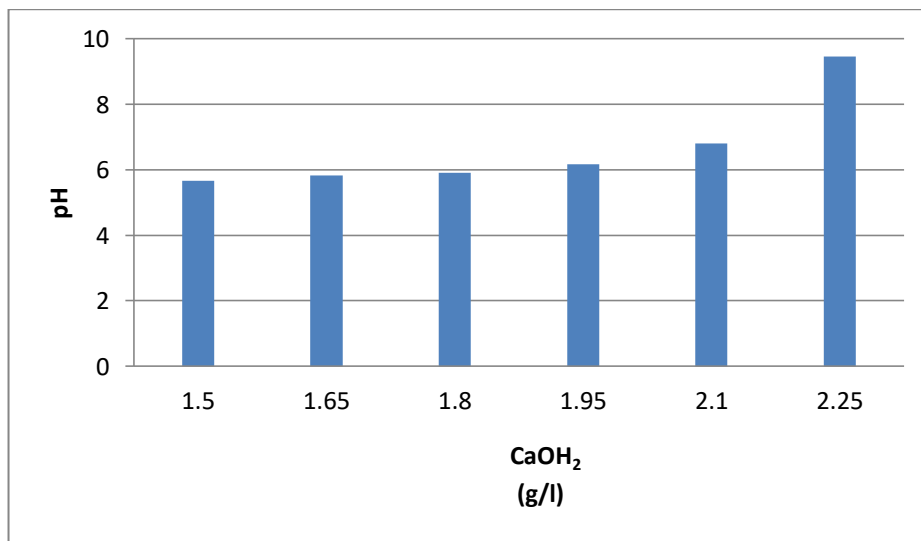


Gráfico 8 Variación de pH en las diferentes dosis de Prueba de Jarras

Demanda química de oxígeno.

Este parámetro se encuentra representado en el gráfico 9, la remoción de DQO fue de 11.64% para el día 04/06/17 y de 9.94% para el día 10/06/17.

Para las muestra del día 04/06/17 la ruta que presento mayor remoción fue San Pablo con un 12.9%. La ruta del día 10/06/17 que presento mayor remoción fue El Fresno con un 12.1%.

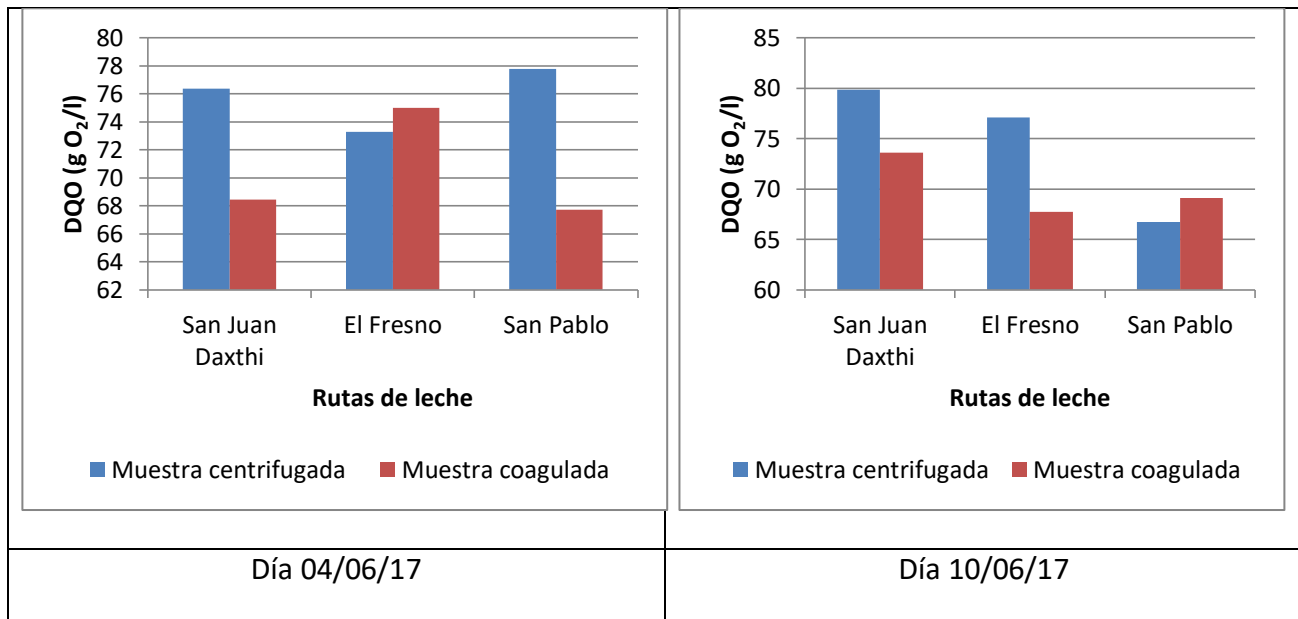


Gráfico 9. Comparativo de demanda química de oxígeno, etapas acondicionamiento-coagulación.

Dureza

En cuanto a este parámetro se puede observar en el gráfico 10 que solo la ruta de San Juan Daxthi es la que tiene un cambio de .1074 g CaCO<sub>3</sub>/l a 0.0948 g CaCO<sub>3</sub>/l representando un 11.73%.

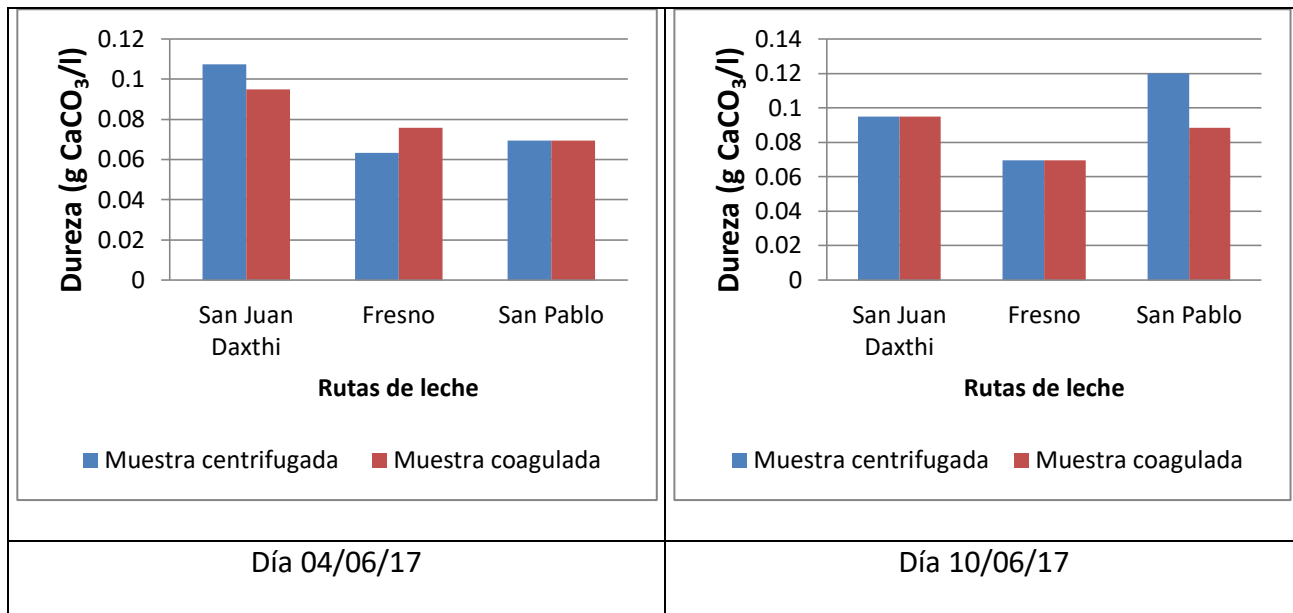


Gráfico 10. Comparativo de dureza de las etapas acondicionamiento-coagulación

Para las muestras del día 10/06/17 solo la ruta de San Pablo mostro cambio de 0.120 g CaCO<sub>3</sub>/l a 0.0884 g CaCO<sub>3</sub>/l lo cual representa un 26.33%.

Determinando el promedio de los datos experimentales de dureza de la tabla anterior se cuantifico en promedio 0.0895 g CaCO<sub>3</sub>/l, con este dato se clasifica al lactosuero como un residuo moderadamente duro.

#### Sólidos totales

En cuanto a sólidos totales de la etapa de coagulación (Gráfico 11) se removió 7.1% de las muestras del día 04/06/17 y 6.9% de las muestras del día 10/06/17.

De acuerdo al gráfico 12 en las muestras del día 04/06/17 San Pablo fue la ruta que presento mayor remoción con un 7.9%, San Juan Daxthi representa 7.3% y la de menor remoción fue El Fresno con 6.1%. En cuanto al día 10/06/17, El Fresno es la ruta de mayor remoción con 10.4%, San Juan Daxthi tiene 8% y la de menor remoción es San Pablo con 2.4%.

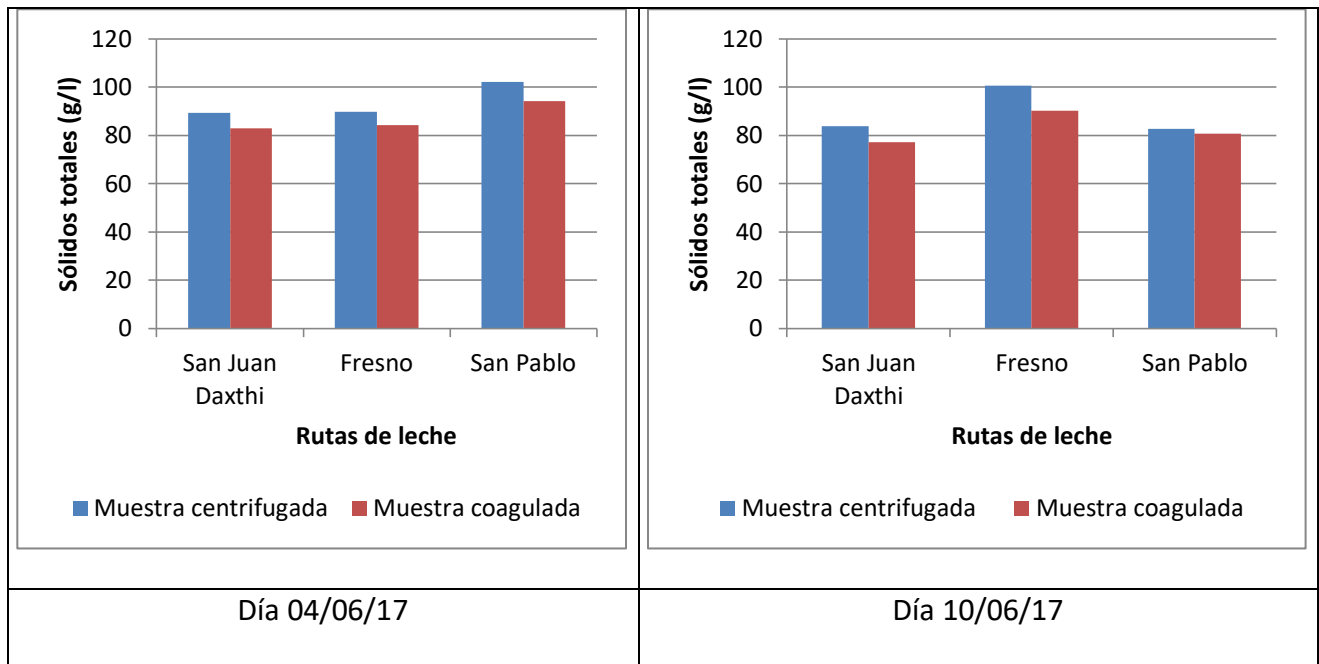


Gráfico 11 . Comparativo de sólidos totales de las etapas acondicionamiento-coagulación día 04/06/17

Cloruros.

La presencia de cloruros provienen del proceso de elaboración de queso, la coagulación-neutralización con  $\text{CaOH}_2$  no resulta efectivo ya que no presenta remoción.

## 5 Conclusiones

En este estudio se aplicó neutralización-coagulación con solución saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , centrifugando previamente y removiendo 73.2% en promedio diario de grasa; sin embargo quedan 1.906 g de grasa residual en el lactosuero que superan los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, que reporta 0.025g/l en promedio diario. En cuanto a los ST y turbidez se disminuyó en 17% y 48% por día, respectivamente en esta etapa de acondicionamiento.

El objetivo de este trabajo de investigación, se cumple al observar que la neutralización-coagulación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es posible con una dosis de 2.1 g/l de coagulante a 85°C, ajustandose el pH en un rango de 5.5-10 (D.O.F, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, 1996). La turbidez fue el parámetro de mayor remoción: en promedio de los dos días 62.2% , en cuanto a la dureza en promedio se cuantifico 0.0895 g  $\text{CaCO}_3$ /l, que clasifica al lactosuero como un residuo moderadamente duro. Con respecto a cloruros y materia orgánica, el tratamiento propuesto con  $\text{CaOH}_2$  no permite remoción por lo que se requiere de otra etapa para mejorar la calidad del lactosuero.

El tratamiento que proponemos requiere de otras etapas que ayudaría para que las queseras tuvieran un control de sus residuos y además poder utilizar este residuo para resolver el problema de escases de agua que presenta el municipio para riego agrícola.

Recomendaciones.

- ✓ Usar un sistema que permita una mayor remoción de grasas como una descremadora de mayor capacidad.
- ✓ Realizar pruebas a los lodos generados por el tratamiento con hidróxido de calcio sobre suelos de cultivo para la producción de forrajes y producción de maíz.
- ✓ Usar los desechos de la nixtamalización del maíz como fuente de hidróxido de calcio para el tratamiento del lactosuero transformándolo como un recurso de aprovechamiento.

- ✓ Los productores de queso pueden ser capacitados para disminuir contaminantes desde su proceso como el descremado a través de una centrifuga de platos para elaborar otros productos como crema.

**ANEXO 1**

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

D.O.F, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, 1996

PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen	au sen
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

## Glosario

Ácidos Grasos: Los ácidos grasos constan de cadenas hidrocarbonadas de longitud y grado

Aguas residuales: De acuerdo a la NOM-003-ECOL-1997 define a un agua residual como aquella de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Coloide: Un coloide, o dispersión coloidal, es un sistema en el cual una sustancia denominada fase dispersa (componente en menor proporción) se encuentra suspendida en otra que se conoce como fase o medio dispersor (componente en mayor proporción). El tamaño de partícula oscila entre 1-10 $\mu$ m.

Cuajada: Compuestos sólidos de la leche.

Extracto seco: La materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

Glicoproteínas: Unión de forma covalente de un grupo azúcar a una proteína.

Holoproteína: Una holoproteína está conformada exclusivamente por una secuencia de aminoácidos.

Isómero: Se denominan isómeros las sustancias que tienen igual composición de las moléculas (una misma fórmula molecular) pero distinta estructura química y que, por lo tanto, acusan distintas propiedades.

Pienso: Ración de alimento seco que se distribuye al ganado generalmente en horas fijas y en cantidades determinadas.

Punto Isoeléctrico: El pH al que una proteína muestra un mínimo de solubilidad.

Kilodalton: Unidad de masa molecular equivalente a 1.000 daltons. Un dalton es la décima parte de la masa del átomo de carbono y equivale a  $1,66 \times 10^{-24}$  g.



Medio receptor: Se denomina medio receptor a un curso de agua, río o arroyo; un lago, o un ambiente marino, bahía, estuario, golfo, al cual se descarga un efluente de aguas servidas, ya sea de áreas urbanas, de industrias, o de sistemas de riego.

Respiración endógena: Es la auto oxidación producida en los organismos debido a los procesos biológicos. Se da cuando se agotan las reservas de alimentos, también se da en microorganismos cuando metabolizan su materia celular sin reponerlo esto provoca su destrucción la tasa de respiración endógena se conoce como el coeficiente de autodestrucción de los organismos.

Percolación: Se refiere al paso lento de fluidos a través de materiales porosos.

Soluto: Sustancia que se disuelve, es decir, que se reparte o se dispersa en otra sustancia, que es el disolvente.

Tamizado: Método físico para separar dos sólidos formados por partículas de diferente tamaño.

## 6 Bibliografía

- ALAIS, C. (1998). *Ciencia de la leche. Principios de técnica lechera*. México: Compañía editorial continental, S.A. DE C.V. .
- Albarrán, J. D. (2012). Utilizacion de las proteínas del lactosuero, para la elaboracion de queso panela. México, Estado de México, Mexico.
- Andía, I. Y. (Abril de 2000). Tratamiento de agua, coagulacion y floculación. Lima.
- APHA, A. W. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Diaz de Santos S.A.
- Castro, E. R. (2010). *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. Chihuahua: Universidad autónoma de Chihuahua.
- D.O.F. (1996). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996*. Mexico.
- D.O.F. (s.f.). NMX-AA-034-SCFI-2015. *Analisis de agua-Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (Cancela ala NMX-AA-034-SCFI-2001)*.
- D.O.F. (s.f.). NMX-F-387-1982. Alimentos. Leche Fluida determinacion de grasa butírica por el Método de Gerber. .
- Díaz, F. C. (2010). *Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento del agua*. España: Gandulfo Impresores, S.L.
- García, I. O. (2008). *Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el uso del mismo*. México: Instituto Politecnico Nacional.
- Guiteras, J. R. (2003). *Curso experimental en Química Analítica*. Illustrated.
- Henry F. Judkins, H. A. (1989). *La leche su producción y procesos industriales*. Compañía editorial continental, S.A. DE C.V. México.
- Hernández, R. &. (2015). *web.udlap.mx*. Obtenido de *web.udlap.mx: web.udlap.mx/tsia/files/2015/5*

<http://ambientis.org/hogar/pagina300.html>. (15 de 03 de 2020). Obtenido de <http://ambientis.org/hogar/pagina300.html>

Ing. David Soriano Torres, I. M. (1990). *Estudio de la relación de tres materiales de encalado y tres fuentes de fertilizantes nitrogenados en algunas propiedades químicas de un suelo ácido de Jilotepec, Estado de Mexico y su influencia en el rendimiento de Zacate Ballico*. México: UNAM.

Lapeña, M. R. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona (España): Alfa Omega Boixareu editores marcombo.

Lehninger, A. L. (2015). *Bioquímica las bases moleculares de la estructura y función celular*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

Meyer, M. R. (1983). *Manual para la educación agropecuaria elaboración de productos lácteos*. México: Editorial trillas.

Moreno J., M. R.-M. (2015). *De residuo a recursos el camino a la sustentabilidad*. España: Compostaje red Española.

Moreno, A. S. (1995). *Química y bioquímica de los alimentos*. México: Dirección General de Difusión Cultural. Departamento de Publicaciones.

Moreno, J. M. (2015). *De residuo a recursos el camino a la sustentabilidad*. España: Compostaje red Española.

Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero. importancia en la industria de alimentos. *Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 62 (1)*, 4967-4982.

Pérez, G. L. (2009). *Tratamiento de aguas Manual de prácticas de laboratorio*. México: U.N.A.M.

Perez, S. V. (1985). *Química de las disoluciones Diagramas y calculos graficos*. España: Alhambra.

Powell, S. T. (1986). *Acondicionamiento de aguas para la industria*. España: Limusa.

Ramalho, R. S. (1993). *tratamiento de aguas residuales*. España: Reverté.

Rigaux, E. (1901). *La leche y el queso*. Madrid: Librería editoria de Bailli-Bailliere e hijos.

- Roberto. (1974). *Química fundamentos experimentales*. España: Reverte.
- Rosane R. Souza, M. L. (2008). Eliminación de Grasas del Suero de Queso para Obtener Proteínas y Lactosa. *Scielo*, 41-50.
- Sánchez, O. (2007). *Perspectiva sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de ecología.
- Spreer, D. I. (1991). *Lactología industrial leche preparación Máquinas, instalaciones y aparatos productos lácteos*. España: ACRIBIA, S.A. .
- Veisseyre, D. R. (1980). *Lactología técnica*. España: ACRIBIA.
- Walter Weber J., J. (2003). *Control de la calidad del agua Procesos Físicoquímicos*. España: Reverté, S. A.
- Warner, J. N. (1989). *Principios de l tecnología de lácteos*. México: AGT EDITOR, S.A.
- Zarza, J. (8 de Febrero de 2017). Datos de producción de queso. (J. González, Entrevistador)