



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

**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y
ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA
AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)**

María Elíizabeth Méndez Girón

Asesorado por el Ing. Estuardo Alfonso Castañeda Garza

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y
ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA
AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA ELÍZABETH MÉNDEZ GIRÓN

ASESORADO POR EL ING. ESTUARDO ALFONSO CASTAÑEDA GARZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de noviembre 2014.


María Elizabeth Méndez Girón



Guatemala 22 de Septiembre 2014


Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Ingeniero Monzón:

Por este medio informo a usted que he supervisado y revisado el informe Final del trabajo de graduación titulado **“CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)”**, elaborado por la estudiante **María Elizabeth Méndez Girón**, quien se identifica con el carne No. **200819007**, el cual he encontrado satisfactorio.

Atentamente.

Estuardo Alfonso Castañeda Garza
Ingeniero Químico
Colegiado Activo No. 652


Ing. Qco. Estuardo Alfonso Castañeda Garza
Asesor del Trabajo de Graduación
Colegiado Activo No. 652



Guatemala, 03 de noviembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.052.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **170-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **María Elizabeth Méndez Girón**.
Identificada con número de carné: **2008-19007**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Estuardo Alfonso Castañeda Garza**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

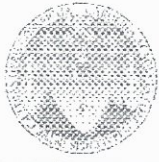
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.262.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARÍA ELÍZABETH MÉNDEZ GIRÓN** titulado: "**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA AFRICA (ELAEISGUINEENSIS) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (GLYCINEMAX)**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale





DTG. 686.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE DIFERENTES TIPOS DE OLEÍNAS DE PALMA AFRICANA (*Elaeisguineensis*) Y MEZCLAS CON ACEITE DE SOYA (*Glycinemax*)**, presentado por la estudiante universitaria **María Elizabeth Méndez Girón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 21 de noviembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el centro de mi vida, mi todo.

Mis padres

David Neptalí Méndez Méndez y Elizabeth Girón de Méndez, por todo su apoyo, amor, ayuda incondicional, consejos, regaños, pero sobre todo por ser dos ángeles en mi vida.

Mis hermanos

David Neptalí y Alicia Paola Méndez Girón, por ser luz en mi camino y por hacer que mis días estén llenos de felicidad, amor y compañía.

Mi abuela

María Alicia Martínez Morales, por ser más que una abuela una madre para mí, gracias por todo tu amor, consejos y por estar en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por acogerme y ser mi segunda casa durante mi vida universitaria.

**Mi asesor de trabajo de
graduación**

Ing. Estuardo Alfonso Castañeda Garza, por su ayuda y apoyo durante la elaboración de mi trabajo de graduación.

	2.2.8.2.	Cristalizadores industriales.....	19	
	2.2.9.	Curvas de enfriamiento	21	
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	23	
	3.1.	Variables	23	
		3.1.1. Independientes.....	23	
		3.1.2. Dependientes	23	
	3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	23	
	3.3.	Recursos humanos disponibles	24	
		3.3.1. Investigador.....	24	
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	24	
		3.4.1. Equipos en planta de producción	25	
		3.4.2. Equipos en área de Laboratorio de Aseguramiento de calidad.....	25	
			3.4.2.1. Refractómetro ATR serie W	26
			3.4.2.2. Serie minispec mq.....	27
			3.4.2.3. Baños termostáticos.....	28
			3.4.2.4. Cristalería	29
	3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29	
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	30	
	3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	31	
	3.8.	Análisis estadístico.....	37	
		3.8.1. Análisis de Varianza	37	
			3.8.1.1. Análisis de Varianza para la estabilidad térmica de las muestras analizadas.	37
			3.8.1.2. Arreglo experimental doble.....	40
		3.8.2. Resultados del análisis estadístico.....	44	

4.	RESULTADOS	55
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	85
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES.....	91
	BIBLIOGRAFIA.....	93
	APÉNDICES	99
	ANEXOS	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Interacción eutéctica de oleína de palma con otros aceites	8
2.	Fraccionamiento en dos etapas: cristalización y filtración.....	14
3.	Filtro prensa de membranas	18
4.	Aceite de palma en proceso de cristalización	18
5.	Oleína y estearina de palma	19
6.	Tanques cristalizadores convencionales con agitadores tipo impulsores.....	21
7.	Curva de enfriamiento de aceite típica.....	22
8.	Refractómetro ATR serie W	27
9.	Serie minispec mq u.....	27
10.	Baño termostático	29
11.	Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 7 a 8 °C.....	69
12.	Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 8 a 9 °C.....	71
13.	Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 9 a 10 °C.....	73
14.	Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 10 a 11 °C.....	75

15.	Comportamiento gráfico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 90 % aceite de soya y 10 % oleína de palma pura.	77
16.	Comportamiento gráfico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 80 % aceite de soya y 20 % oleína de palma pura.	79
17.	Comportamiento grafico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 70 % aceite de soya y 30 % oleína de palma pura.	81
18.	Comportamiento grafico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 60 % aceite de soya y 40 % oleína de palma pura.	83

TABLAS

I.	Materias primas del proceso de cristalización fraccionada	12
II.	Estabilidad térmica a diferentes temperaturas de muestras de oleína de palma pura.	31
III.	Observaciones en las muestras de oleínas de palma pura	32
IV.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	33
V.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	33
VI.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	34

VII.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	34
VIII.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	35
IX.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	35
X.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	36
XI.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	36
XII.	Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya	44
XIII.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína.	44
XIV.	Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya	45
XV.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína.	45
XVI.	Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya	46
XVII.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína.	46
XVIII.	Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya	47

XIX.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína.	47
XX.	Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya.....	48
XXI.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína.	49
XXII.	Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya.....	50
XXIII.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína.	50
XXIV.	Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya.....	51
XXV.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína.	52
XXVI.	Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya.....	53
XXVII.	Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína.	53
XXVIII.	Resultados experimentales obtenidos al analizar cada una de las muestras de oleína, después del proceso de fraccionamiento.....	55
XXIX.	Observaciones en las muestras analizadas en la oleína de palma pura.....	55
XXX.	Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 7 a 8 °C.....	60
XXXI.	Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 8 a 9 °C.....	61
XXXII.	Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 9 a 10 °C.....	62
XXXIII.	Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 10 a 11 °C.....	63

XXXIV.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	64
XXXV.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	65
XXXVI.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	65
XXXVII.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	66
XXXVIII.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	67
XXXIX.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	67
XL.	Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	68
XLI.	Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.....	68
XLII.	Comparación del comportamiento de la representación gráfica del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 7 a 8 °C.....	70

XLIII.	Comparación del comportamiento de la representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 8 a 9 °C.....	72
XLIV.	Comparación del comportamiento de la representación gráfica del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 9 a 10°C.....	74
XLV.	Comparación del comportamiento de la representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 10 a 11 °C.....	76
XLVI.	Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 90 % aceite de soya y 10 % oleína de palma pura.....	78
XLVII.	Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 80 % aceite de soya y 20 % oleína de palma pura.....	80
XLVIII.	Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 70 % aceite de soya y 30 % oleína de palma pura.....	82
XLIX.	Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 60 % aceite de soya y 40 % oleína de palma pura.....	84

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Gramos de muestra
h	Horas
mm	Milímetros °C Temperatura, grados Celsius
min	Minutos
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Aceite de palma	Mezcla compleja de diferentes triglicéridos con distintos puntos de fusión, situados entre los -50 y 70 °C, contiene alto contenido en ácido palmítico (aprox. 45 %).
Cristalización fraccionada	Es un proceso de separación termomecánico de los triglicéridos de alto y bajo punto de fusión por cristalización parcial seguido de una filtración.
Cristalizadores	Tubos cilíndricos en donde se lleva a cabo el enfriamiento del aceite y la curva de enfriamiento, controlada para el proceso de cristalización del aceite de palma R.B.D.
Curva de sólidos	Es la representación del porcentaje de componentes sólidos de una grasa con base en la temperatura.
Estearina	Componente sólido obtenido al momento del proceso de fraccionamiento del aceite, después del proceso de cristalización a temperaturas controladas.
Filtro de membranas	Es el utilizado para obtener la separación física de la parte líquida y la parte sólida del aceite de palma R.B.D.

Fraccionamiento	Proceso de enfriamiento controlado de aceite de palma R.B.D., con el objetivo de separar la parte líquida (oleína) de la parte sólida (estearina) por medio de filtración.
Índice de refracción	Es la expresión numérica de la proporción de la velocidad de la luz, dentro de un vacío, por la velocidad de la luz en una sustancia de prueba. Está relacionado con el grado de saturación y es afectado por otros factores, como el ácido graso libre, la oxidación y el tratamiento con calor.
Índice de yodo	Propiedad química que se encuentra relacionada con la instauración, índice de refracción y la densidad. Es directamente proporcional con el índice de refracción y la densidad.
Oléico	Es un ácido graso mono insaturado perteneciente a la serie omega 9. Este ácido es típico en los aceites vegetales como por ejemplo: aceite de palma, oliva, maní, etc.
Oleína	Componente líquido de diferentes tipos de aceites, obtenida a partir del primer fraccionamiento del aceite después del proceso de cristalización a temperaturas controladas.

Palmítico	Es también llamado ácido hexadecanoico. Ácido graso saturado de cadena larga, se encuentra formado por dieciséis átomos de carbono. Es el ácido graso más común que se encuentra en animales, plantas y microorganismos.
Punto de fusión	Temperatura a la cual una grasa pasa del estado sólido al estado líquido.
Punto de nube	Es aquella temperatura a la cual, bajo condiciones controladas, se induce en la muestra una nubosidad causada por las primeras etapas de cristalización.
R.B.D.	Siglas referentes a Refinado, Blanqueado y Desodorizado

RESUMEN

Una de las pruebas utilizadas para el aseguramiento de calidad de oleínas de palma y otro tipo de aceites es la estabilidad térmica, esta prueba consiste en observar el comportamiento de la oleína expuesta a diferentes temperaturas en función del tiempo.

A pesar de utilizar esta prueba, muchas de las oleínas al momento de ser envasadas, almacenadas y distribuidas y llegar a climas relativamente fríos, tienden a cristalizarse y presentar consistencia turbia después de un corto tiempo. Esta situación es motivo de rechazo por parte del consumidor, ya que aunque este fenómeno no incida directamente en el uso que se le dé a la oleína (fritura), para el consumidor es preferible consumir un aceite que se vea líquido y cristalino en lugar de un aceite cristalizado y turbio.

Debido a esta problemática y a la necesidad de poder determinar el comportamiento que tendrán las oleínas, antes de ser almacenadas y distribuidas, se realizó una cuantificación y caracterización del porcentaje de sólidos y estabilidad de las mismas.

Para ello se realizó un estudio experimental con diferentes muestras de oleína, dichas muestras fueron obtenidas directamente después del proceso de fraccionamiento, las cuales fueron analizadas por medio de diferentes pruebas realizadas en un laboratorio de aseguramiento de calidad; entre las pruebas realizadas estuvieron: punto de nube, estabilidad térmica, porcentaje de sólidos e índice de yodo.

Por medio de dichas pruebas se obtuvieron diferentes resultados, en los cuales se reflejó la influencia que tiene tanto la acidez del aceite crudo sin refinar en el producto final, que en este caso es la oleína como el índice de yodo.

Conforme los resultados obtenidos luego del muestreo realizado se observó que la calidad del aceite final, se puede determinar realizando las pruebas de punto de nube, estabilidad térmica, índice de yodo y porcentaje de sólidos, puesto que según los resultados obtenidos un aceite con índice de yodo alto, porcentaje de sólidos y punto de nube bajo, presentará una mayor resistencia a la cristalización, indicando de esta manera que la calidad de dicho aceite en diferentes climas a los que sea distribuido o expuesto será óptima, y si la oleína muestreada no presenta un comportamiento óptimo para temperaturas bajas, (no cumple con los resultados esperados en las pruebas mencionadas anteriormente), pueden realizarse mezclas con aceite de soya para compensar los sólidos presentes en el aceite, debido a que el aceite de soya posee una cantidad diminuta de sólidos.

OBJETIVOS

General

Cuantificar y caracterizar el contenido de sólidos y estabilidad térmica de diferentes tipos de oleínas de palma africana y mezclas con aceite de soya.

Específicos

1. Determinar el contenido de sólidos (grasa sólida) en las oleínas de palma africana en función de la temperatura.
2. Determinar el contenido de sólidos (grasa sólida) presentes en las oleínas de palma africana, mezclada con aceite de soya en función de la temperatura.
3. Realizar un análisis de la estabilidad térmica de las oleínas de palma africana, colocándolas en un baño de temperatura controlada.
4. Realizar un análisis de la estabilidad térmica de las oleínas de palma africana mezcladas con aceite de soya, colocándolas en un baño de temperatura controlada.
5. Elaborar curvas características considerando la cantidad de sólidos presentes en las oleínas y su estabilidad térmica.

Hipótesis

Se puede predecir la resistencia hacia la cristalización prematura de la oleína de palma a diferentes temperaturas, a partir del conocimiento del porcentaje de sólidos presentes y su estabilidad térmica.

Hipótesis nula

1. La estabilidad térmica no presenta diferencia significativa a distintas proporciones de oleína y soya.

$$\mu_{ET(pura)} = \mu_{ET(90/10)} = \mu_{ET(80/20)} = \mu_{ET(70/30)} = \mu_{ET(60/40)}$$

2. El porcentaje de sólidos no presenta diferencia significativa a distintas temperaturas y proporciones de oleína.

$$\mu_{sólidos(pura)} = \mu_{sólidos(90/10)} = \mu_{sólidos(80/20)} = \mu_{sólidos(70/30)} = \mu_{sólidos(60/40)}$$

Hipótesis alternativa

1. La estabilidad térmica presenta diferencia significativa a distintas proporciones de oleína y soya.

$$\mu_{ET(pura)} \neq \mu_{ET(90/10)} \neq \mu_{ET(80/20)} \neq \mu_{ET(70/30)} \neq \mu_{ET(60/40)}$$

2. El porcentaje de sólidos presenta diferencia significativa a distintas temperaturas y proporciones de oleína.

$$\begin{aligned} \mu_{sólidos(pura)} &\neq \mu_{sólidos(90/10)} \neq \mu_{sólidos(80/20)} \neq \mu_{sólidos(70/30)} \\ &\neq \mu_{sólidos(60/40)} \end{aligned}$$

INTRODUCCIÓN

El aceite de palma es un triglicérido de origen vegetal obtenido por medio del prensado del mesocarpio del fruto de la palma africana (*Elaeisguineensis*). Dicho aceite es utilizado en diferentes aplicaciones, siendo una de ellas las frituras. La oleína de palma es la fracción más líquida de dicho aceite, obtenida por medio del proceso de fraccionamiento en el cual se obtiene también la parte sólida llamada estearina.

El aceite de palma pasa por un proceso de refinado antes de su comercialización y consumo, dicho proceso consta de diferentes etapas, las cuales son pretratamiento, blanqueo y desodorizado. Una vez que se tiene aceite de palma RBD se puede pasar al proceso de fraccionamiento para obtener la oleína, la cual antes de ser envasada debe ser analizada con pruebas fisicoquímicas en el laboratorio de calidad, para poder garantizar que su comportamiento y estabilidad serán óptimas para su distribución, almacenamiento y/o uso.

Durante la etapa de fraccionamiento, el aceite de palma es procesado a través de filtros, por medio de los cuales se obtienen los dos productos mencionados anteriormente. Por ello los equipos utilizados para este proceso deben de estar en óptimas condiciones y ser monitoreados constantemente, para que los parámetros de medición se mantengan en el rango establecido.

La oleína obtenida en la etapa de fraccionamiento, es comercializada a diferentes lugares con diferentes climas y condiciones de almacenamiento. Bajo condiciones de temperaturas inferiores a 15 °C la oleína puede llegar a cristalizarse o nublarse, y esto será motivo de reclamos y rechazos por parte del consumidor final.

No teniendo un fundamento experimental que demuestre que la oleína se comportará de una manera estable, es necesaria la experimentación de las mismas a diferentes temperaturas y a diferentes porcentajes de mezcla con aceite de soya, entre las pruebas necesarias que se deben realizar se encuentran la estabilidad térmica, porcentaje de sólidos, índice de yodo y punto de nube.

1. ANTECEDENTES

La oleína es el componente líquido de diferentes tipos de aceites, obtenida a partir del primer fraccionamiento del aceite después del proceso de cristalización a temperaturas controladas. Es característico por ser un producto líquido a temperaturas cálidas.

El proceso de fraccionamiento se comenzó a utilizar ampliamente en la década de 1970 en Malasia, con el fin de la exportación de aceite comestible a otros países (Historia Mundial de los Alimentos de Cambridge).

Después del proceso de fraccionamiento, se obtienen dos componentes; el componente sólido se denomina estearina y el líquido oleína; seguidamente de dicho proceso, es sometida a un proceso de blanqueo y refinación física. La oleína es utilizada para aceites líquidos comestibles, ya sea de forma pura o mezcla con algunos otros aceites líquidos.

Según cada uno de los estudios realizados, se describe como un aceite muy estable a alta temperatura por su composición de ácidos grasos. Por su estabilidad, composición y su estructura de triglicéridos, se ha demostrado como uno de los mejores productos utilizados en frituras industriales, platos deshidratados y congelados e ingredientes en muchas comidas. Debido a su gran resistencia a la oxidación le da una mayor durabilidad y menor consumo.

En Guatemala no se cuenta con estudios preliminares sobre el comportamiento y estabilidad térmica de oleínas de palma, la mayoría de dichos estudios se encuentran en las diferentes empresas dedicadas a la fabricación

de dicho producto. Entre los diferentes estudios realizados sobre oleínas de palma se pueden citar las siguientes tesis:

Estudio de la hidrogenación de la oleína del aceite de palma africana para la obtención de grasas modificadas, Jairo Alexander Gallego Quintero, José Julián Córdoba Páez, Universidad Industrial de Santander, 2005.

Validación del Método de determinación de ácidos grasos libres MO-MAN009 Sec II edición 05 vrs Método AOCS CA 5ª-40. Juan Luis Arriola Illescas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008, en la cual se realiza una validación entre dos metodologías utilizando como materia prima oleínas de palma.

Mezcla de oleína de palma para mejorar el punto de nube, Dr. Nor Aini Idris, *El Palmicultor*, septiembre 1994, en el cual se realiza un estudio del comportamiento y propiedades de las oleínas a diferentes temperaturas y porcentajes de mezclas de oleínas con otros tipos de aceites.

Bajo los lineamientos y documentos citados anteriormente, nace la idea de realizar la cuantificación y caracterización entre el contenido de sólidos y estabilidad térmica de diferentes tipos de oleínas de palma, con el objetivo de predecir el comportamiento de las oleínas al momento de su utilización en plantas refinadoras de aceites, luego de su envasado y distribución a diferentes lugares con diferentes climas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son una clase de materiales lipídicos producidos ya sea por plantas o animales. Son obtenidas generalmente por prensado para una posterior extracción con solvente; tienen la característica de ser solubles en la mayoría de disolventes orgánicos como el hexano, tetracloruro de carbono, éter de petróleo y éter etílico, pero insolubles en agua. Los aceites y las grasas son mezclas de triglicéridos, en donde la molécula de glicerol tiene tres átomos de hidrógeno y tres grupos OH o hidroxilo, al combinar tres ácidos grasos con una molécula de glicerol, se obtiene un triglicéridos. El ácido graso adherido al triglicérido es el que define las propiedades de la molécula de aceite o grasa.

Los aceites y grasas constituyen una de las tres principales clases de productos alimentarios. Las otras son las proteínas y los carbohidratos. Los aceites y grasas son nutrientes esenciales de la dieta humana y son fuente de energía concentrada¹. Las grasas y aceites de origen vegetal se encuentran presentes en la semilla de diferentes plantas como la soya, maíz, ajonjolí entre otras, así como también en frutas y almendras como el coco, palma, palmiste (almendra de palma) y oliva.

¹H.B.W. Patterson. *Bleaching and Purifying Fats and Oils, Theory and Practice.*, p. 14 a 29.

La mayoría de los aceites no refinados contienen cantidades relativamente elevadas de ácidos grasos libres. El aceite crudo de palma contiene del 3,0 al 5,0 % de ácidos grasos libres. Los aceites y grasas refinados listos para el uso en alimentos tienen habitualmente un nivel de ácidos grasos libres inferior al 0,05 %.

2.2. Aceite de palma

Se obtiene del fruto de la palma (*Elaeis guineensis*). Originaria del golfo de Guinea, en África Occidental, en la actualidad su cultivo se ha extendido por todas las regiones tropicales del mundo. Debido a su mejor rendimiento por hectárea, sus bajos costes de producción y sus múltiples usos, la palma se convirtió en la principal fuente de aceite vegetal del planeta por delante de la soja, con 37 millones de toneladas producidos el año pasado (31 % de producción mundial de aceite comestible).

El aceite de palma rojo, o “aceite de palma” propiamente dicho, se obtiene de la pulpa. Representa entre el 18-26 % del peso fresco de un racimo. Antes de ser refinado o tratado, este aceite está considerado como el alimento natural más rico en vitamina A (cerca de 15 veces más que la zanahoria). Es, por lo tanto, un alimento muy valioso en los casos en que existen carencias en la dieta, particularmente en África. Sin embargo, durante el proceso de refinado pierde características como su valor nutritivo o calidad de sus ácidos grasos².

El aceite crudo de palma es actualmente el segundo aceite de mayor consumo a nivel mundial y el de mayor nivel de exportación.

²Amigos de la Tierra, *Aceite de palma: usos, orígenes e impactos*, pg. 1

Los mayores productores de este aceite son Malasia e Indonesia, sin embargo cada vez son más importantes las producciones de los países como Colombia y Ecuador y de países centroamericanos, como Honduras, Costa Rica y Guatemala.

El aceite de palma es una sustancia insoluble en agua, constituido por esterres de ácidos grasos que están unidos a una molécula de glicerol. Los triglicéridos representan más del 94 % del peso del aceite de palma. Los componentes menores incluyen ácidos grasos libres (3 a 5,0 %), mono y di glicéridos (0,5 a 1,0 %), carotenos (500 a 700 ppm), tocoferoles (600 a 1 000 ppm), esteroides (300 a 600 ppm), fosfolípidos (10 a 30 ppm) productos de oxidación, alcoholes grasos, humedad e impurezas sólidas.

Para la utilización y obtención de un aceite RBD estable y con la menor posibilidad de reversión, y que cumpla eficientemente con las especificaciones necesarias y deseadas, es necesario realizar el proceso de refinación o purificación del aceite crudo, el cual es un proceso físico, dichas etapas son las siguientes:

- Almacenamiento: es la etapa de normalización del aceite crudo o refinado, la cual permite disponer de un inventario suficiente para obtener procesos estables y eficientes. Cada uno de los tanques utilizados para depositar los aceites, se encuentran diseñados para proteger la materia prima contra procesos de degradación.
- Blanqueo y desgomado: esta segunda etapa permite la remoción de sustancias perjudiciales para el aceite, su objetivo es obtener un aceite RBD estable al eliminarle los productos de oxidación por medio de la utilización de tierras de blanqueo, facilitando la retención de las

sustancias bajo condiciones preestablecidas de tiempo, temperatura y agitación, para luego filtrar el aceite.

- Desodorización: última etapa de refinación, caracterizada por el arrastre de los componentes más volátiles y las sustancias que le dan olor y sabor al aceite, mediante arrastre con vapor a altas temperaturas y vacío absoluto, realizándose también la reducción de los carotenos.
- Fraccionamiento: es la separación de las fracciones más líquidas de las más sólidas del aceite. Se logra mediante un enfriamiento controlado, el cual permite que se formen cristales de las fracciones más sólidas; esa suspensión se somete a filtración para lograr la separación definitiva de ambas fracciones. Normalmente a la fracción líquida se le llama oleína y a la fracción sólida estearina.

2.2.1. Oleína de palma

Es el componente líquido del aceite obtenido al momento de la separación por medio de la etapa de fraccionamiento. El componente sólido obtenido es llamado estearina de palma. La oleína de palma se compone principalmente de grasa, no tiene grasas trans, las que se forman por el agregado de hidrógeno a muchos aceites poliinsaturados para hacerlos semisólidos.

2.2.2. Estabilidad térmica

La selección y utilización de un aceite en una aplicación específica, depende de sus propiedades fisicoquímicas. Con el fin de adaptar a una aplicación específica dichos aceites, se han buscado maneras y técnicas que ayuden a modificar las características de las mismas. La mezcla de aceites

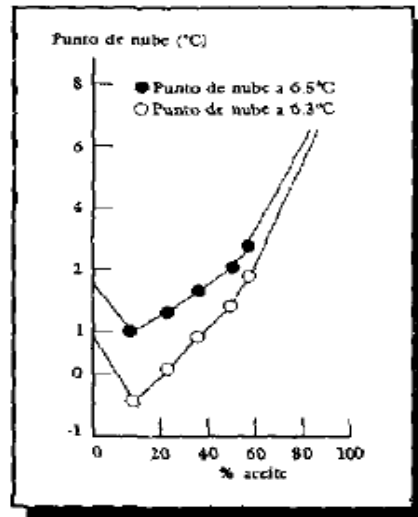
afecta esencialmente sus propiedades físicas más que las químicas, dicho proceso produce un cambio en la composición triglicérida, y puede utilizarse para preparar aceites o grasas con un contenido específico de grasa sólida a una temperatura dada.

La oleína de palma, que es la fracción líquida del aceite de palma, en países de la zona templada o cuando existen variaciones de temperatura (temperatura baja), tiende a cristalizarse, la calidad de la misma no se ve afectada, pero a la vista del consumidor sí, debido que se espera un aceite transparente y no un aceite opaco y cristalino.

La mezcla de oleína de palma y aceites vegetales cuyo nivel de insaturación es mayor, produce una mezcla mucho más estable y no cristalizable fácilmente a temperaturas bajas, es por ello que permanecen transparentes durante más tiempo.

Al momento de mezclar oleína de palma con ciertos aceites, se encontró que produce una interacción eutéctica.

Figura 1. Interacción eutéctica de oleína de palma con otros aceites



Fuente: LÓPEZ CASTELLANOS, Oscar Gerardo. “Manual de Operación y Mantenimiento del equipo de Cristalización de Mantecas en una Industria de Aceites y Grasas”, p. 6.

En estudios anteriores de estabilidad al frío con una mezcla de oleína de palma, de un solo fraccionamiento (índice de yodo de 56 a 58) con otros aceites vegetales, se determinó que con solo incorporar una pequeña cantidad de oleína de palma del 10 al 12 %, esta pasaría la prueba de frío, permaneciendo transparente a 15 °C durante tres meses aproximadamente, y a 20 °C agregándole un porcentaje más alto de oleína de palma de un solo fraccionamiento.

Según estudios realizados recientemente sobre la estabilidad de la oleína de palma de doble fraccionamiento con otros aceites vegetales, indicaron que puede ser agregado hasta un 70 % de oleína de palma con un índice de yodo de 65, obteniendo un producto totalmente transparente con duración de hasta 90 días a 20 °C.

En las mezclas de oleína de palma doblemente fraccionada con un índice de yodo de 65 con aceite de soya, las mezclas que contenían una mayor cantidad de oleína de palma de doble fraccionamiento (70-100 %) presentaban pequeños cristales en el fondo; de lo contrario las muestras eran prácticamente transparentes.

A los 120 días de observación, los resultados fueron similares a las de 90 días, salvo que la mezcla de oleína de palma de doble fraccionamiento con índice de yodo de 65, con aceite de soya (60/40) presentaba pequeños cristales en el fondo. Las mezclas de oleínas de palma de doble fraccionamiento con índice de yodo de 60, con aceite de soya eran prácticamente transparentes a 20 °C a los 90 días, con excepción de unos pocos cristales pequeños presentes encima y en el fondo de la mezcla de 80/20 y 90/10.

Las mezclas realizadas de cien por ciento oleína de palma de doble fraccionamiento con un índice de yodo de 60, presentaban formación de cristales en la superficie y en el fondo del centro del envase plástico. Las mezclas con un contenido del 50 % de oleínas de palma de doble fraccionamiento y un índice de yodo de 60, permanecían totalmente transparentes a los 120 días.

A temperaturas más bajas de 10 °C, la mezcla de oleínas de palma de doble fraccionamiento con un índice de yodo de 65 con aceite de soya 70:30, formaban sedimentos en el fondo del envase a los 75 días. Solamente se podía agregar una proporción del 30 % de oleínas de palma de doble fraccionamiento con un índice de yodo de 65, con el fin de obtener una mezcla transparente por un período mínimo de 100 días.

Según resultados obtenidos en pruebas anteriores realizadas conforme el paso del tiempo, han demostrado que la mezcla de oleína de palma y otros aceites vegetales mejora la estabilidad al frío.

Es posible agregar hasta un 70 % de oleínas de palma de doble fraccionamiento con índice de yodo de 65, al aceite de soya para obtener una mezcla transparente por un mínimo de 120 días a 20 °C. Pero a una temperatura de 10 °C, solamente se puede agregar un 30 % de oleínas de palma de doble fraccionamiento con índice de yodo de 65 al aceite de soya.

2.2.3. Punto de nube

Es aquella temperatura a la cual, bajo diferentes condiciones, se induce en la muestra una nubosidad causada por las primeras etapas de cristalización.

2.2.3.1. Método para la determinación del Punto de nube

El método se basa en la propiedad de cristalización de los ácidos grasos de más alto peso molecular presentes en la muestra de grasa en estado líquido, al bajar la temperatura por debajo de su punto de fusión.

2.2.4. Curva de sólidos

Es la representación del porcentaje de componentes sólidos de una grasa en base a la temperatura. Debido a que una grasa es una mezcla de diferentes triglicéridos, no funde a una temperatura fija, sino que a lo largo de un intervalo de temperaturas a medida que van fundiendo sus componentes individuales.

El comportamiento de una grasa ante la fusión no está definido completamente por su punto de fusión final, en donde todos los componentes son líquidos, es por ello la necesidad de representar dicho porcentaje de grasa sólida en base a la temperatura.

Para la elaboración de dicha curva es necesario medir por medio de resonancia magnética el porcentaje de sólidos a 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 °C de temperatura.

2.2.5. Fraccionamiento o cristalización fraccionada

El proceso de fraccionamiento del aceite es considerado como un proceso de modificación termomecánico, en donde los triglicéridos componentes del aceite son separados como una mezcla de cristalización parcial, el aceite de palma, debido a la composición de ácidos grasos que presenta 40 % de saturados, principalmente palmítico, y un 40 % de insaturados mayormente oleico, tiene la particularidad de separarse en dos fases: una sólida llamada estearina y una líquida llamada oleína, cuando se lo deja estacionar durante su almacenamiento a temperatura ambiente.

Durante el paso del tiempo, se han buscado y desarrollado diferentes métodos para fraccionamiento de diferentes aceites, con el objetivo de modificar su punto de fusión y textura, aislando diversas clases de triglicéridos sin cambiar la distribución de la posición de los ácidos grasos.

El fraccionamiento, también llamado cristalización fraccionada, está basado únicamente en principios físicos de separación del aceite sin la modificación química de los triglicéridos. Es una técnica con aplicación en diversas materias grasas.

Se utiliza para la modificación de grasas y aceites, con el fin de otorgarles las características físicas y químicas requeridas para su funcionalidad final. Se llevan a cabo procesos de refinamiento y modificación química de los aceites previos al fraccionamiento, con el fin de optimizar los resultados.

Tabla I. **Materias primas del proceso de cristalización fraccionada**

Aceites vegetales	Grasas animales
Aceite de palma	Grasa bovina
Aceite de algodón	Grasa ovina
Aceite de soja hidrogenado	Grasa de la leche
Aceite de palmiste	Aceite de pescado
Aceite de girasol, alto esteárico alto oleico	

Fuente: *Desarrollos en la tecnología de fraccionamiento*. Libro de Oro de A&G – 10° Aniversario
– Tomo II, p. 225,

2.2.6. Ventajas de la cristalización fraccionada

- Proceso físico de separación.
- Totalmente reversible.
- No implica cambios en la composición química de la grasa.
- El producto obtenido no contiene ácidos grasos Trans.
- Permite obtener fracciones especiales de funcionalidad específica, como son los sustitutos de la manteca de cacao.
- Costos de operación menores que otros procesos de modificación de grasas.
- Se aplica a aceites crudos, refinados o modificados previamente por interesterificación o hidrogenación.

- Equipos automatizados, a distintas escalas, que facilitan las operaciones durante el proceso.

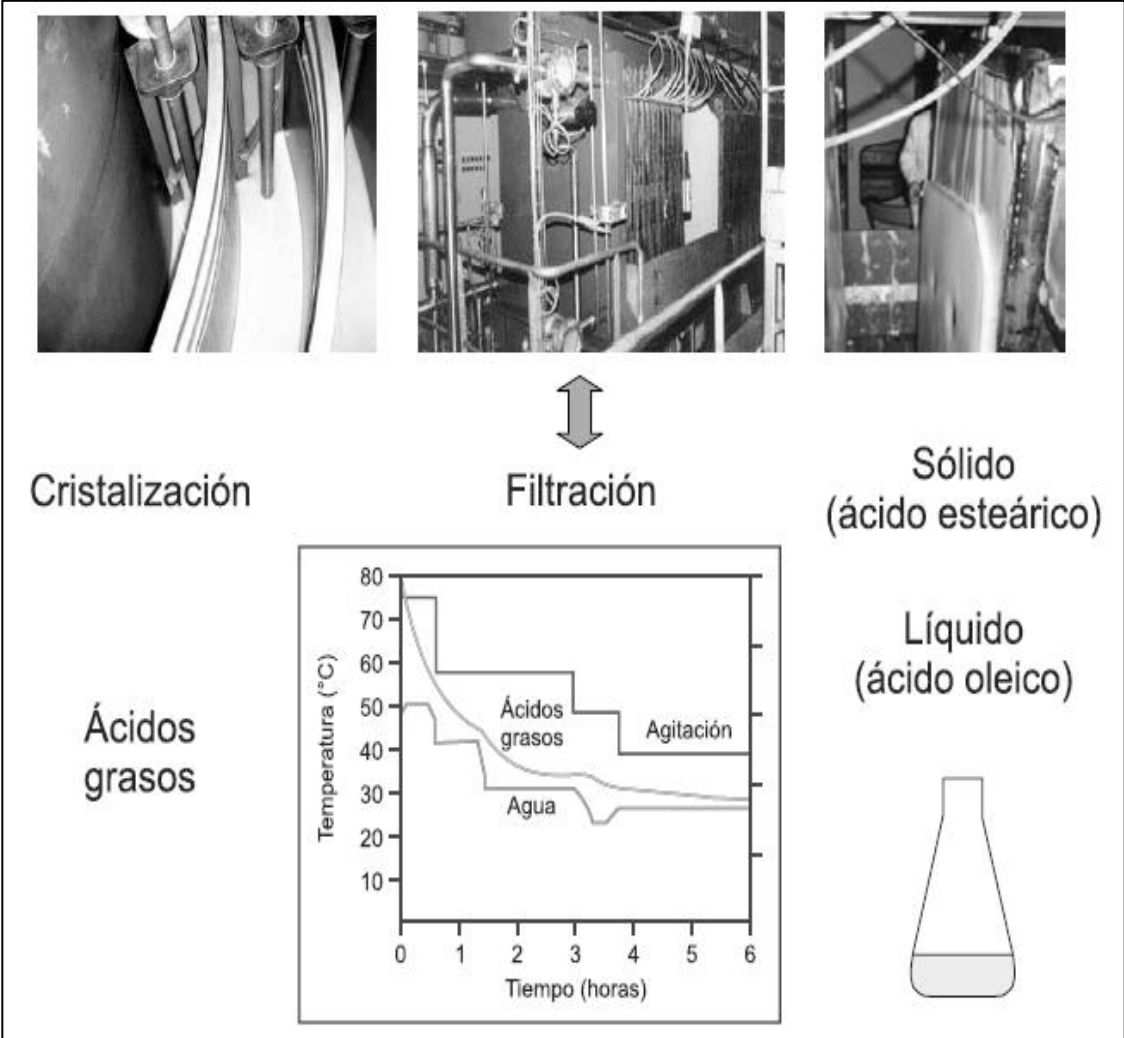
2.2.7. Fraccionamiento en seco (cristalización fraccionada)

Es el proceso utilizado para la obtención de la oleína analizada en el trabajo que se presenta, consiste en la separación de las distintas fracciones de una grasa o aceite, por medio de cristalización bajo enfriamiento controlado hasta una temperatura final determinada, el producto final no requiere tratamientos posteriores, es la técnica más simple y económica desarrollada.

Comprende dos etapas principales: cristalización y separación, es sumamente necesario que las condiciones del proceso estén perfectamente determinadas, las cuales en mayor medida dependen de la materia prima y del producto final que se desea obtener.

Es necesario realizar los análisis y monitoreo necesarios para determinar de esta forma la curva de enfriamiento del aceite o grasa, y evaluar el comportamiento de las mismas bajo las condiciones de proceso en las que se encuentran.

Figura 2. Fraccionamiento en dos etapas: cristalización y filtración



Fuente: PORIM. International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century., p. 337.

2.2.8. Cristalización

Es un proceso sumamente delicado e importante al momento de realizar la etapa de fraccionamiento, puesto que si se logra que la grasa cristalice de la manera indicada, la etapa de separación posterior por filtración se llevará a cabo con facilidad y los resultados serán óptimos, es por ello que debe llevarse un control estrictamente monitoreado de las variables y parámetros de cristalización durante el enfriamiento.

La cristalización del aceite de palma se divide en las siguientes etapas:

- “Formación de núcleos: se calienta la materia grasa a fraccionar hasta una temperatura mayor a la de su punto de fusión, de forma tal de fundir todos los cristales de la fase sólida, esto se lleva a cabo en un equipo denominado homogeneizador o cristizador. Con esto se logra que la formación de núcleos de cristalización se determine por factores externos, mediante el control de la temperatura de enfriamiento, de acuerdo al esquema o curva de enfriamiento determinada que depende de la materia prima, del producto final y de los equipos de fraccionamiento con los que se trabaje, principalmente del diseño de cristizador elegido. La formación de núcleos se establece cuando las condiciones de presión y temperatura son tales, que el aceite fundido está superenfriado y puede llevarse a cabo por tres tipos distintos de fenómenos:”
- “Formación de núcleos homogénea: se da en fases líquidas superenfriadas sin impurezas, cuando las moléculas del líquido se unen formando grupos crecientes, que si se mantienen estables y el nivel de sobresaturación es suficiente, llegan a formar un núcleo de cristalización.

- Formación de núcleos heterogénea: se lleva a cabo por la presencia de impurezas o sustancias extrañas que actúan como aceleradores de la cristalización”.
- “Formación de núcleos secundaria: es la fase posterior a la formación de núcleos por otro fenómeno, se debe a las partículas que pueden perderse de los cristales ya formados”.
- “Crecimiento del cristal: la temperatura y la viscosidad son las variables que determinan la velocidad de crecimiento de los cristales, después de la formación de los núcleos. La viscosidad del sistema aumenta progresivamente cuando los cristales de la fase sólida empiezan a crecer, afectando la transferencia de la temperatura”³.

El equipo en donde se lleva a cabo el proceso de cristalización debe poseer un sistema de agitación continuo, que pueda ser ajustado según la etapa del proceso y el producto que se desee obtener. La agitación continua permite mantener una condición homogénea dentro del cristalizador ayudando a que la cristalización sea uniforme.

2.2.8.1. Filtración

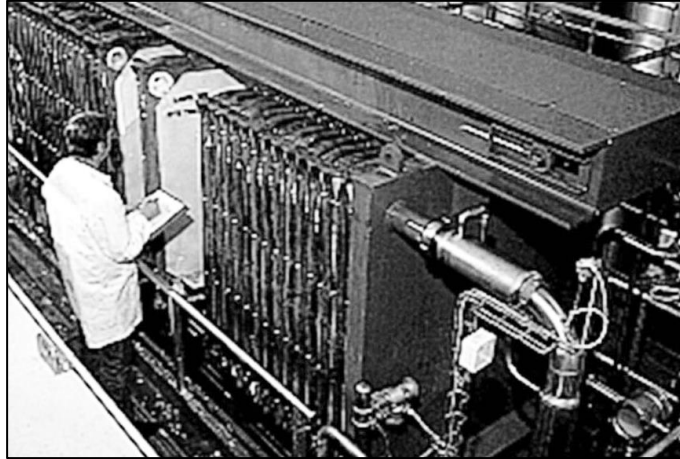
Después de la formación de cristales, la oleína y estearina (producto del aceite de palma) se bombean hasta un filtro, el cual deja pasar la fracción líquida (oleína), mientras que a la fracción sólida (estearina) la retiene.

³ Tecnologías para la Industria Alimentaria, Ficha No. 10, Alimentos Argentinos – MinAgri, *Cristalización Fraccionada*, 5.

La oleína obtenida es bombeada hacia un tanque de almacenamiento, mientras que la estearina que queda conformando la torta entre los filtros se separa de ellos por vibración. Las tortas de estearina que quedaron retenidas, son liberadas hacia una especie de tolva, para luego pasar a un tanque donde se funden y obtener la estearina líquida, la cual es bombeada hasta un tanque independiente al de la oleína para su almacenamiento.

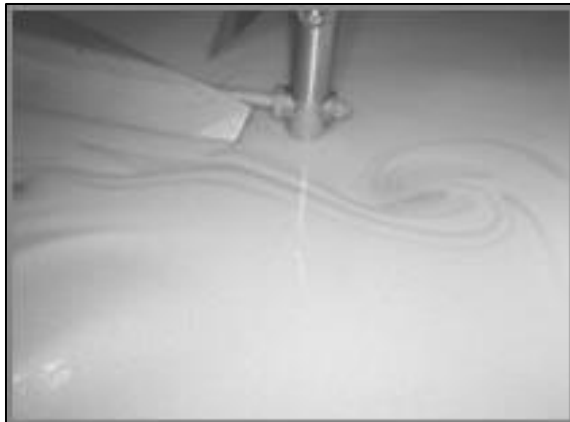
Para el proceso de filtración es utilizada una prensa de membranas y filtros de diferentes tipos. Las placas utilizadas para la filtración pueden trabajar con cámara vacía debido a que en ocasiones las tortas son muy finas, es de suma importancia evitar que las membranas utilizadas en el proceso de filtración no se rompan. Es importante utilizar filtros prensa de alta eficiencia, para asegurar la obtención de estearina pura, es por ello que por lo general se utilizan filtros de alta presión para un espesor de torta de 25 mm, y para la descarga utilizar un sistema automático debido a que las tortas de estearina pueden ser pegajosas.

Figura 3. **Filtro prensa de membranas**



Fuente: PORIM. International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century.
p. 318.

Figura 4. **Aceite de palma en proceso de cristalización**



Fuente: PORIM. International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century.
p. 319.

Figura 5. Oleína y estearina de palma



Fuente: PORIM. International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century.
p. 319.

2.2.8.2. Cristalizadores industriales

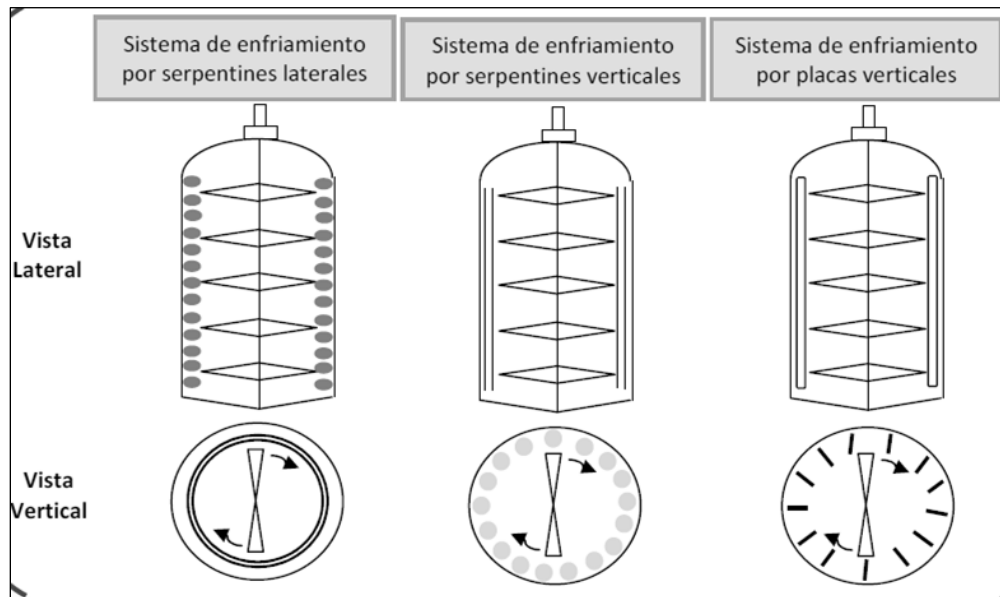
Con el fin de que la materia grasa que va a fraccionarse siga una curva de enfriamiento y cristalización definida, los términos enfriamiento, agitación, sobresaturación, entre otros, deben controlarse en un cristalizador, las características que definen a un cristalizador óptimo son:

- Superficie de enfriamiento por unidad de volumen: M^2/M^3 . La transferencia de calor depende de la superficie de enfriamiento: $Q = K \times S \times DT$.
- El coeficiente de transmisión K es determinado por la velocidad de agitación del cristalizador, cuando mayor sea la agitación, mayor es el coeficiente de transmisión.

- A fin de optimizar la curva de enfriamiento de cristalización, es necesaria una velocidad de giro variable de los agitadores.
- La distancia entre cada partícula de aceite y la superficie de enfriamiento debe ser lo más pequeña posible para conseguir que cada partícula del producto tenga la misma temperatura.
- Las partículas no deben permanecer inmóviles, se debe tratar que se acerquen lo más que sea posible a la pared de enfriamiento, para la eliminación de la energía de cristalización.
- El diseño de la agitación es fundamental para el coeficiente de transferencia calorífica.
- Un cristalizador correctamente diseñado se alcanzan coeficientes de intercambio calorífico entre 100 y 175 Kcal/h M² °C.

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los factores importantes que se lleva a cabo dentro de un cristalizador es la agitación, si se da una agitación orientada origina un proceso de enucleación secundaria, mientras que si se da una agitación excesiva se provoca la formación de un gran número de cristales pequeños, originando una masa imposible de filtrar. Si un cristalizador se encuentra diseñado correctamente, la temperatura no debe elevarse al iniciarse la cristalización, puesto que un aumento incontrolado de la temperatura puede provocar que se fundan los cristales y originen un magma imposible de filtrar.

Figura 6. **Tanques cristalizadores convencionales con agitadores tipo impulsores**



Fuente: Tecnologías para la Industria Alimentaria, *Cristalización Fraccionada*. Alimentos Argentinos – MinAgri, Ficha No. 10 p. 9

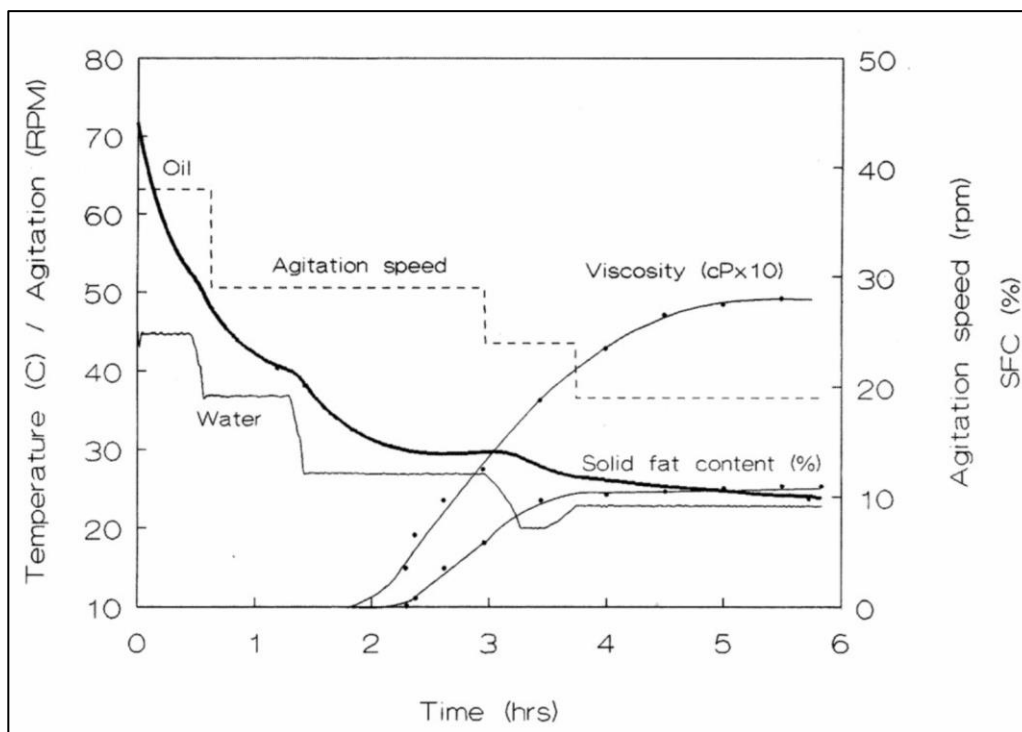
2.2.9. Curvas de enfriamiento

“Por medio de esta curva, se regula la velocidad de enfriamiento y el tiempo de residencia del aceite en el cristizador para cada temperatura. La posibilidad de controlar la temperatura del líquido refrigerante dentro de un perfil de temperaturas bien definido, permite crear un perfil preciso de temperaturas en el aceite, que respeta al mismo tiempo, el tiempo de residencia requerido para controlar la velocidad de enucleación a una temperatura determinada, el tamaño de cristal y la cantidad de aceite ocluido en los cristales”.

“Para poder determinar la curva óptica de enfriamiento de cristalización, se pueden utilizar diferentes dispositivos de laboratorio como la resonancia

magnética nuclear (RMN), que permite medir la cantidad de grasas cristalizada, determinar el momento en que la cristalización inicia y cuando el contenido de grasas cristalizadas se ha estabilizado. Para saber el momento exacto en que debe realizarse la filtración se puede utilizar un viscosímetro como instrumento medidor, por medio de la técnica de calorímetro de explotación diferencial, se puede seguir la transición de fase durante el proceso de cristalización.”⁴

Figura 7. Curva de enfriamiento de aceite típica



Fuente: PORIM. International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century. p. 337.

⁴ LIMA MONTENEGRO, Oliver Alejandro. *Obtención de una base para margarina libre de isómeros trans a partir del fraccionamiento de aceite de palma africana*. p. 22.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Característica o atributo que es susceptible a asumir diferentes valores, es decir, puede variar. Dentro de ellas se encuentran las variables independientes y las dependientes.

3.1.1. Independientes

- Formulación
- Temperatura
- Porcentaje de sólidos presentes en la oleína o mezclas soya/oleína
- Cristalización

3.1.2. Dependientes

- Punto de nube tanto de la oleína como de las mezclas soya/oleína
- Estabilidad térmica

3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente trabajo de graduación se enfoca en el estudio de la cuantificación y caracterización, entre el contenido de sólidos y la estabilidad térmica de diferentes tipos de oleínas de palma, así como también de mezclas de aceite con oleína y aceite de soya en diferentes porcentajes. Realizándolo con base en tabulación, manejo, interpretación y análisis mediante

experimentación que se realizará en una planta Refinadora de Aceites, ubicada en Escuintla, Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

Con la finalidad de ayudar a la predicción y estudio del comportamiento de las oleínas expuestas a diferentes temperaturas, se determinará el porcentaje de sólidos presentes en las mismas, ya sea en oleínas puras o mezclas de oleínas con cierto porcentaje de aceite de soya, determinando su porcentaje de sólidos y su estabilidad térmica.

3.3.1. Investigador

María Elizabeth Méndez Girón, encargada de desarrollar el trabajo de investigación planteada, experimentación, análisis de datos, caracterización, cuantificación y responsable de la información obtenida para el desarrollo exitoso del problema planteado.

Asesoría técnica y profesional por parte del Ing. Qco. Estuardo Alfonso Castañeda Garza.

Asesoría técnica y profesional por parte de la Inga. Qca. Genoveva Cabrera.

3.4. Recursos materiales disponibles

Para poder llevar a cabo la investigación de el proceso de fraccionamiento en la planta refinadora de aceites, se han utilizado muestras de sólidos y la estabilidad térmica de diferentes tipos de oleínas de palma.

3.4.1. Equipos en planta de producción

Para el proceso de fraccionamiento en la planta refinadora de aceites, los equipos utilizados para dicho proceso son los siguientes:

- La empresa cuenta con 8 cristalizadores con agitación variable de 14 a 25 rpm cada uno con su respectivo agitador.
- 8 bombas centrífugas para la recirculación del agua de enfriamiento en los tanques.
- 1 filtro de membrana y 1 filtro rotativo.
- 1 bomba de cavidad progresiva para la alimentación del filtro prensa utilizado en la etapa de filtración.
- 1 bomba neumática de diafragmas, utilizada para la alimentación del filtro rotativo utilizado en la etapa de filtración.

Para las pruebas y análisis realizados a las oleínas y mezclas de oleínas con aceite de soya realizadas en el laboratorio de Aseguramiento de calidad, se utilizaron los siguientes equipos:

3.4.2. Equipos en área de Laboratorio de Aseguramiento de calidad

Para la evaluación del proceso se utilizó el equipo del Laboratorio del laboratorio de Aseguramiento de calidad de la Planta Refinadora Natur Aceites S. A.

3.4.2.1. Refractómetro ATR serie W

El refractómetro es el equipo utilizado para la medición del índice de refracción, por medio del cual se puede determinar el índice de yodo del aceite que se está midiendo. La temperatura de trabajo del mismo es hasta 80 ° C. Se encuentra diseñado para medir tanto el índice de refracción como la opacidad, viscosidad y el color.

Está compuesto por dispositivos electrónicos y de medición separado. La muestra de aceite es colocada sobre el prisma de zafiro Peltier-termoestable, el cual se encuentra iluminado por LED amarillo, el ángulo de reflexión total es detectado por red de diodos que garantiza una alta resolución y la estabilidad.

Para poder determinar el índice de yodo de la muestra por medio del índice de refracción, es necesario realizar una curva característica entre el índice de refracción y el índice de yodo determinado por titulación.

La ecuación de la curva utilizada para determinar el índice de yodo por medio del índice de refracción es la siguiente:

$$\text{Índice de yodo} = I (\text{Índice de refracción}) - 1.4450624 I * 8743.016516$$

Figura 8. **Refractómetro ATR serie W**



Fuente: SCHMIDT + HAENSCH, ATR-Series, *Laboratory-refractometer*. Opto-electronic measuring device since 1864, Germany. p.11

3.4.2.2. Serie minispec mq

Este equipo es utilizado para la determinación de la cantidad de grasa sólida presente por medio de resonancia magnética, cuenta con una frecuencia multinuclear y variable de 2-65 MHz, un amplio rango de campos magnéticos, sistema exclusivo de 60 MHz.

Posee una amplia gama de cabezas de sondas (absoluta, razón, combinada, termorregulado o gradientes) y oscilación de la temperatura: -100 y +200 °C.

Figura 9. **Serie minispec mq u**



Fuente: BRUKER, Serie minispecmq, *Innovationwithintegrity*, p.12

3.4.2.3. Baños termostáticos

Son instrumentos utilizados en un laboratorio para mantener una solución o muestra a una temperatura constante durante un tiempo requerido o controlado.

Dichos baños se usan a diferentes temperaturas (20, 8, 30, 35 °C), las cuales se pueden indicar en el equipo. Se encuentran de diferentes tamaños, pueden poseer agitación del agua o del baño o incluso sin ninguna agitación, con tapa o sin tapa.

Los baños no necesariamente pueden ser directamente con agua, estos también pueden ser baños secos. Dichos baños utilizan un sistema de termotización en seco presentando importantes ventajas sobre los de transmisión de calor por fluido, puesto que con estos baños se obtiene una ausencia de evaporaciones, prolonga estabilidad y carencia de gérmenes contaminantes, los elementos de calefacción de estos baños se encuentran distribuidos homogéneamente en la superficie de contacto, el regulador electrónico de la temperatura es de lectura digital y cumple asimismo con la función de termómetro termostato.

Figura 10. **Baño termostático**



Fuente: DUEROLAB. Baños termostáticos, baños de agua. p.12 ,

3.4.2.4. Cristalería

- Beacker de 50 ml
- Beacker de 500 ml
- Beacker de 250 ml
- Termómetro (-2 - 100°C)
- Tubos de vidrio para cold test

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El trabajo experimental del siguiente problema planteado para su investigación, consiste en la obtención de datos experimentales confiables después de trabajar con oleínas con diferentes porcentajes de sólidos expuestas a diferentes temperaturas para la observación de su comportamiento, el manejo de datos para la obtención de curvas de comportamiento y resultados, la elaboración de un reporte completo de la cuantificación y caracterización, entre el contenido de sólidos y estabilidad térmica de los diferentes tipos de oleínas de palma.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los pasos utilizadas para la recolección y ordenamiento de los datos experimentales, para cumplir con el objetivo principal de la investigación, son los que a continuación se presenta:

- Obtención de muestra de oleínas y análisis de equipos a utilizar
- Realización de pruebas y análisis de muestras
- Tabulación de la información
- Tabulación de resultados de análisis
- Manejo estadístico de datos obtenidos
- Elaboración de informe de validación

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Las tablas utilizadas para la recolección y ordenamiento de los datos experimentales, son las tablas de tabulación de datos, por medio de las cuales y con su contenido se realizará el análisis de los datos, para la obtención de los resultados requeridos para cumplir con el objetivo principal de la investigación.

Tabla II. **Estabilidad térmica a diferentes temperaturas de muestras de oleína de palma pura**

Muestra	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de Sólidos (%)			Índice de yodo	Estabilidad térmica (min)
		5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Observaciones en las muestras de oleínas de palma pura

Muestra	Fecha	Núm. de Batch	Observaciones
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soja y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de yodo	Estabilidad térmica (min)	
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C	4 °C
1	1							
	2							
2	1							
	2							
3	1							
	2							

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soja y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Fecha	Núm. de Batch	Observaciones
1	1			
	2			
2	1			
	2			
3	1			
	2			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de Sólidos (%)			Índice de yodo	Estabilidad térmica (min)	
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C	4 °C
1	1							
	2							
2	1							
	2							
3	1							
	2							

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.**

Muestra	Corrida	Fecha	Núm. de Batch	Observaciones
1	1			
	2			
2	1			
	2			
3	1			
	2			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de yodo	Estabilidad térmica (min)	
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C	4 °C
1	1							
	2							
2	1							
	2							
3	1							
	2							

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Fecha	Núm. de Batch	Observaciones
1	1			
	2			
2	1			
	2			
3	1			
	2			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de yodo	Estabilidad térmica (min)	
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C	4 °C
1	1							
	2							
2	1							
	2							
3	1							
	2							

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soya y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente.**

Muestra	Corrida	Fecha	Núm. de Batch	Observaciones
1	1			
	2			
2	1			
	2			
3	1			
	2			

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los datos para verificar la influencia de las muestras, se tienen más de dos y se comparan las medias de ambas.

3.8.1. Análisis de Varianza

Es utilizado para verificar si se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre medias, esto cuando se tienen más de dos muestras o grupos en el mismo planteamiento. Cuando se tienen más de dos muestras y se comparan las medias de dos en dos, las probabilidades de error suben al momento de rechazar la hipótesis de no diferencia, debido a que queda suficiente explicada por factores aleatorios llamado error muestral.

Por medio de análisis de varianza se comprueba la existencia de diferencias entre más de dos grupos en el mismo planteamiento, se comprueba si las diversas muestras pueden ser consideradas muestras aleatorias de la misma población. En lugar de comparar las medias de dos en dos se utiliza este método.

3.8.1.1. Análisis de Varianza para la estabilidad térmica de las muestras analizadas

- $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots = \mu_k$
- $H_1 =$ Al menos 2 son diferentes
- $\alpha = 1\%, 5\%, 10\%$

- Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{n}$$

Ecuacion 1. MORALES VALLEJO, Pedro. *“Introducción al análisis de varianza”*.
Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

- Promedio total

$$\bar{X} = \frac{X_{i1} + X_{i2} + X_{i3} \dots + X_{in}}{n}$$

Ecuacion 2. MORALES VALLEJO, Pedro. *“Introducción al análisis de varianza”*.
Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

- Suma de cuadrados

$$q_1 = \sum_{i=1}^k ni(\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

Ecuacion 4. MORALES VALLEJO, Pedro. *“Introducción al análisis de varianza”*.
Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$q_2 = \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^{ni} ni(X_{ir} - \bar{X})^2$$

Ecuacion 5. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*.
Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

- Cuadrado medio

$$S1 = \frac{\text{Suma de Tratamientos}}{k - 1}$$

Ecuacion 6. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$S2 = \frac{\text{Suma de Cuadrados del error}}{n - k}$$

Ecuacion 7. MORALES VALLEJO, Pedro. *“Introducción al análisis de varianza”*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Dónde:

K = Número de muestras

n = Número de muestras a analizar en función a la cantidad de repeticiones realizadas

Tratamientos = k - 1

Error = n - k

Total = n - 1

Tratamientos: k-1 = 4-1 = 3

Error: n - k = 8 - 4 = 4

Total: n - 1 = 8 - 1 = 7

Para comparar dos varianzas no se resta una de la otra (como se hace cuando se comparan dos medias) sino que se divide una por la otra calculando la razón F de Snedecor:

$$F = \frac{S1}{S2}$$

Ecuacion 8. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Si la razón F es igual a 1, las dos varianzas son iguales.

Se utilizarán los siguientes valores F (α , k-1, n-k) para la determinación de la razón F de Snedecor, por medio de estos valores y con la ayuda de la Tabla A.6 “Valores críticos de la distribución F” 9, p.757) se obtendrá un resultado acerca de si se cumplen o no las hipótesis planteadas anteriormente.

F (5%, 3, 4) = 6,59

3.8.1.2. Arreglo experimental doble

Para el análisis estadístico del porcentaje de sólidos presentes en las mezclas soya/oleína a diferentes proporciones, se utilizará el arreglo experimental doble, en el cual se analizarán dos factores, el factor A y el factor B.

De la misma manera que en el análisis de varianza se determinarán los valores de media aritmética, media, suma de cuadrados, cuadrado medio y la razón F de Snedecor, a todo estos análisis se le agregará la determinación de la suma de cuadrados del error denominada q_3 y un cuadrado medio del error denominado S3, asimismo una razón F de Snedecor más, debido a que se realizará un arreglo experimental doble.

- Suma de cuadrados

$$q_1 = p \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

Ecuacion 9. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$q_2 = r \sum_{k=1}^p (X_{ik} - \bar{X})^2$$

Ecuacion 10. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$q_3 = \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^p (X_{ik} - \bar{X}_i - \bar{X}_{ix} + \bar{X})^2$$

Ecuacion 11. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

- Cuadrado medio

$$S1 = \frac{\text{Suma de Cuadrados del Factor A}}{r - 1}$$

Ecuacion 12. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$S2 = \frac{\text{Suma de Cuadrados del Factor B}}{p - 1}$$

Ecuacion 13. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$S3 = \frac{\text{Suma de Cuadrados del error}}{n - 1}$$

Ecuacion 14. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Dónde:

r = Número de Renglones

p = Número de columnas

Factor A = r - 1

Factor B = p - 1

Error = (r - 1)(p - 1)

Factor A = r - 1 = 4 - 1 = 3

Factor B = p - 1 = 3 - 1 = 2

Error = (r - 1)(p - 1) = 3 x 2 = 6

Para comparar dos varianzas no se resta una de la otra (como se hace cuando se comparan dos medias) sino que se divide una por la otra calculando la razón F de Snedecor:

$$F = \frac{S1}{S2}$$

Ecuacion 8. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Si la razón F es igual a 1, las dos varianzas son iguales.

$$F1 = \frac{S1}{S3}$$

Ecuacion 15. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

$$F2 = \frac{S2}{S3}$$

Ecuacion 16. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Se utilizarán los siguientes valores F para la determinación de la razón F de Snedecor, por medio de estos valores y con la ayuda de la tabla A.6 “Valores críticos de la distribución F” se obtendrá un resultado acerca de si se cumplen o no las hipótesis planteadas anteriormente.

Factor A

$$F (\alpha; (r-1); (r-1)(p-1))$$

Ecuacion 17. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

Factor B

$$F (\alpha; (p-1); (r-1) (p-1))$$

Ecuacion 18. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. p. 511.

3.8.2. Resultados del análisis estadístico

Resultados obtenidos al momento de realizar el análisis de varianza para la estabilidad térmica de las muestras de oleína, mezclada a diferentes proporciones con aceite de soya.

- Estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 90:10

Tabla XII. **Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya**

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	<i>ni</i>	N	<i>Xi</i>
27	139,300	130	2	8	134,650
29	140,000	135	2		137,500
30	141,000	138	2		139,500
32	142,450	140	2		141,225

Fuente: elaboración propia, Ecuación 1.

Tabla XIII. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína**

MUESTRA	X	q1	q2	S1	S2	F
27	138,219	47,863	63,246	15,954	15,811	1,009
29						
30						
32						

Fuente: elaboración propia. Ecuación 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

- F teórica: $F(5\%, 3, 4) = 6,59$
- F experimental : 1,009

R/ Para el análisis estadístico realizado para la estabilidad térmica mezcla soya/oleína, proporción 90:10, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 80:20

Tabla XIV. **Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya**

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	ni	N	Xi
27	110,400	111	2	8	110,700
29	110,000	109	2		109,500
30	115,000	112	2		113,500
32	114,500	114	2		114,2500

Fuente: elaboración propia, Ecuación 1

Tabla XV. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína**

Muestra	X	q1	q2	S1	S2	F
27	111,988	30,504	5,305	10,168	1,326	7,667
29						
30						
32						

Fuente: elaboración propia, Ecuación. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

- F teórica: $F(5\%, 3, 4) = 6,59$
- F experimental : 7,667

R/ Para el análisis estadístico realizado para la estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 80:20, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Estabilidad térmica mezcla soya/oleína Proporción 70:30

Tabla XVI. **Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya**

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	ni	N	Xi
27	45	43	2	8	44
29	47	45	2		46
30	46	45	2		4,5000
32	43,300	42	2		42,65

Fuente: elaboración propia, Ecuación 1.

Tabla XVII. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína**

Muestra	X	q1	q2	S1	S2	F
27	44,537	13,834	5,345	4,611	1,336	3,451
29						
30						
32						

Fuente: elaboración propia. Ecuación 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

- F teórica: $F(5\%, 3, 4) = 6,59$
- F experimental : 3,451

R/ Para el análisis estadístico realizado para la estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 70:30, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 60:40

Tabla XVIII. **Media aritmética para las diferentes muestras de oleína pura y mezcla oleína/soya**

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	ni	N	Xi
27	23	22	2	8	22,500
29	22	20	2		21,000
30	22	21	2		21,500
32	25	23	2		24,000

Fuente: elaboración propia. Ecuación 1.

Tabla XIX. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para muestras de oleína pura y mezclas de soya/oleína**

Muestra	X	q1	q2	S1	S2	F
27	22,250	10,500	5,000	3,500	1,250	2,800
29						
30						
32						

Fuente: elaboración propia, Ecuación 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

- F teórica: $F(5\%, 3, 4) = 6,59$
- F experimental : 2,800

R/ Para el análisis estadístico realizado para la estabilidad térmica mezcla soya/oleína proporción 60:40, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

Resultados obtenidos al momento de realizar el análisis de arreglo experimental doble, para el porcentaje de sólidos presentes en las muestras de oleína mezclada a diferentes proporciones con aceite de soya.

- Porcentaje de sólidos presentes en mezcla soya/oleína proporción 90:10

Tabla XX. **Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya**

Muestra	Porcentaje de sólidos (%)			R	p	n	Xi	X
	5	10	15					
27	0,218	-0,010	-0,057	4	3	12	0,053667	-0,00858
29	0,013	-0,064	-0,159				-0,07	
30	0,031	-0,03	-0,088				-0,01	
32	0,032	0,013	-0,069				-0,008	
Xi	0,066	-0,020	-0,071					

Fuente: elaboración propia, Ecuación 1, 2.

Tabla XXI. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína**

Fuente Variación	GI	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	F1	F2
Factor A	3	0,023	0,008	0,404	6,333
Factor B	2	0,038	0,019		
Error	6	0,018	0,003		

Fuente: elaboración propia, Ecuación 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

- Factor A Teórico

$$F (\alpha; (r-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \% ; 3; 6)$$

$$F = 4,76$$

- Factor B Teórico

$$F (\alpha; (p-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \% ; 2; 6)$$

$$F = 5,14$$

R/ Para el análisis de arreglo experimental doble realizado para el contenido de sólidos presentes en las mezclas soya/oleína proporción 90:10, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Porcentaje de sólidos presentes en mezcla soya/oleína proporción 80:20

Tabla XXII. **Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya**

Muestra	Porcentaje de sólidos (%)			r	p	n	Xi	X
	5	10	15					
27	0,071	-0,034	-0,113	4	3	12	-0,011	-0,019
29	0,129	-0,048	-0,182				-0,034	
30	0,015	-0,172	-0,036				-0,012	
32	0,098	-0,072	-0,09				-0,021	
Xi	0,057	-0,038	-0,077					

Fuente: elaboración propia. Ecuación 1, 2.

Tabla XXIII. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína**

Fuente Variación	gl	Suma Cuadrados	Cuadrado medio	F1	F2
Factor A	3	0,001	0,001	0,017	2,584
Factor B	2	0,038	0,019		
Error	6	0,044	0,007		

Fuente: elaboración propia. Ecuación 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

- Factor A Teórico

$$F (\alpha; (r-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \%; 3; 6)$$

$$F = 4,76$$

- Factor B Teórico

$$F(\alpha; (p-1); (r-1)(p-1))$$

$$F(5\%; 2; 6)$$

$$F = 5,14$$

R/ Para el análisis de arreglo experimental doble realizado para el contenido de sólidos presentes en las mezclas soya/oleína proporción 80:20, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Porcentaje de sólidos presentes en mezcla soya/oleína proporción 70:30

Tabla XXIV. **Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya**

Muestra	Porcentaje de sólidos (%)			r	p	n	Xi	X
	5	10	15					
27	0,054	-0,04	-0,070	4	3	12	-0,019	-0,008
29	0,009	-0,044	-0,036				-0,024	
30	0,031	0,192	-0,012				0,010	
32	0,203	-0,059	-0,145				-0,001	
Xi	0,074	-0,036	-0,063					

Fuente: elaboración propia, Ecuación 1, 2.

Tabla XXV. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína**

Fuente Variación	gl	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	F1	F2
Factor A	3	0,002	0,001	0,037	1,644
Factor B	2	0,042	0,021		
Error	6	0,077	0,013		

Fuente: elaboración propia. Ecuación 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

- Factor A Teórico

$$F (\alpha; (r-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \%; 3; 6)$$

$$F = 4,76$$

- Factor B Teórico

$$F (\alpha; (p-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \%; 2; 6)$$

$$F = 5,14$$

R/ Para el análisis de arreglo experimental doble realizado para el contenido de sólidos presentes en las mezclas soya/oleína proporción 70:30, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

- Porcentaje de sólidos presentes en mezcla soya/oleína proporción 60:40

Tabla XXVI. **Media aritmética para las diferentes mezcla oleína/soya**

Muestra	Porcentaje de sólidos (%)			r	p	n	Xi	X
	5	10	15					
27	0,070	-0,056	-0,092	4	3	12	-0,026	-0,020
29	0,149	-0,070	-0,077				0,001	
30	0,024	-0,010	-0,045				-0,018	
32	0,015	-0,036	-0,090				-0,037	
Xi	0,058	-0,043	-0,076					

Fuente: elaboración propia. Ecuación 1, 2.

Tabla XXVII. **Suma de cuadrados, cuadrado medio y F de Snedecor para las mezclas de soya/oleína**

Fuente Variación	gl	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	F1	F2
Factor A	3	0,002	0,001	0,039	9,432
Factor B	2	0,039	0,019		
Error	6	0,013	0,002		

Fuente: elaboración propia, Ecuación 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

- Factor A Teórico

$$F(\alpha; (r-1); (r-1)(p-1))$$

$$F(5\%; 3; 6)$$

$$F = 4,76$$

- Factor B Teórico

$$F (\alpha; (p-1); (r-1)(p-1))$$

$$F (5 \%; 2; 6)$$

$$F = 5,14$$

R/ Para el análisis de arreglo experimental doble realizado para el contenido de sólidos presentes en las mezclas soya/oleína proporción 60:40, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

4. RESULTADOS

A continuación se indican los resultados obtenidos de cada una de las muestras obtenidas de oleína y mezclas de soya/oleína.

Tabla XXVIII. **Resultados experimentales obtenidos al analizar cada una de las muestras de oleína, después del proceso de fraccionamiento**

Muestra	Repetición	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Estabilidad térmica (min)
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
1	1	7	39,075	27,468	13,576	58,820	130
	2	8					130
2	1	9,8	40,355	28,005	13,596	57,950	45
	2	9,8					45
3	1	9,2	37,270	25,853	12,688	58,290	65
	2	9,0					65
4	1	8,2	33,445	22,552	8,937	59,780	210
	2	8,4					210
5	1	8,8	38,754	26,267	13,282	57,330	70
	2	9,0					50
6	1	10	50,028	35,922	21,324	57,380	10
	2	11					7

Continuación de tabla XXVIII.

7	1	9,8	46,866	32,485	17,805	56,900	30
	2	9,6					28
8	1	9,8	44,803	30,390	15,981	58,120	100
	2	10					90
9	1	10	45,842	31,435	17,173	55,890	26
	2	10					22
10	1	9,8	43,753	30,122	16,270	64,680	150
	2	10					150
11	1	8,4	39,364	27,368	13,820	60,570	256
	2	8,8					250
12	1	9	32,076	19,717	8,109	59,780	205
	2	9,2					195
13	1	9,2	33,456	21,263	9,163	56,370	120
	2	9,8					130
14	1	9	38,648	26,637	13,399	58,210	97
	2	10					90
15	1	9	38,560	26,999	13,857	56,900	135
	2	9,2					130
16	1	10	36,897	24,900	12,333	58,120	170
	2	10,2					180
17	1	9,2	37,661	25,713	11,566	60,040	110
	2	9,4					115
18	1	9,8	39,593	28,691	14,470	59,520	70
	2	10					55
19	1	9,6	34,302	20,556	7,837	59,780	60
	2	9,8					70

Continuación de tabla XXVIII.

20	1	7,6	31,999	17,941	6,504	59,520	46
	2	7,8					48
21	1	7,4	41,126	28,405	14,480	55,500	138
	2	7,6					130
22	1	8,8	36,556	25,358	11,826	58,560	75
	2	8,6					70
23	1	10,2	43,863	30,005	16,318	56,980	15
	2	10					13
24	1	8,0	30,347	16,743	6,146	58,380	92
	2	8,2					90
25	1	9,6	24,516	12,008	4,003	58,730	30
	2	9,8					32
26	1	8,0	25,457	9,838	2,860	58,560	62
	2	7,8					50
27	1	8,0	27,446	11,686	3,692	59,340	115
	2	7,8					110
28	1	8,0	27,657	13,928	3,968	58,380	75
	2	7,8					65
29	1	8,2	17,922	4,262	0,537	59,430	330
	2	8,0					320
30	1	8,8	24,030	9,549	2,001	58,290	390
	2	8,8					390
31	1	7,0	34,883	22,221	8,914	59,340	360
	2	7,2					350
32	1	7,0	11,601	1,314	0,340	60,480	225
	2	7,2					215

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Observaciones en las muestras analizadas en la oleína de palma pura**

Muestra	Fecha	Hora toma de muestra	Cristalizador	Observaciones
1	05/12/13	10:35	CR1	Filtro Rotativo
2	05/12/13	15:40	CR2	Filtro Rotativo
3	06/12/13	09:17	CR2	Filtro Rotativo
4	06/12/13	13:40	CR1	Filtro Rotativo
5	09/12/13	08:50	CR3	Filtro Rotativo
6	09/12/13	11:20	CR2	Filtro Rotativo
7	12/12/13	08:05	CR2	Filtro Rotativo
8	12/12/13	10:50	CR2	Filtro Rotativo
9	12/12/13	15:00	CR2	Filtro Rotativo
10	16/12/13	07:50	CR4	Filtro Rotativo
11	16/12/13	11:25	CR4	Filtro Rotativo
12	17/12/13	08:20	CR3	Filtro Rotativo
13	17/12/13	10:45	CR3	Filtro Rotativo
14	17/12/13	17:00	CR2	Filtro Rotativo
15	18/12/13	10:00	CR6	Filtro Rotativo
16	18/12/13	20:00	CR1	Filtro Rotativo
17	19/12/13	09:20	CR3	Filtro Rotativo
18	19/12/13	15:25	CR2	Filtro Rotativo
19	20/12/13	10:30	CR6	Filtro Rotativo
20	27/12/13	07:50	CR1	Filtro Rotativo
21	27/12/13	09:45	CR3	Filtro Prensa
22	27/12/13	18:00	CR6	Filtro Rotativo

Continuación de tabla XXVIII.

23	27/12/13	15:30	CR1	Muestra de palma sin filtrar, cristizador a T=50 °C
24	03/01/14	07:55	CR3	Filtro Rotativo
25	03/01/14	14:45	CR5	Filtro Rotativo
26	03/01/14	--	CR7	Filtro Rotativo
27	06/01/14	09:30	CR3	Filtro Rotativo
28	07/01/14	--	CR7	Filtro Rotativo
29	07/01/14	08:30	CR6	Filtro Rotativo
30	07/01/14	14:25	CR2	Filtro Rotativo
31	08/01/14	10:00	CR3	Filtro Rotativo
32	09/01/14	07:35	CR6	Filtro Rotativo
33	19/12/13	--	--	Muestra Extranjera
34	28/12/13	--	--	Filtro Prensa
35	30/12/13	--	--	Filtro Prensa

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 7 a 8 °C**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Estabilidad térmica (min)
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
1	1	7	39,075	27,468	13,576	58,820	130
	2	8					130
20	1	7,6	31,999	17,941	6,504	59,520	46
	2	7,8					48
21	1	7,4	41,126	28,405	14,480	55,500	138
	2	7,6					130
26	1	8	25,457	9,838	2,860	58,560	62
	2	7,8					50
27	1	8	27,446	11,686	3,692	59,340	115
	2	7,8					110
28	1	8	27,657	13,928	3,968	58,380	75
	2	7,8					65
31	1	7	34,883	22,221	8,914	59,340	360
	2	7,2					350
32	1	7	11,601	1,314	0,340	60,480	225
	2	7,2					215

Fuente: resultados obtenidos, tabla XXVIII.

Tabla XXXI. **Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 8 a 9 °C**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Estabilidad térmica (min)
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
4	1	8,2	33,45	22,552	8,937	59,780	210
	2	8,4					210
5	1	8,8	38,754	26,267	13,282	57,330	70
	2	9					50
11	1	8,4	39,364	27,368	13,820	60,570	256
	2	8,8					250
12	1	9	32,076	19,717	8,109	59,780	205
	2	9,2					195
22	1	8,8	36,556	25,358	11,826	58,560	75
	2	8,6					70
24	1	8	30,347	16,743	6,146	58,380	92
	2	8,2					90
29	1	8,2	17,922	4,262	0,537	59,430	330
	2	8					320
30	1	8,8	24,03	9,549	2,001	58,290	390
	2	8,8					390

Fuente: resultados obtenidos, tabla XXVIII.

Tabla XXXII. **Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 9 a 10 °C**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Estabilidad térmica (min)
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
2	1	9,8	40,355	28,005	13,596	57,950	45
	2	9,8					45
3	1	9,2	37,270	25,853	12,688	58,290	65
	2	9					65
7	1	9,8	46,866	32,485	17,805	56,900	30
	2	9,6					28
8	1	9,8	44,803	30,390	15,981	58,120	100
	2	10					90
9	1	10	45,842	31,435	17,173	55,890	26
	2	10					22
10	1	9,8	43,753	30,122	16,207	64,680	150
	2	10					150
12	1	9	32,076	19,717	8,109	59,780	205
	2	9,2					195
13	1	9,2	33,456	21,263	9,163	56,370	120
	2	9,8					130
14	1	9	38,648	26,637	13,399	58,210	97
	2	10					90

Continuación de la tabla XXXII.

15	1	9	38,560	26,999	13,857	56,900	135
	2	9,2					130
17	1	9,2	37,661	25,713	11,566	60,040	110
	2	9,4					115
18	1	9,8	39,593	28,691	14,470	59,520	70
	2	10					55
19	1	9,6	34,302	20,556	7,837	59,780	60
	2	9,8					70
25	1	9,6	24,516	12,008	4,003	58,730	30
	2	9,8					32

Fuente: resultados obtenidos, tabla XVIII.

Tabla XXXIII. **Resultados obtenidos en oleínas que poseen punto de nube en un rango de 10 a 11 °C**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Estabilidad térmica (min)
			5 °C	10 °C	15 °C		8 °C
6	1	10	50,028	35,922	21,324	57,380	10
	2	11					7

Continuación de la tabla XXXIII.

9	1	10	45,842	31,435	17,173	55,890	26
	2	10					22
16	1	10	36,897	24,900	12,333	58,120	170
	2	10,2					180
23	1	10,2	43,863	30,005	16,318	56,980	15
	2	10					13

Fuente: resultados obtenidos, tabla XVIII.

Tabla XXXIV. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Promedio Índice de Yodo	Estabilidad térmica (h)	
			5 °C	10 °C	15 °C			8 °C	
27	1	2,0	0.218	-0.010	-0.057	123,256	123,692	139,30	130
	2	1,8				124,129			
29	1	2,0	0.013	-0.064	-0.159	124,479	124,654	140	135
	2	1,8				124,829			
30	1	1,8	0.031	-0.03	-0.088	125,354	125,354	141	138
	2	2,0				125,354			
32	1	3,0	0.032	0.013	-0.069	123,780	123,605	142,45	140
	2	2,8				123,430			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 90 % aceite de soya y 10 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Fecha toma de muestra	Fecha realización de mezclas	Hora toma de muestra	Cristalizador	Observaciones
27	06/01/14	14/01/14	09:30	CR3	Filtro Rotativo
29	07/01/14	10/01/14	08:30	CR6	Filtro Rotativo
30	07/01/14	13/01/14	14:25	CR2	Filtro Rotativo
32	09/01/14	09/01/14	07:55	CR6	Filtro Rotativo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Promedio Índice de Yodo	Estabilidad térmica (h)	
			5 °C	10 °C	15 °C			8 °C	
27	1	2,4	0,071	-0,034	-0,113	115,911	116,086	110,40	111
	2	2,2							
29	1	2,6	0,129	-0,048	-0,182	115,562	116,262	110	109
	2	3,0							
30	1	2,8	0,015	-0,172	-0,036	119,234	119,059	115	112
	2	3,0							

Continuación de la tabla XXXVI.

32	1	3,4	0,098	-0,072	-0,090	116,961	117,922	114,50	114
	2	3,8				118,884			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 80 % aceite de soya y 20 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Fecha toma de muestra	Fecha realización de mezclas	Hora toma de muestra	Cristalizador	Observaciones
27	06/01/14	14/01/14	09:30	CR3	Filtro Rotativo
29	07/01/14	10/01/14	08:30	CR6	Filtro Rotativo
30	07/01/14	13/01/14	14:25	CR2	Filtro Rotativo
32	09/01/14	09/01/14	07:55	CR6	Filtro Rotativo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Promedio Índice de Yodo	Estabilidad térmica (h)	
			5 °C	10 °C	15 °C			8 °C	
27	1	3,0	0,054	-0,040	-0,070	108,742	109,072	45	43
	2	3,0							
29	1	3,4	0,009	-0,044	-0,036	109,966	109,966	47	45
	2	3,6							
30	1	3,8	0,031	0,192	-0,012	109,267	109,267	46	45
	2	3,8							
32	1	3,8	0,203	-0,059	-0,145	110,666	110,840	43.3	42
	2	4,2							

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 70 % aceite de soya y 30 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Fecha toma de muestra	Fecha realización de mezclas	Hora toma de muestra	Cristalizador	Observaciones
27	06/01/14	14/01/14	09:30	CR3	Filtro Rotativo
29	07/01/14	10/01/14	08:30	CR6	Filtro Rotativo
30	07/01/14	13/01/14	14:25	CR2	Filtro Rotativo
32	09/01/14	09/01/14	07:55	CR6	Filtro Rotativo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Estabilidad térmica de diferentes muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soja y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Corrida	Punto de Nube (°C)	Porcentaje de sólidos (%)			Índice de Yodo	Promedio Índice de Yodo	Estabilidad térmica (h)	
			5 °C	10 °C	15 °C			8 °C	
27	1	3,8	0,070	-0,056	-0,092	108,742	109,092	23	22
	2	4,0				109,442			
29	1	4,0	0,149	-0,070	-0,077	102,622	102,622	22	20
	2	4,2				102,622			
30	1	4,2	0,024	-0,010	-0,045	103,321	103,234	22	21
	2	4,4				103,147			
32	1	4,9	0,015	-0,036	-0,090	101,748	102,622	25	23
	2	5,0				103,496			

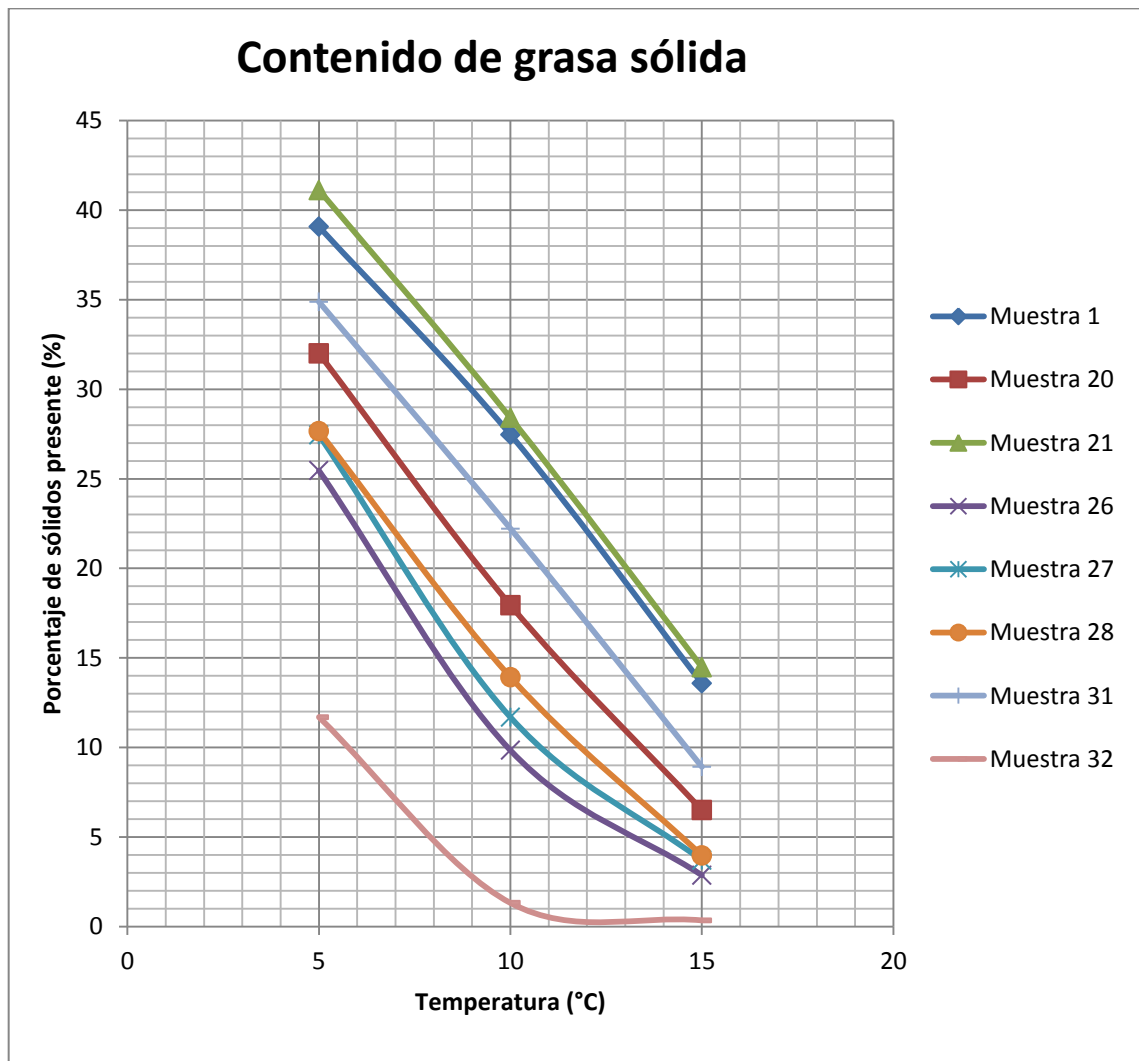
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Observaciones en las muestras de mezclas de aceite, 60 % aceite de soja y 40 % de oleína de palma pura analizada anteriormente**

Muestra	Fecha toma de muestra	Fecha realización de mezclas	Hora toma de muestra	Cristalizador	Observaciones
27	06/01/14	14/01/14	09:30	CR3	Filtro Rotativo
29	07/01/14	10/01/14	08:30	CR6	Filtro Rotativo
30	07/01/14	13/01/14	14:25	CR2	Filtro Rotativo
32	09/01/14	09/01/14	07:55	CR6	Filtro Rotativo

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 7 a 8 °C



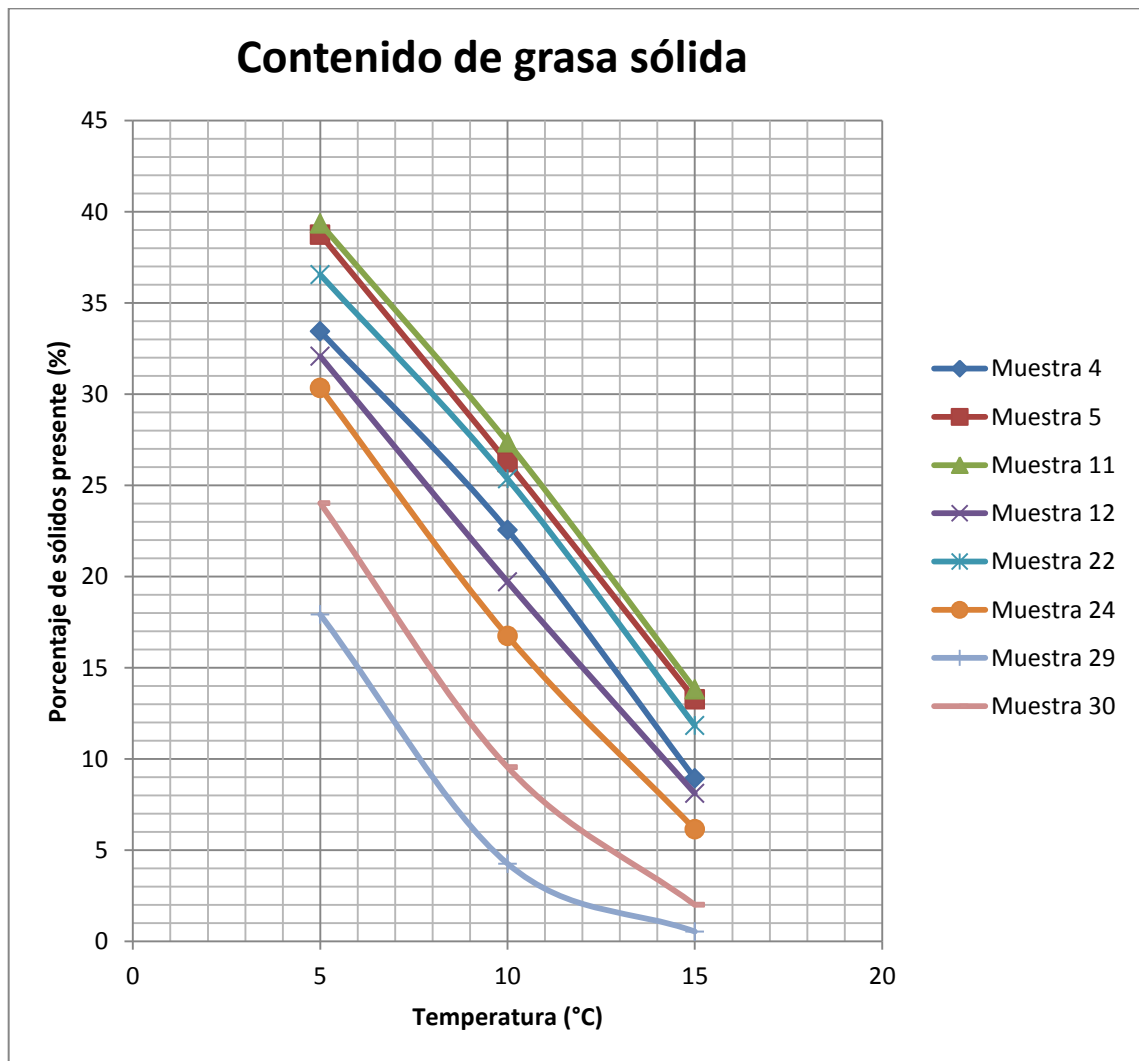
Fuente: elaboración propia, tabla XXX.

Tabla XLII. **Comparación del comportamiento de la representación gráfica del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 7 a 8 °C**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
1	$\% = -2,5499 T + 52,205$	0,997
20	$\% = -2,5495T + 44,31$	0,997
21	$\% = -2,6646T + 54,65$	0,999
26	$\% = -2,2597T + 35,315$	0,953
27	$\% = -2,3754T + 38,029$	0,966
28	$\% = -2,3689T + 38,873$	0,992
31	$\% = -2,5969T + 47,975$	0,999
32	$\% = -1,1351T + 15,799$	0,814

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 8 a 9 °C



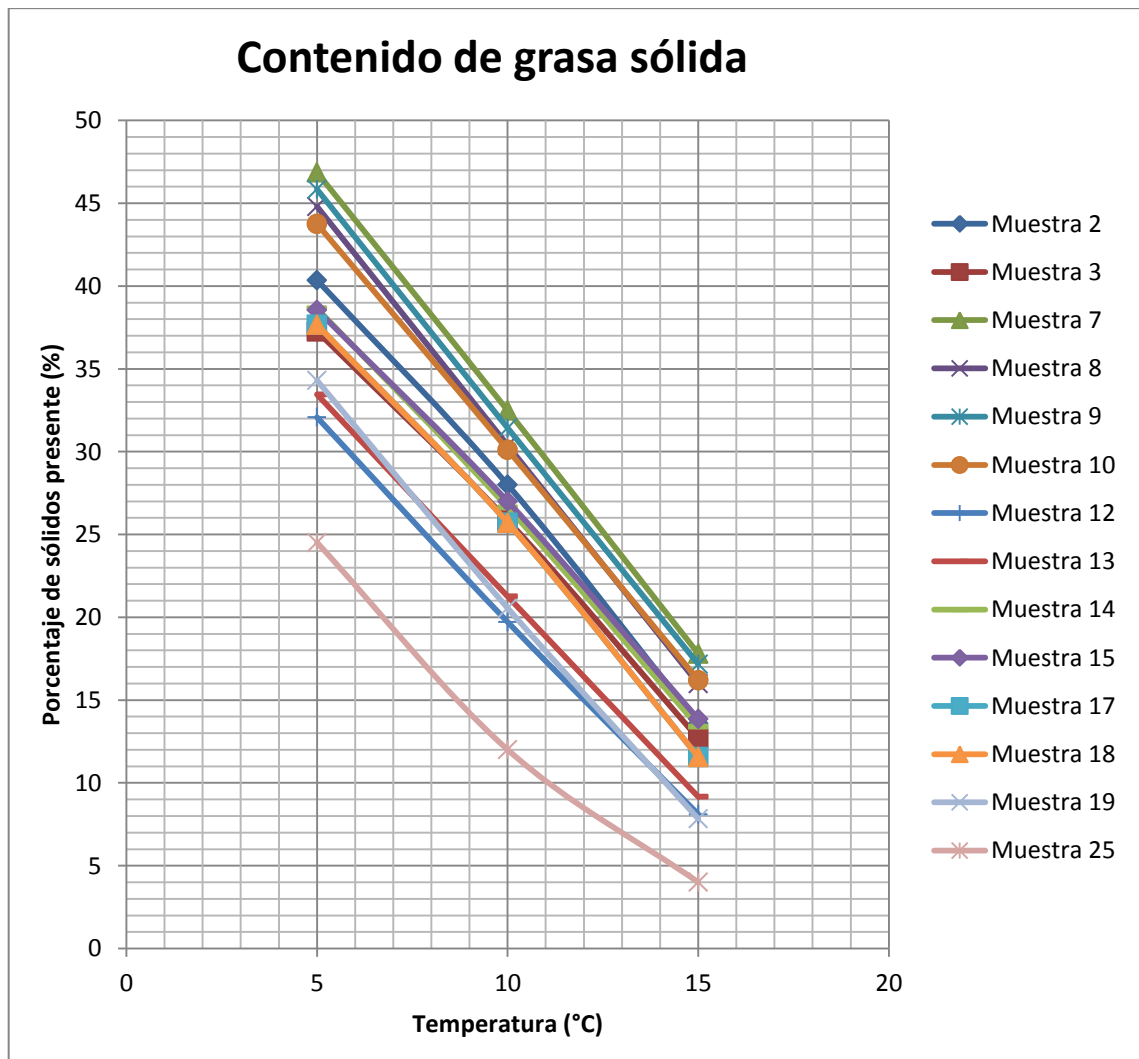
Fuente: elaboración propia, tabla XXXI.

Tabla XLIII. **Comparación del comportamiento de la representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 8 a 9 °C.**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
4	$\% = -2,4508T + 46,15$	0,996
5	$\% = -2,5472T + 51,573$	0,999
11	$\% = -2,5544T + 52,395$	0,999
12	$\% = -2,3967T + 43,934$	0,999
22	$\% = -2,473T + 49,31$	0,997
24	$\% = -2,4201T + 41,946$	0,995
29	$\% = -1,7385T + 24,959$	0,902
30	$\% = -2,2029T + 33,889$	0,968

Fuente: elaboración propia, figura 12.

Figura 13. Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 9 a 10 °C



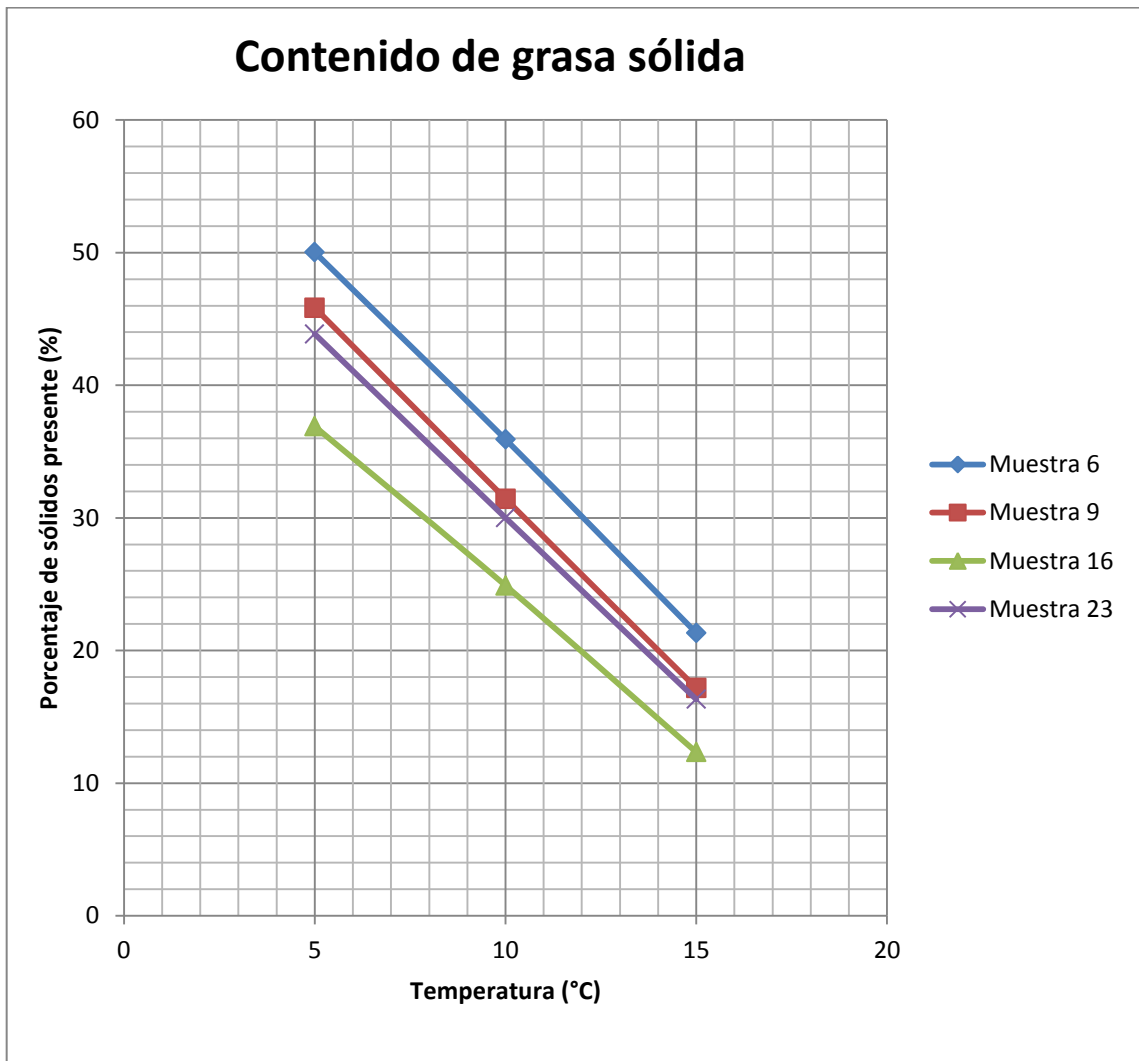
Fuente: elaboración propia, tabla XXXII.

Tabla XLIV. **Comparación del comportamiento de la representación gráfica del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 9 a 10 °C**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
2	$\% = -2,6759T + 54,078$	0,998
3	$\% = -2,4582T + 49,852$	0,998
7	$\% = -2,9061T + 61,446$	1
8	$\% = -2,8822T + 59,213$	1
9	$\% = -2,8669T + 60,152$	1
10	$\% = -2,7546T + 57,573$	1
12	$\% = -2,3967T + 43,934$	0,999
13	$\% = -2,4293T + 45,587$	1
14	$\% = -2,5249T + 51,477$	0,999
15	$\% = -2,6095T + 51,075$	0,998
17	$\% = -2,6095T + 51,075$	0,998
18	$\% = -2,6095T + 51,075$	0,998
19	$\% = -2,6465T + 47,363$	0,999
25	$\% = -2,0513T + 34,022$	0,984

Fuente: elaboración propia, figura 13.

Figura 14. Representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 10 a 11 °C



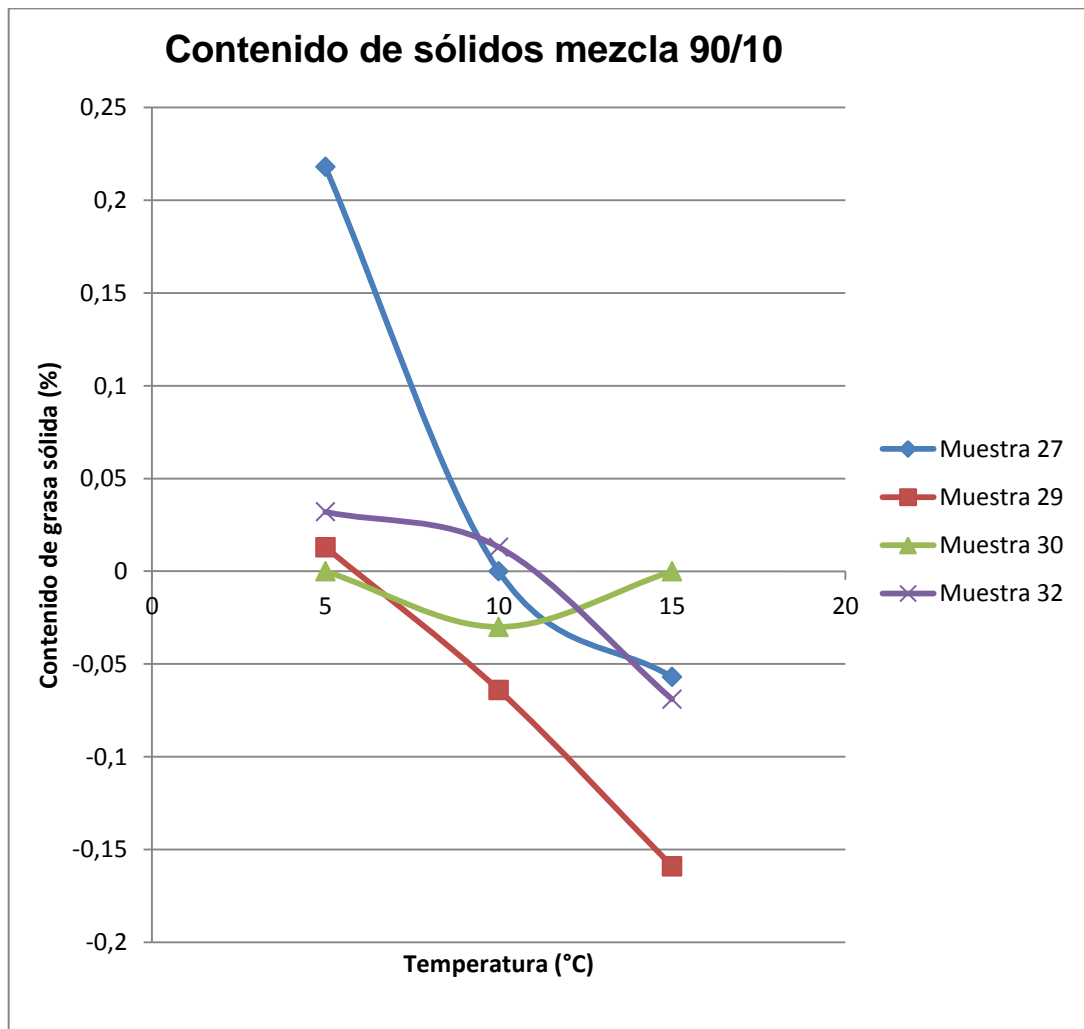
Fuente: elaboración propia, tabla XXXIII.

Tabla XLV. **Comparación del comportamiento de la representación gráfica del comportamiento del porcentaje de sólidos, presentes en cada una de las muestras analizadas, que poseen un punto de nube en el rango de 10 a 11 °C**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
6	$\% = -2,8704T + 64,462$	0,999
9	$\% = -2,8669T + 60,152$	1
16	$\% = -2,4564T + 49,274$	0,999
23	$\% = -2,7545T + 57,607$	1

Fuente: elaboración propia, figura 14.

Figura 15. **Comportamiento gráfico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 90 % aceite de soja y 10 % oleína de palma pura**



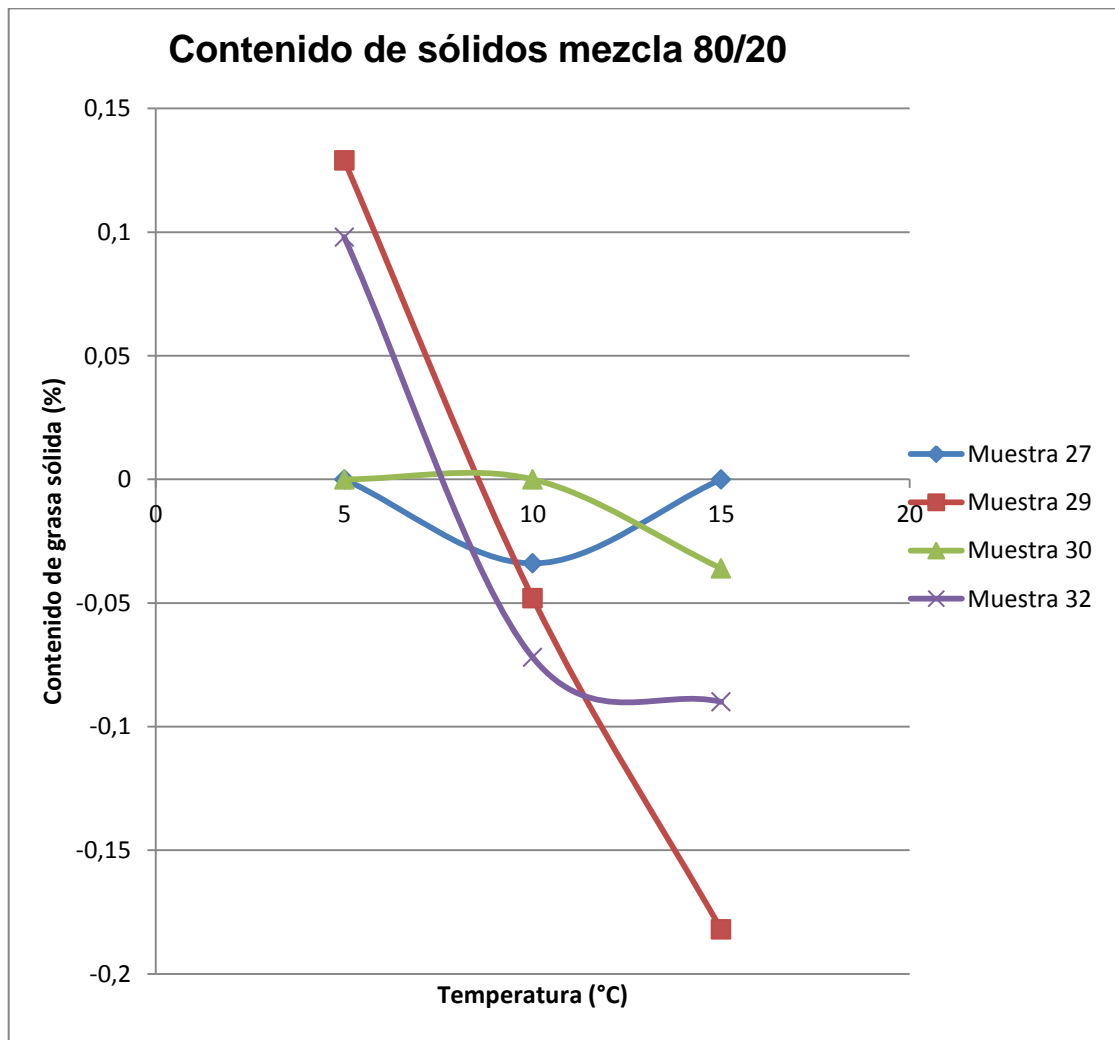
Fuente: elaboración propia, tabla XXXIV.

Tabla XLVI. **Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 90 % aceite de soya y 10 % oleína de palma pura**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
27	$\% = 0,0032T^2 - 0,0919x + 0,597$	1
29	$\% = -0,0004T^2 - 0,01T + 0,072$	1
30	$\% = 0,0012T^2 - 0,024T + 0,09$	1
32	$\% = -0,0013T^2 + 0,0151T - 0,012$	1

Fuente: elaboración propia, figura 15.

Figura 16. Comportamiento grafico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 80 % aceite de soja y 20 % oleína de palma pura



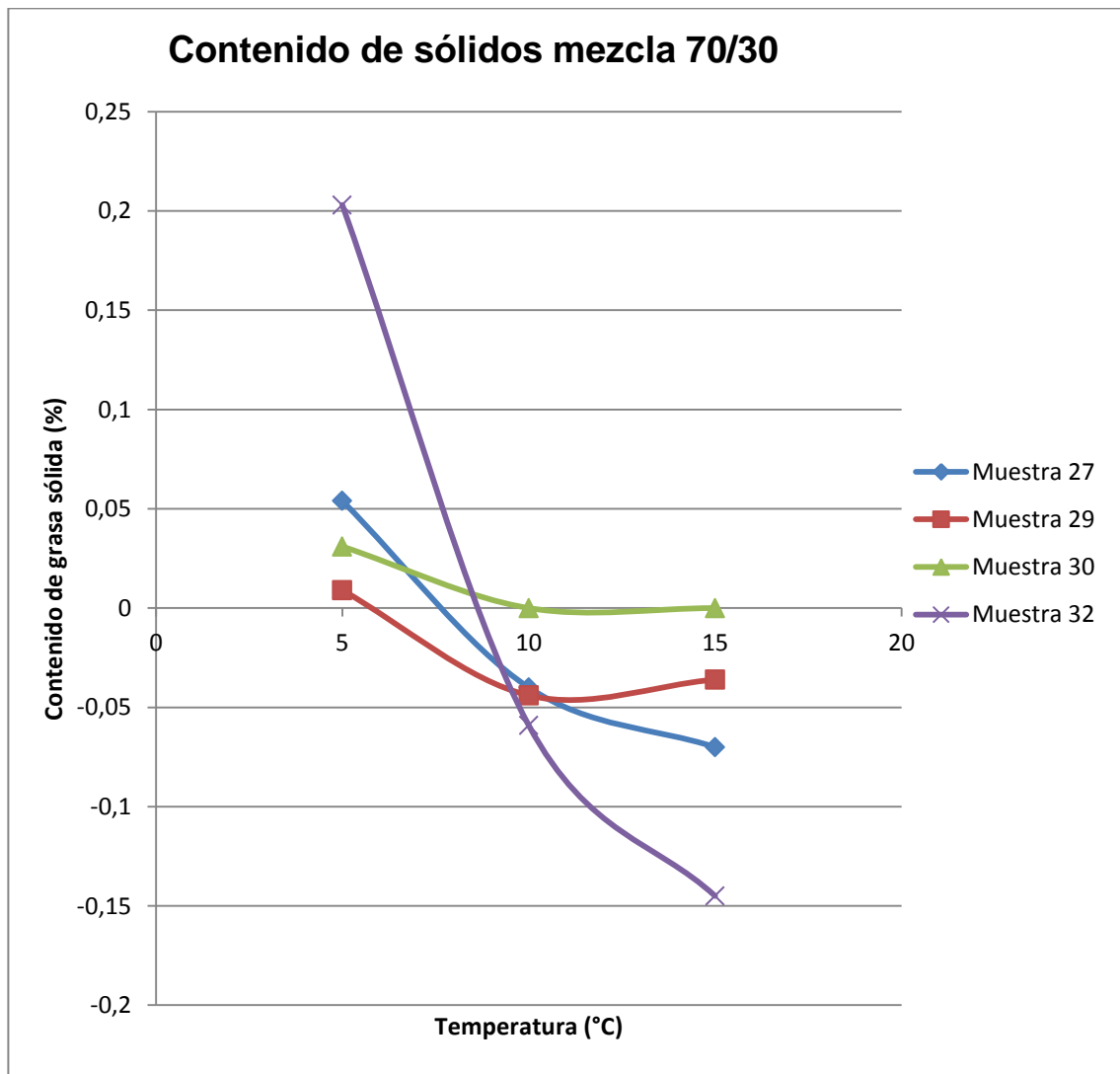
Fuente: elaboración propia, tabla XXXVI.

Tabla XLVII. **Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 80 % aceite de soya y 20 % oleína de palma pura**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
27	$\% = 0,0014T^2 - 0,0272T + 0,102$	1
29	$\% = 0,0009T^2 - 0,0483T + 0,349$	1
30	$\% = -0,0007T^2 + 0,0108T - 0,036$	1
32	$\% = 0,003T^2 - 0,0796T + 0,42$	1

Fuente: elaboración propia, figura 16.

Figura 17. Comportamiento grafico del contenido de grasa s3lida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 70 % aceite de soja y 30 % ole3lna de palma pura



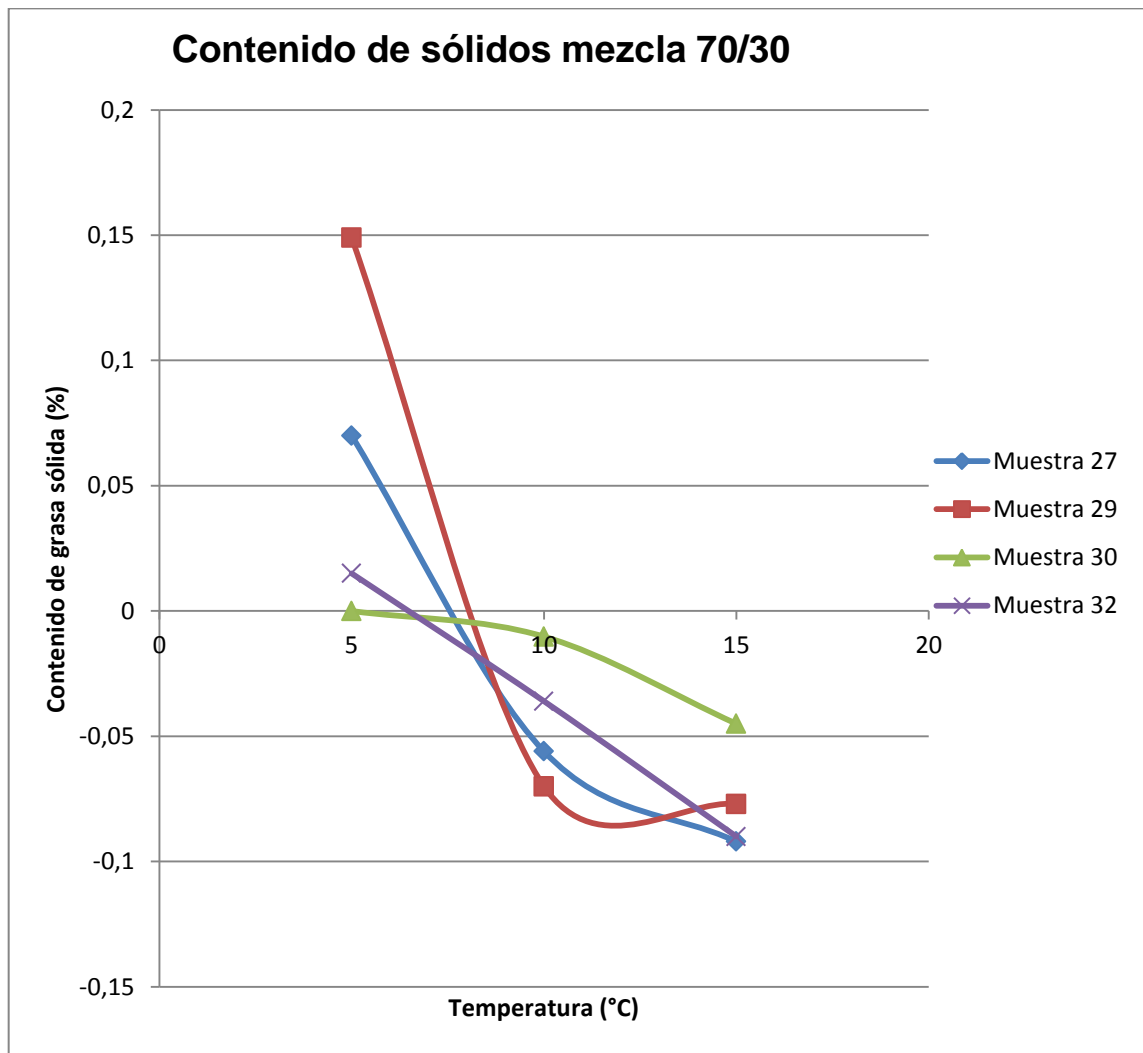
Fuente: elaboraci3n propia, tabla XXXVIII.

Tabla XLVIII. **Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 70 % aceite de soya y 30 % oleína de palma pura**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
27	$\% = 0,0013T^2 - 0,038T + 0,212$	1
29	$\% = 0,0012T^2 - 0,0289T + 0,123$	1
30	$\% = 0,0006T^2 - 0,0155T + 0,093$	1
32	$\% = 0,0035T^2 - 0,1052T + 0,641$	1

Fuente: elaboración propia, figura 17.

Figura 18. Comportamiento grafico del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 60 % aceite de soya y 40 % oleína de palma pura



Fuente: elaboración propia, tabla XL.

Tabla XLIX. **Comportamiento de la curva del contenido de grasa sólida presente en cada una de las muestras analizadas anteriormente, mezcla 60 % aceite de soya y 40 % oleína de palma pura**

Muestra	Ecuación de la gráfica	Correlación
27	$\% = 0,0018T^2 - 0,0522T + 0,286$	1
29	$\% = 0,0042T^2 - 0,1074T + 0,58$	1
30	$\% = -0,0005T^2 + 0,0053T - 0,0144$	1
32	$\% = -6E-05T^2 - 0,0093T + 0,063$	1

Fuente: elaboración propia, figura 18.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Debido a la necesidad de verificar y poder predecir el comportamiento de los aceites, se llevó a cabo el análisis de la oleína de palma y mezcla de soya/oleína a diferentes proporciones, con el objetivo de determinar la calidad del aceite analizado y su resistencia a la solidificación a diferentes temperaturas.

Se realizaron diferentes análisis a nivel laboratorio, entre ellos punto de nube, índice de yodo, estabilidad térmica y porcentaje de sólidos por medio de resonancia magnética; para la realización de la parte experimental se tomaron diferentes muestras de oleínas de diferentes *batch* y diferentes cristalizadores, esto con el objetivo de obtener un análisis completo de la oleína analizada.

Al momento de obtener los primeros resultados de las oleínas puras analizadas, se observó claramente que un factor que determina la calidad del aceite es el índice de yodo, el cual a la vez predice la estabilidad térmica que presentará el aceite analizado, al momento de ser expuesto a bajas temperaturas, debido a que cuanto más alto es el valor del índice de yodo más resistencia tendrá la oleína a la solidificación, demostrando de esta manera que la oleína analizada es de excelente calidad, y que el proceso de fraccionamiento llevado a cabo para la obtención de la misma fue eficiente.

En los resultados del porcentaje de sólidos presentes en la oleína realizado por medio de resonancia magnética, a las temperaturas de 5, 10 y 15 °C, se observó por medio de las gráficas de comportamiento realizadas del contenido de sólidos en función de la temperatura, que el porcentaje de sólidos

presentes en las muestras de oleína disminuye al momento que la temperatura aumenta, y que dicho comportamiento se puede predecir al momento de realizar las pruebas de índice de yodo, punto de nube y estabilidad térmica, puesto que una oleína con un índice de yodo y estabilidad térmica altos y un punto de nube bajo, presentará una cantidad de sólidos pequeña, indicando de esta manera que la calidad de la oleína es alta y que para climas fríos o temperaturas muy bajas, presentará un comportamiento ideal para su consumo.

Cuando se tiene una oleína con un porcentaje de sólidos alto, para evitar volver a procesarla en la etapa de fraccionamiento se busca la manera de reducir los sólidos presentes, es por ello que se realizan mezclas de oleína con cierto porcentaje de aceite de soya; el aceite de soya contiene un porcentaje de sólidos muy bajo, es por ello que es ideal para realizar este tipo de mezclas. Las mezclas analizadas para esta investigación fueron soya/oleína a los porcentajes de 90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, dichos porcentajes son los utilizados con mayor frecuencia en la industria de aceites.

Al momento de analizar las mezclas soya/oleína se observa claramente que tanto su punto de nube como su porcentaje de sólidos son muy bajos, pero su índice de yodo y estabilidad térmica son altos. El porcentaje de sólidos de dichas mezclas presentó el mismo comportamiento al momento de ser analizado en función de la temperatura, demostrando que el contenido de sólidos es inversamente proporcional a la temperatura.

Con los resultados obtenidos anteriormente se observa que una mezcla soya/oleína, posee una mayor resistencia a la solidificación al momento de ser expuesta a temperaturas bajas, indicando de esta manera que es apta para el consumo en lugares con climas muy fríos.

Los factores que por medio de la experimentación llevada a cabo, se observaron que afectan la calidad de la oleína son la acidez del aceite crudo de palma y el índice de yodo que este presenta, al momento de ser analizado antes del proceso de refinación, puesto que según los datos obtenidos un aceite con una acidez baja e índice de yodo alto, dará como resultado una oleína de calidad, es por ello que es necesario el análisis detallado del aceite crudo antes de procesarlo, para evitar de esta manera la obtención de oleínas de baja calidad y un rechazo por parte del consumidor, al darse cuenta que la oleína consumida no cumple con los requisitos y expectativas requeridas.

Para el análisis estadístico realizado por medio del Análisis de Varianza, para la estabilidad térmica de las oleínas analizadas y las mezclas soya/oleína a diferentes proporciones, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

CONCLUSIONES

1. Al momento de determinar el contenido de sólidos (grasa sólida) en las oleínas de palma en función de la temperatura, se observó que el porcentaje de sólidos presentes en la oleína es inversamente proporcional a la temperatura, debido a que el contenido de sólidos disminuyó conforme la temperatura aumentaba, al momento del análisis por medio de resonancia magnética.
2. El contenido de grasa sólida presente en las mezclas realizadas de oleína de palma africana con aceite de soya, fue inversamente proporcional a la temperatura al igual que los resultados obtenidos con oleína pura, presento valores muy bajos en comparación con los obtenidos en las oleínas puras analizadas, esto debido a que el aceite de soya posee cantidades muy bajas de sólidos, lo cual ayudó a reducir la cantidad de sólidos presentes en la oleína.
3. Se analizó la estabilidad de oleínas de palma pura por medio de la prueba de estabilidad térmica, con la cual se observó que no todas las oleínas se comportan de la misma manera, esto debido ya sea al índice de yodo inicial que presentó el aceite de palma cruda antes del proceso de refinación, o la cantidad de sólidos presentes en la muestra analizada por resonancia magnética, lo cual impide que la oleína presente mayor resistencia a la solidificación a temperaturas bajas.

4. La estabilidad térmica obtenida al momento de analizar las mezclas de aceite de soya y oleína pura a diferentes porcentajes, como se esperaba desde un inicio tuvo un comportamiento de mayor resistencia a la solidificación, esto debido a que como se mencionó anteriormente el aceite de soya posee una muy baja cantidad de sólidos.
5. Con la elaboración de las curvas características tanto de la oleína pura como de las mezclas soya/oleína, se observó de una manera gráfica el comportamiento del contenido de sólidos presentes en el aceite en función de la temperatura, se demostró de esta manera que el contenido de sólidos es inversamente proporcional a la temperatura.
6. Para el análisis estadístico realizado por medio del Análisis de Varianza para la estabilidad térmica de las oleínas analizadas, y las mezclas soya/oleína a diferentes proporciones, la hipótesis nula se rechaza debido a que existe diferencia significativa entre los valores determinados.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar cada uno de los análisis de laboratorio para la oleína y las mezclas de soya/oleína, realizar más repeticiones en la medición para poder obtener datos más exactos.
2. Verificar que la cantidad de muestra tomada para cada uno de los análisis realizados sea la misma para las demás repeticiones, obteniendo de este modo una uniformidad en la medición y experimentación.
3. Para las mezclas de aceite soya/oleína verificar que las proporciones sean exactas, para evitar datos erróneos en cada uno de los análisis.
4. Verificar que cada uno de los instrumentos de medición utilizados en la experimentación y análisis, se encuentren debidamente calibrados, evitando así datos erróneos o equívocos.
5. Analizar detalladamente la acidez, índice de yodo y ácidos grasos libres del aceite crudo de palma, antes de procesarlo para su refinación, para evitar de esta manera la obtención de oleína de baja calidad que no cumpla con las especificaciones requeridas y esperadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIOLA ILLESCAS, Juan Luis, *Validación del Método de determinación de Ácidos grasos libres MO-MAN009 Sec II edición 05 vrs Método AOCS CA 5ª-40*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008, 51 p.
2. GALLEGO QUINTERO, Jairo Alexander, CÓRDOBA PÁEZ, José Julián. *Estudio de la hidrogenación de la oleína del aceite de palma Africana para la obtención de grasas modificadas*. e Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Universidad Industrial de Santander, 2005, 78 p.
3. LIMA MONTENEGRO, Oliver Alejandro, *Obtención de una base para margarina libre de isómeros trans a partir del fraccionamiento de aceite de palma africana*, Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006, 67 p.
4. LÓPEZ CASTELLANOS, Oscar Gerardo. *Manual de Operación y Mantenimiento del equipo de Cristalización de Mantecas en una Industria de Aceites y Grasas*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1999, 67 p.

5. M. KELLENS DE SMET GROUP, *New Developments in the Fractionation of Palm Oil*. PipocPorim International Palm Oil Congress, Kuala Lumpur Malaysia. 1993. p. 2-13.
6. PERRY, P. "*Biblioteca del Ingeniero Químico*". Segunda Edición en español volumen III. Editorial McGraw Hill. México, 1986. 12 p.
7. INCROPERA, F. *Fundamentos de Transferencia de Calor y Masa*. Cuarta Edición. México, editorial Prentice Hall 1999. 213 p.
8. STANDARD, "*Methods for the analysis of oils, fats and derivates. International Union of Pure and Applied Chemistry*". 7th. edition. Blackwell Scientific Publications. IUPAC Method 2.205. (USA): 1987. 24 p.
9. WALPOLE, MYERS, MYERS, YE. "Probabilidad & Estadística para Ingeniería & Ciencias", Octava Edición, Editorial Prentice Hall, México 2007. 840 p.
10. Amigos de la Tierra, *Aceite De Palma: Usos, Origenes E Impactos*, revista. 16 p.
11. DE SMET, "*La Producción de Aceites y Grasas vegetales*", Produced for the De Smet Group by Extraction De Smet, Belgium. 04/2000. 25 p.
12. Desarrollos en la tecnología de fraccionamiento. Libro de Oro de A&G – 10° Aniversario – Tomo II – 225. 729 p.

13. DR. NOR AINI IDRIS, “*Mezcla de oleína de palma para mejorar el punto de nube*”, EI PALMICULTOR, Septiembre 1994. 6-7 p.
14. Hendrix Marc, “*Fraccionamiento en seco del aceite y de los ácidos grasos del palmiste para los productos de alto valor agregado*”, Palmas, DesmetBallestraGroup,,Minervastraat 1, 1930 Zaventem (Belgium), Vol. 31 No. Especial, Tomo II, 2010. 312 – 326 p.
15. HUI Y.H. “*Bailey’s Industrial Oil & Fat Products. Volume 4 Edible oil & Fat Products: Processing Technology*”. 5th. ed. U.S.A. Edited 1996. 327 – 328 p.
16. H.B.W. Patterson. “*Bleaching and Purifying Fats and Oils, Theory and Practice*”. American Oil Chemists,Society, Chamaing, Illinois 1992, p. 14 a 29, 149 a 153.
17. PORIM. “*International Palm Oil Congress, Competitiveness for the 21st century*”. 337 p.
18. Tecnologías para la Industria Alimentaria, “*Cristalización Fraccionada*”,Alimentos Argentinos – MinAgri, Ficha No. 10. 9 p.

Documentos Electrónicos

1. AMIGOS DE LA TIERRA, “*Aceite de palma: usos, orígenes e impactos*”, Calle Cadarso, 16 bajo e, 28008 – Madrid, www.tierra.org. [ref. de 18 de Octubre de 2013], Disponible en web: <http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite_de_Palma.pdf>.
2. CODEX STAN 210 – 1999, “*Norma del codex para aceites vegetales especificados Codex Stan 210-1999*”, páginas 1-14, [ref. de 16 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<http://www.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58119/practicas/Codex%20Stan%20210%20Aceites%20vegetales.pdf>>.
3. COVENIN 3007:2001, FONDONORMA, “*Aceites y Grasas vegetales, Determinación del Punto de Nube*”, primera revisión, Norma Venezolana, [ref. de 16 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<http://www.sencamer.gov.ve/sencamer/normas/3007-01.pdf>>.
4. “*Desarrollos en la tecnología de fraccionamiento*”. Libro de Oro de A&G- 10° Aniversario – Tomo II – 225. [ref. de 16 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_10_Fraccionamiento.pdf>.
5. E P A C E M. S. A., “*Departamento Control de Calidad*”, Ficha Técnica, FECHA: 2010-04-13, página 1, [ref. de 16 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<http://epacem.com.ec/pdfs/FichaTecnicaOleina.pdf>>.

6. EPACEM S.A., “*Ficha Técnica Oleínas*”, Quito, Santo Domingo, [ref. de 15 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<http://epacem.com.ec/inter.php>>.
7. GRUPO NUMAR, “*Información General, Procesos, Aceites, Palma Tica*”, Costa Rica, [ref. de 16 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<http://www.gruponumar.com/esp/infnumprocesos.html>>.
8. HONDUPALMA, “*Productos, Oleina de Palma, descripción, uso sugerido*”. Palmas Aceiteras de Honduras/E.C.A.R.A., Empresa Cooperativa Agroindustrial, Honduras. [ref. de 15 de Octubre de 2013]. Disponible en Web: <<https://sites.google.com/site/hondupalma/>>
9. MORALES VALLEJO, Pedro. “*Introducción al análisis de varianza*”. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España, Facultad de Ciencias Humanas y sociales, 19 de Agosto de 2012. [ref. de 18 de Octubre de 2013]. Disponible en web: <<http://www.upcomillas.es/personal/peter/analisisdevarianza/ANOVAIntroduccion.pdf>>.
10. SCHMIDT + HAENSCH, ATR-Series, “*Laboratory-refractometer*”, Opto-electronic measuring device since 1864, Germany, [ref. de 06 de Febrero de 2014]. Disponible en web: <<http://www.schmidt-haensch.com/en/products/prod/laboratory-instruments/refractometer/atr-w-series/>>
11. BRUKER, Serie minispecmq, Innovationwithintegrity, [ref. de 06 de Febrero de 2014]. Disponible en web:

<<http://www.bruker.com/es/products/mr/td-nmr/minispec-mq-series.html>>

12. BAÑOS TERMOSTÁTICOS, baños de agua, DUEROLAB, [ref. de 12 de Febrero de 2014]. Disponible en web: <<http://www.duerolab.com/banos.html>>

APÉNDICES

DATOS ORIGINALES

A continuación se presentan los parámetros de medición y resultados obtenidos durante el proceso de fraccionamiento del aceite de palma de las 4 muestras utilizadas para realizar las mezclas de aceite de soya y oleína. Los resultados obtenidos para las muestras analizadas durante el proceso de filtración fueron los siguientes:

- Tiempos de enfriamiento y temperaturas del cristizador contenedor de Palma, para el proceso de fraccionamiento posterior.

Tabla I. **Tiempos de enfriamiento y temperaturas del cristizador contenedor de la palma utilizada para el proceso de fraccionamiento en donde se obtuvo la oleína de la muestra Núm. 27**

Hora	Tiempo (min)	Temperatura Aceite(°C)	Temperatura Agua(°C)	Temperatura Ice Builder(°C)	% Apertura Válvula
18:00	0	70	70	-	50
18:30	30	60	50	-	50
19:00	60	50	40	-	50

Continuación de la tabla I.

19:30	90	40	30	-	50
20:00	120	37	29	-	75
20:30	150	34	28	-	75
21:00	180	33	27	-	75
21:30	210	32	26	-	75
22:00	240	31	25	-	75
22:30	270	30	24	-	75
23:00	300	29	23,5	3	50
23:30	330	28	23	3	50
0:00	360	27	22,5	3	50
0:30	390	26	22	3	50
1:00	420	25	21,5	3	50
1:30	450	24	21	3	50
2:00	480	23	20	3	75
2:30	510	22	19	3	75
3:00	540	21	18	3	75
3:30	570	20,5	17,5	3	75
4:00	600	20	17	3	75
4:30	630	19,5	16,5	3	75
5:00	660	19	16	3	75
5:30	690	18	15	3	75

Fuente: Documentos de control del proceso de fraccionamiento, Planta Refinadora.

Tabla II. **Tiempos de enfriamiento y temperaturas del cristalizador contenedor de la palma utilizada para el proceso de fraccionamiento en donde se obtuvo la oleína de la muestra Núm. 29**

Hora	Tiempo (min)	Temperatura Aceite(°C)	Temperatura Agua(°C)	Temperatura Ice Builder(°C)	% Apertura Válvula
7:30	0	70	70	-	50
8:00	30	67	60	-	50
8:30	60	64	57	-	50
9:00	90	61	54	-	50
9:30	120	58	51	-	50
10:00	150	55	48	-	50
10:30	180	52	45	-	75
11:00	210	49	42	-	75
11:30	240	46	39	-	75
12:00	270	43	36	-	75
12:30	300	40	33	-	75
13:00	330	37	30	-	75
13:30	360	34	27	-	75
14:00	390	33	24	-	75
14:30	420	32	21,5	3	50
15:00	450	31	21	3	50
15:30	480	30	20,5	3	50
16:00	510	29	20	3	50
16:30	540	28	19,5	3	50
17:00	570	27	19	3	50
17:30	600	26	18,5	3	50

Continuación de la tabla II.

18:00	630	25	18	3	100
18:30	660	24	17,5	3	100
19:00	690	23	17	3	100
19:30	720	22	16,5	3	100
20:00	750	21	16	3	100
20:30	780	20	15,5	3	100
21:00	810	19	15	3	100
21:30	840	18	14	3	100

Fuente: Documentos de control del proceso de fraccionamiento, Planta Refinadora.

Tabla III. **Tiempos de enfriamiento y temperaturas del cristizador contenedor de la palma utilizada para el proceso de fraccionamiento en donde se obtuvo la oleína de la muestra Núm. 30**

Hora	Tiempo (min)	Temperatura Aceite(°C)	Temperatura Agua(°C)	Temperatura Ice Builder(°C)	% Apertura Válvula
23:00	0	62	60	-	50
23:30	30	55	50	-	50
0:00	60	48	40	-	50
0:30	90	43	35	-	50
1:00	120	38	32	-	50
1:30	150	35	31	-	50
2:00	180	33	30	-	100

Continuación de la tabla III.

2:30	210	32	28	-	100
3:00	240	31	26	-	100
3:30	270	30	25	-	100
4:00	300	29	24	3	50
4:30	330	28	22	3	50
5:00	360	29	21	3	50
5:30	390	28	20	3	50
6:00	420	27	19,5	3	50
6:30	450	26	19	3	50
7:00	480	25	18,5	3	50
7:30	510	24	18	3	50
8:00	540	23	17,6	3	50
8:30	570	22	17	3	50
9:00	600	21	17	3	50
9:30	630	20	16,5	3	50
10:00	660	19	16	3	50
10:30	690	18	15,5	3	50
11:00	720	17	15	3	50

Fuente: Documentos de control del proceso de fraccionamiento, Planta Refinadora.

Tabla IV. **Tiempos de enfriamiento y temperaturas del cristizador contenedor de la palma utilizada para el proceso de fraccionamiento en donde se obtuvo la oleína de la muestra Núm. 32**

Hora	Tiempo (min)	Temperatura Aceite(°C)	Temperatura Agua(°C)	Temperatura Ice Builder(°C)	% Apertura Válvula
16:00	0	70	70	-	50
16:30	30	62	58	-	50
17:00	60	54	50	-	50
17:30	90	50	45	-	50
18:00	120	47	40	-	50
18:30	150	44	38	-	50
19:00	180	42	36	-	50
19:30	210	40	33	-	100
20:00	240	38	30	-	100
20:30	270	36	29	-	100
21:00	300	34	28	-	100
21:30	330	33	27	-	100
22:00	360	32	26	-	100
22:30	390	31	25	-	100
23:00	420	30	24	3	40
23:30	450	29	22	3	40
0:00	480	28	21	3	40
0:30	510	27	20,5	3	40
1:00	540	26	20	3	40
1:30	570	25	19,5	3	40
2:00	600	24	19	3	60

Continuación de la tabla IV.

2:30	630	23	18	3	75
3:00	660	22	17	3	75
3:30	690	21	16,5	3	75
4:00	720	20,5	16	3	75
4:30	750	20	15,5	3	75
5:00	780	19,5	15	3	75
5:30	810	19	15	3	75
6:00	840	18,5	14	3	75

Fuente: Documentos de control del proceso de fraccionamiento, Planta Refinadora.

- Condiciones de Operación en planta y resultados de pruebas realizadas en el laboratorio para cada una de las muestras de oleína analizadas.

Tabla V. **Control del proceso de fraccionamiento: producto de alimentación: palma**

Control del proceso de Fraccionamiento: palma						
Muestra	Fecha	Tanque	Luz inicial	Luz Final	T (°C)	Batch
1	05/12/2013	CR1	45	0	18	694
2	05/12/2013	CR4	44	0	17	695
3	06/12/2013	CR2	79	339	17	697
4	06/12/2013	CR1	32	277	17	698
5	09/12/2013	CR3	35	538	18	702
6	09/12/2013	CR3	35,5	0	18	707

Continuación de la tabla V.

7	12/12/2013	CR3	55	176	18	710
8	12/12/2013	CR3	55	176	18	710
9	13/12/2013	CR3	46	228	17	714
10	16/12/2013	CR4	42	0	18	721
11	16/12/2013	CR4	42	0	18	721
12	17/12/2013	CR3	55	0	18	722
13	17/12/2013	CR3	55	0	18	722
14	17/12/2013	CR2	47	0	18	724
15	18/12/2013	CR6	28,6	0	18	726
16	18/12/2013	CR1	42	0	18	728
17	19/12/2013	CR3	45	0	18	729
18	19/12/2013	CR2	42	0	18	730
19	20/12/2013	CR6	64	0	18	732
20	27/12/2013	CR1	40	0	18	747
21	27/12/2013	CR3	36	0	18	749
22	27/12/2013	CR6	43	0	18	750
23	27/12/2013	Muestra sin filtrar				
24	03/01/2014	CR3	41	0	18	2
25	03/01/2014	CR5	41	0	18	3
26	03/01/2014	CR-7	64	0	18	4
27	06/01/2014	CR3	40	370	18	12
28	06/01/2014	CR7	44	0	18	10
29	07/01/2014	CR-6	56	0	18	13
30	07/01/2014	CR-2	45	431,5	17	14

Continuación de la tabla V.

31	08/01/2014	CR-3	44	0	18	18
32	09/01/2014	CR-6	47,5	393,5	18	17

Fuente: Documentos obtenidos en el control de proceso de Fraccionamiento de Aceite de Palma, planta Refinadora.

Tabla VI. **Control del proceso de control de calidad de fraccionamiento: producto de alimentación: palma**

Control de Calidad: Palma						
Muestra	Acidez	Peróxido	Índice de Yodo	Humedad (%)	Color	Punto de Fusión (°C)
1	0,060	0,280	32,780	0,300	2,100	40,400
2	0,054	0,550	51,910	0,220	2,200	40,000
3	0,050	0,390	52,260	0,300	2,400	38,000
4	0,042	0,520	51,910	0,220	2,000	40,200
5	0,056	0,200	51,560	0,200	2,200	40,400
6	0,050	0,150	51,910	0,200	2,300	40,910
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	0,051	0,600	51,560	0,200	2,600	40,400
10	0,050	0,390	52,080	0,210	2,500	40,400
11	0,050	0,390	52,080	0,210	2,500	40,400

Continuación de la tabla VI.

12	0,046	0,320	52,610	0,220	2,800	39,600
13	0,046	0,320	52,610	0,220	2,800	39,600
14	0,046	0,300	51,560	0,210	2,300	40,000
15	0,032	0,230	56,450	0,200	2,700	40,000
16	0,046	0,220	51,910	0,210	2,600	40,400
17	0,055	0	51,910	0,220	2,300	40,200
18	0,046	0,240	50,680	0,260	2,700	40,400
19	0,040	0	52,960	0,130	3,000	40,600
20	0,050	0,390	52,260	0,240	2,500	38,400
21	0,039	0,470	51,210	0,200	2,800	39,200
22	0,040	0,200	58,200	0,300	2,000	40,000
23	Muestra sin filtrar					
24	0,059	0,570	52,960	0,250	2,800	40,400
25	0,043	0,260	52,610	0,190	4,600	38,000
26	0,054	0,200	51,730	0,190	3,000	40,000
27	0,055	0,980	53,130	0,280	3,500	40,400
28	0,034	0,150	51,910	0,220	2,500	40,000
29	0,050	0,860	51,910	0,200	3,100	40,200
30	0,048	0,910	52,080	0,300	3,100	40,000
31	0,061	0,770	52,090	0,240	3,000	39,800
32	0,069	0,700	52,090	0,220	3,500	39,000

Fuente: Documentos obtenidos en el control de proceso de Fraccionamiento de Aceite de Palma, planta Refinadora.

Tabla VII. **Control del proceso de la descarga después del proceso de fraccionamiento: descarga: oleína**

Control del proceso de Fraccionamiento					
Muestra	Tanque	Luz inicial	Luz Final	T (°C)	Batch
1	D-16	703	646	40	694
	D-19	0	615	40	
2	D-16	0	582	40	695
	D-13	0	726	40	
3	D-13	726	681	40	697
4	D-16	0	676	40	698
5	D-13	661	632	40	702
	D-16	745,5	643	40	
6	D-16	741,5	567	40	707
7	D-16	688	653	40	710
8	D-16	688	653	40	710
9	D-13	619,5	565	40	714
10	D-13	554	446	40	721
11	D-13	554	446	40	721
12	D-16	620	439	40	722
13	D-16	620	439	40	722
14	D-13	742	556	40	724
15	D-13	361	311	40	726
16	D-16	0	570	40	728
17	D-16	570	536	40	729
18	D-13	593	539	30	730
	D-16	0	640	30	

Continuación de la tabla VII.

19	D-19	563	411	30	732
20	D-19	200	282	30	747
	CR5	0	362	30	
	D-16	656,5	644	30	
21	CR1	215,5	17	30	749
	D-16	744	703.5	30	749
22	D-16	703,5	671	30	750
23	Muestra sin filtrar				
24	D-19	651	580	35	2
25	D-19	580	479	30	3
	D-16	0	697	30	3
26	D-16	697	558.5	30	4
27	D-16	602,5	599.5	30	12
	D-13	742,5	658	30	12
28	D-19	0	663	30	10
	D-16	0	745	35	10
29	D-16	745	613	35	13
30	D-19	755,5	633	30	14
31	D-13	744	682	30	18
	D-19	0	632,5	30	18
32	D-16	0	694	30	17

Fuente: Documentos obtenidos en el control de proceso de Fraccionamiento de Aceite de Palma, planta Refinadora.

Tabla VIII. **Control de calidad de la descarga después del proceso de fraccionamiento: oleína.**

Control de Calidad: Oleína							
Muestra	Acidez	Peróxido	Índice de Yodo	Humedad (%)	Color	Punto de Fusión (°C)	Estabilidad térmica (min)
1	0,040	0,380	58,560	0,390	2,9	18	50
2	0,065	0,660	41,420	0,270	2,5	18	70
3	0,058	0,600	41,070	0,380	2,5	18	50
4	0,065	0,150	59,610	0,300	2,6	17,800	90
5	0,055	0,590	58,380	0,120	2,2	18	43
6	0,039	0,590	58,910	0,370	2,5	18	60
7	0,049	0,480	54,010	0,190	2,6	18	150
8	0,049	0,480	54,010	0,190	2,6	18	150
9	0,047	0,790	58,910	17,600	3,0	17,600	50
10	0,056	0,530	58,030	0,180	3	18	70
11	0,056	0,530	58,030	0,180	3	18	70
12	0,048	0,490	58,380	0,380	3	18,200	50
13	0,048	0,490	58,380	0,380	3	18,200	50
14	0,046	0,450	58,910	0,390	2,5	18	50
15	0,049	0,390	59,430	0,410	2,6	17,600	50
16	0,047	0,400	58,910	0,390	3	18	60
17	0,042	0,340	59,080	0,370	2,3	17,800	50
18	0,047	0,210	59,080	0,290	2,5	17,800	50
	0,047	0,210	59,080	0,290	2,5	17,800	50
19	0,046	0	59,780	0,490	2,1	17,800	150

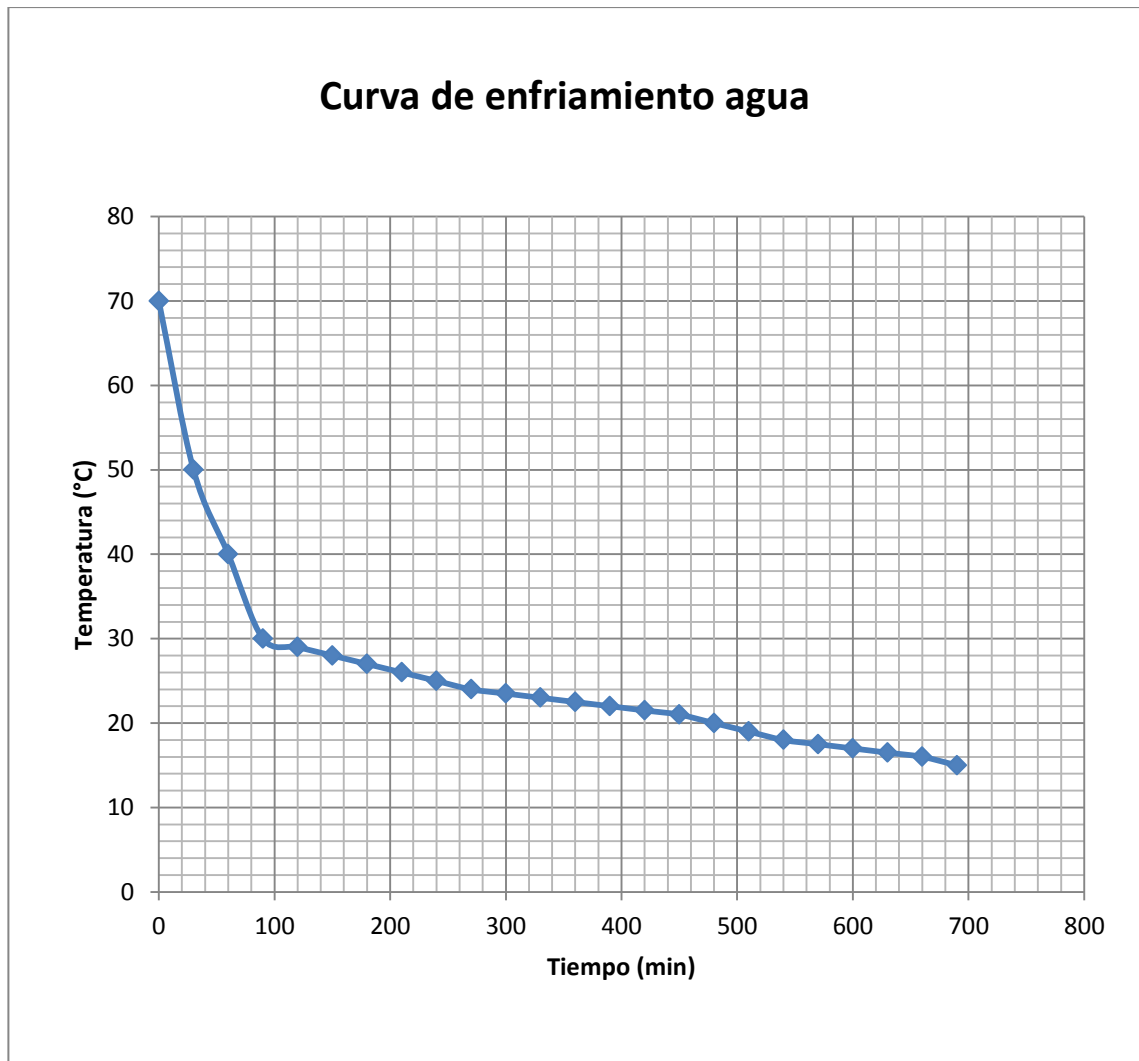
Continuación de la tabla VIII.

20	0,065	0,450	58,910	0,380	2,8	18	60
	0,065	0,450	58,910	0,380	2,8	18	60
21	0,038	0,390	57,510	0,210	3	18	50
	0,038	0,390	57,510	0,210	3	18	50
22	0,045	0,380	58,730	0,350	2,7	18	60
23	Muestra sin filtrar						
24	0,059	0,790	58,560	0,350	3	17,800	90
25	0,044	0,420	58,730	0,330	4,5	18	60
	0,044	0,420	58,730	0,330	4,5	18	60
26	0,044	0,380	59,260	0,360	3,1	17,600	50
27	0,058	1,090	58,380	0,310	3,8	17,400	55
	0,058	1,090	58,380	0,310	3,8	17,400	55
28	0,030	0,350	58,910	0,390	2,8	18	50
	0,030	0,350	58,910	0,390	2,8	18	50
29	0,051	0,500	59,950	0,300	3,4	18	50
30	0,045	1,180	59,260	0,600	3,3	17,600	65
31	0,067	1,010	58,910	0,390	3,6	18	180
	0,067	1,010	58,910	0,390	3,6	18	180
32	0,068	0,940	58,900	0,330	3,2	17,200	50

Fuente: Documentos obtenidos en el control de proceso de Fraccionamiento de Aceite de Palma, planta Refinadora.

- Curvas de enfriamiento del agua para los diferentes cristalizadores antes del proceso de fraccionamiento de donde se obtuvieron las muestras analizadas posteriormente.

Figura 1. **Curva de enfriamiento del agua para el cristizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 27**



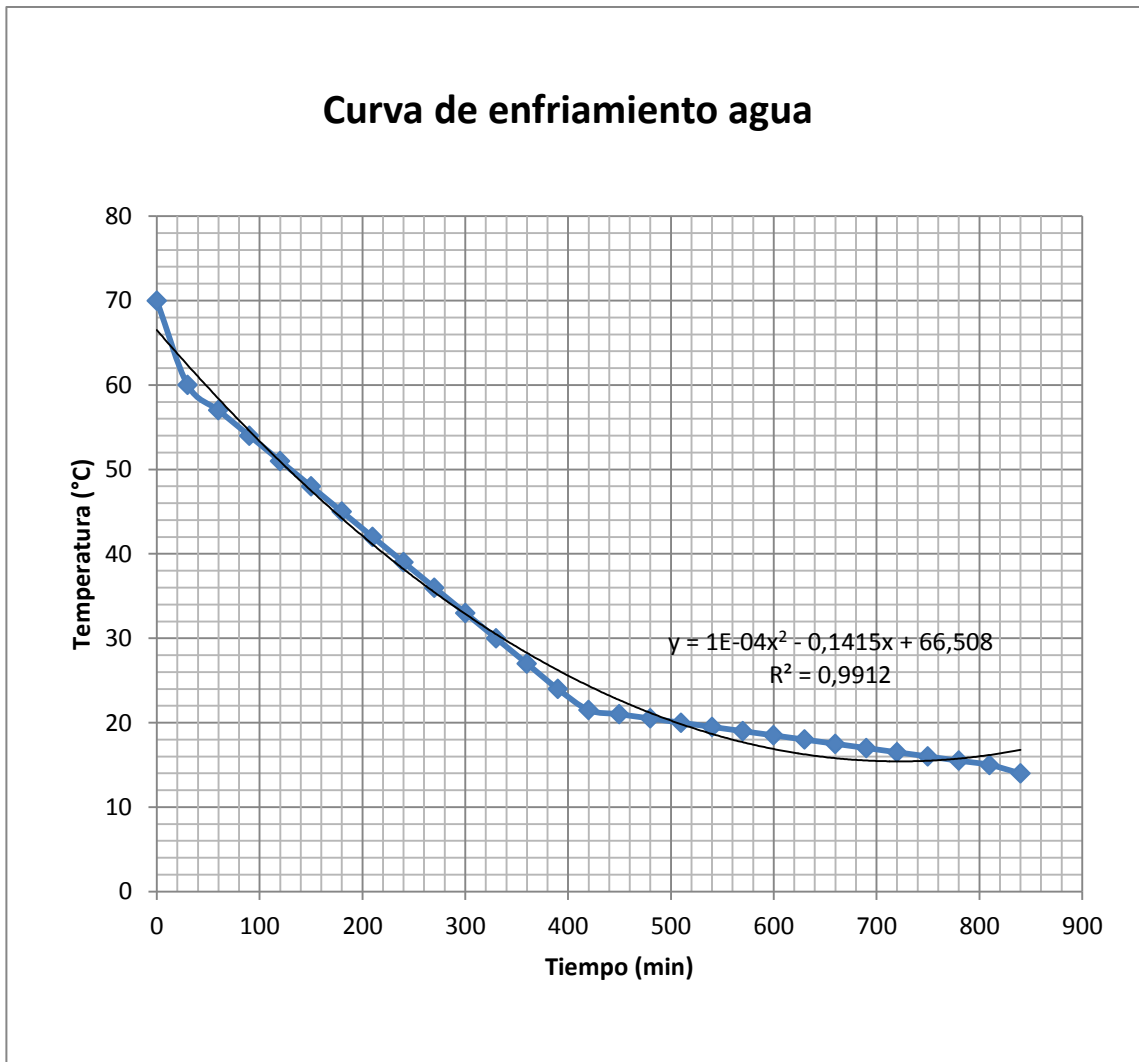
Fuente: Elaboración propia, tabla XXV

Tabla IX. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del agua para el cristizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 27**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 0,0001t^2 - 0,1342t + 51,34$	0,7914

Fuente: elaboración propia, figura 19.

Figura 2. Curva de enfriamiento del agua para el cristalizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 29



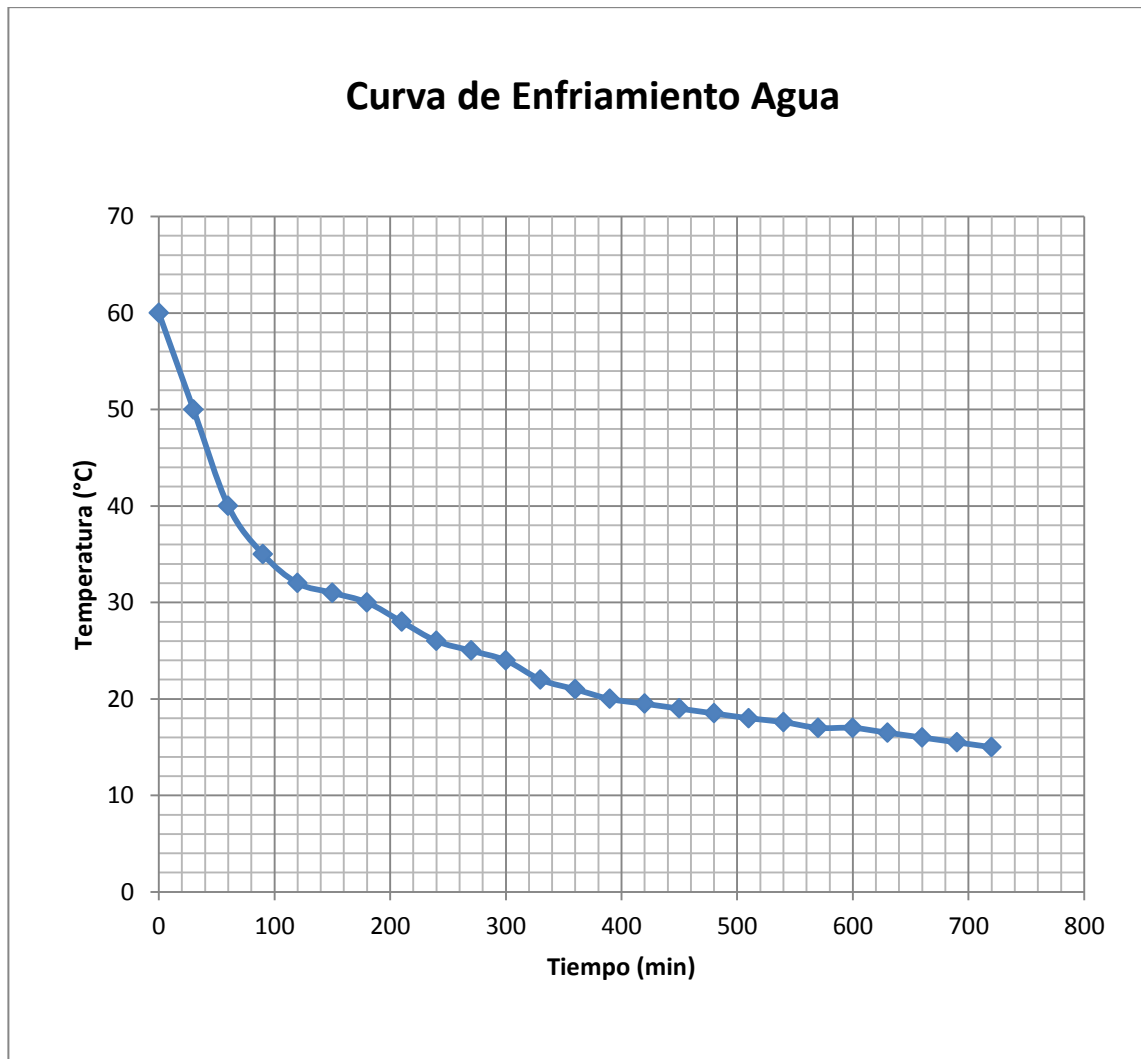
Fuente: Elaboración propia, tabla XXVI

Tabla X. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del agua para el cristizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 29**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 1 \text{ E } -04t^2 - 0,1415t + 66,508$	0,991

Fuente: Figura 20

Figura 3. **Curva de enfriamiento del agua para el cristizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 30**



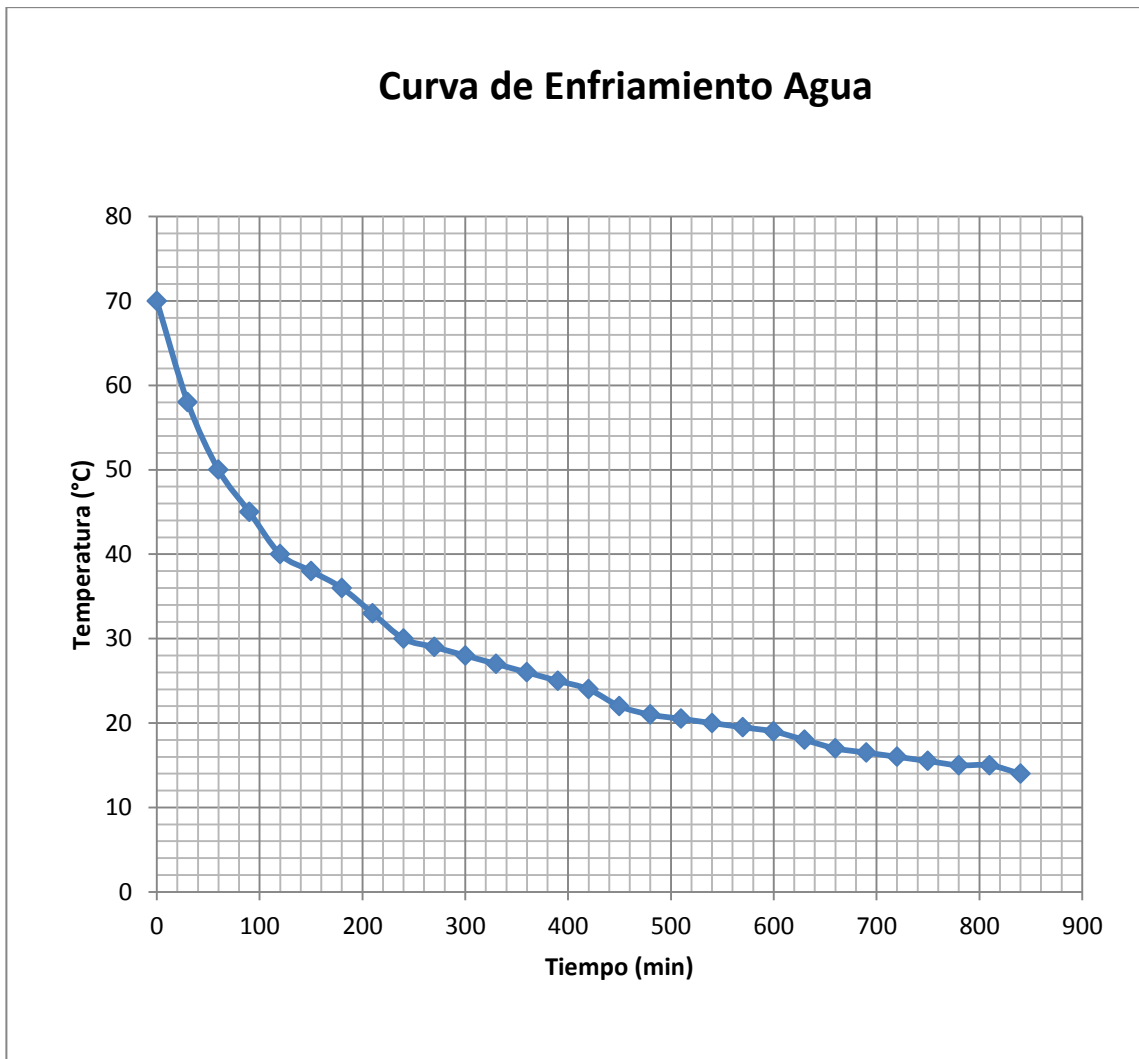
Fuente: Elaboración propia, tabla XXVII

Tabla XI. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del agua para el cristalizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 30**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 0,0001t^2 - 0,122t + 50,222$	0,926

Fuente: Figura 21

Figura 4. **Curva de enfriamiento del agua para el cristizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 32**



Fuente: Elaboración propia, tabla XXVIII

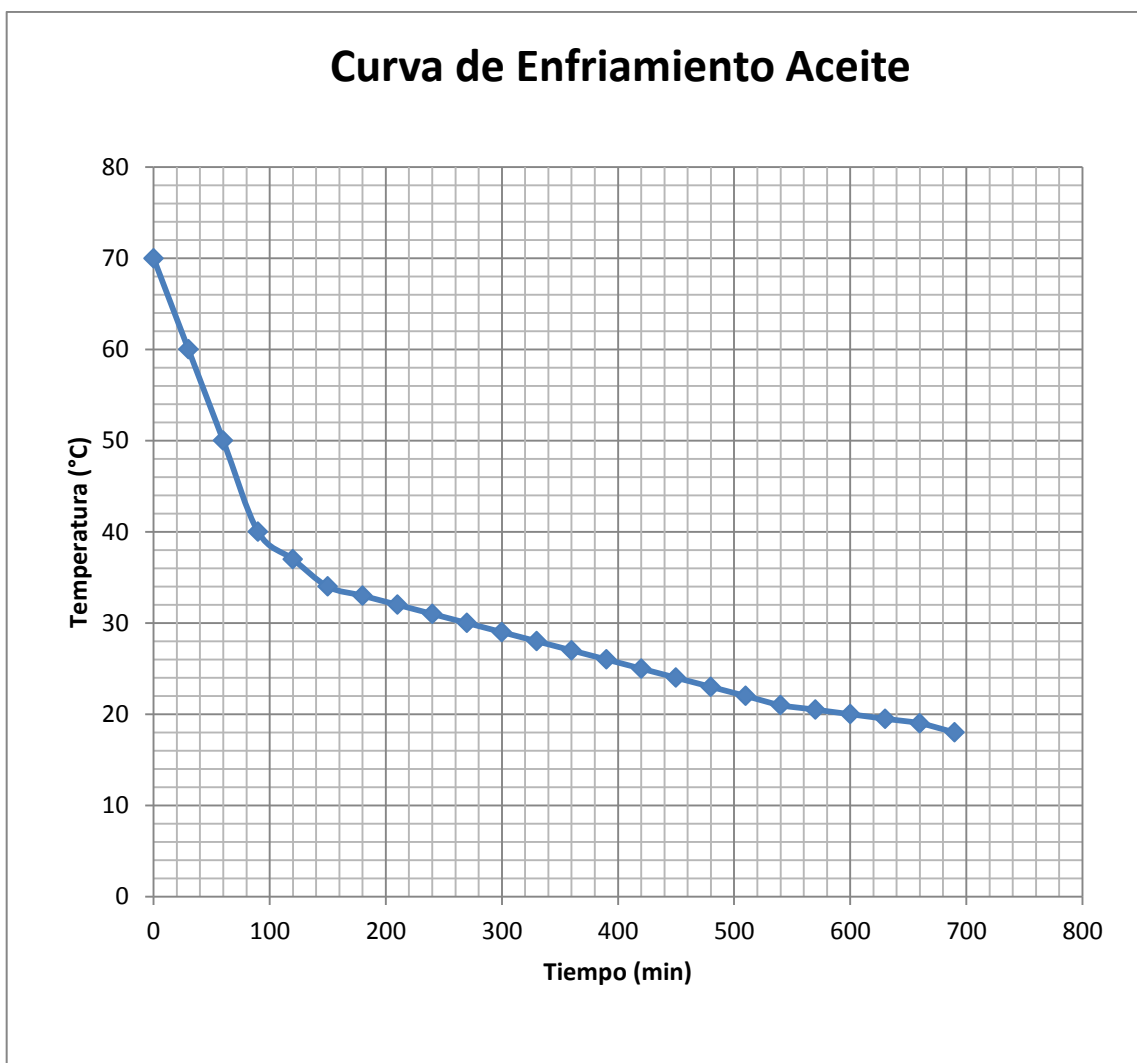
Tabla XII. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del agua para el cristalizador de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 32**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 9 \text{ E-}05 - 0,1246t + 58,52$	0,945

Fuente: figura Núm. 22

- Curvas de enfriamiento del aceite de palma en los diferentes cristalizadores antes del proceso de fraccionamiento de donde se obtuvieron las muestras analizadas posteriormente.

Figura 5. **Curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 27**



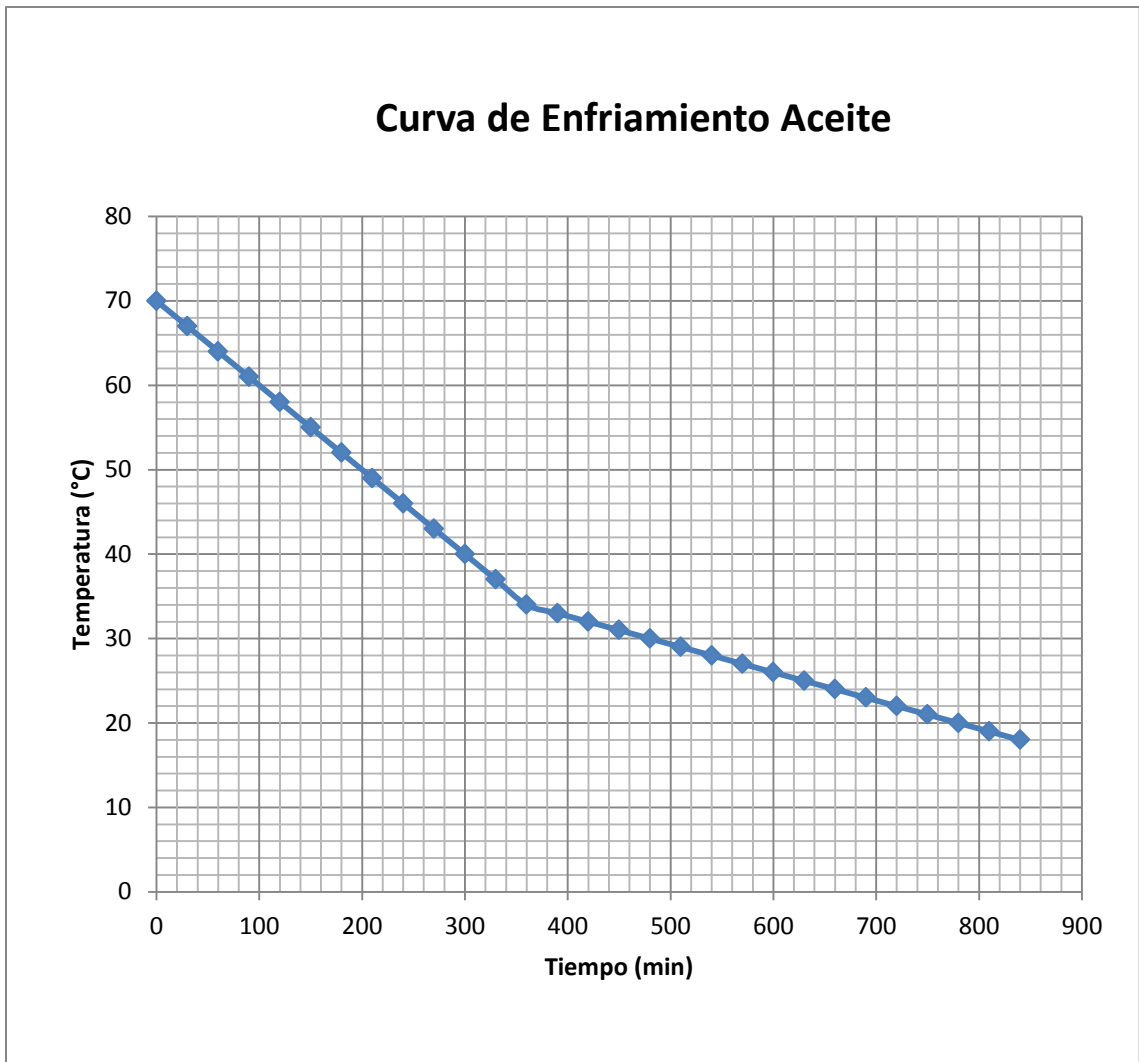
Fuente: Elaboración propia, tabla XXV

Tabla XIII. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 27**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 0,0001x^2 - 0,1413t + 58,87$	0,8994

Fuente: figura Núm. 23

Figura 6. **Curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra Núm. 29**



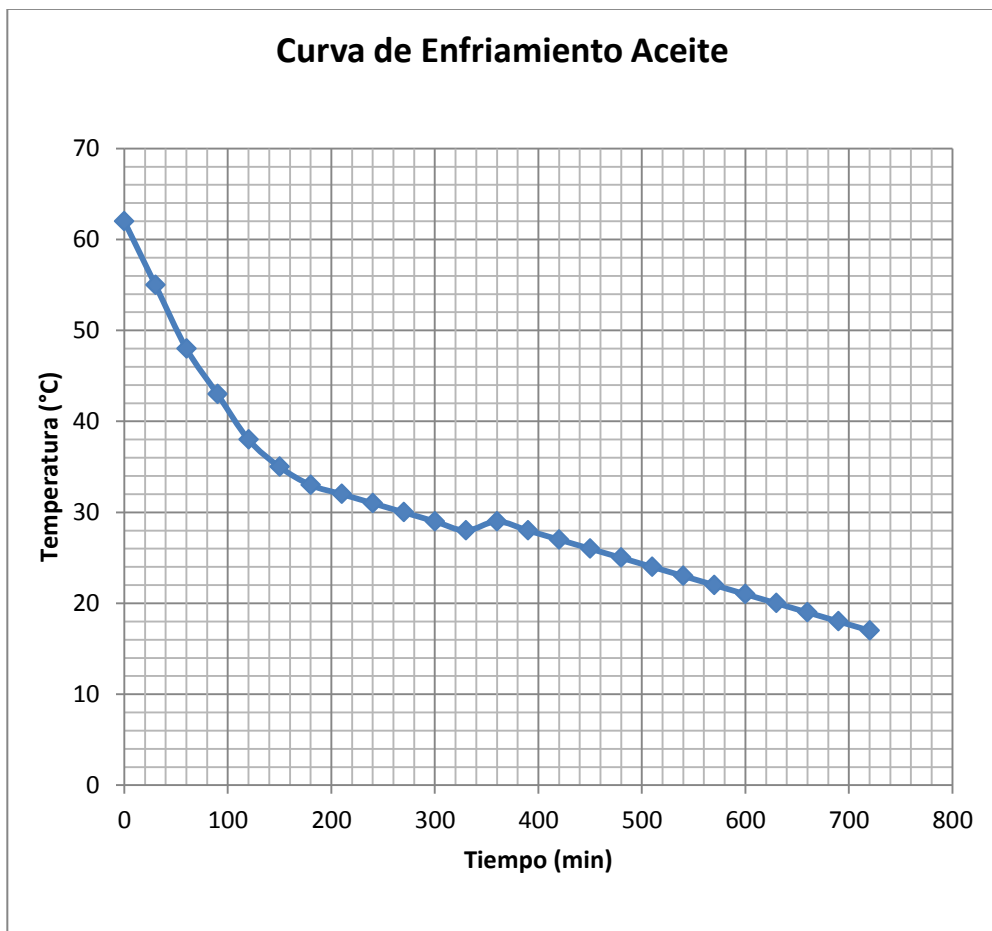
Fuente: elaboración propia, tabla XXVI

Tabla XIV. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 29**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 7 \text{ E } -05t^2 - 0,1181t + 70,363$	0,994

Fuente: figura 24

Figura 7. **Curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 30**



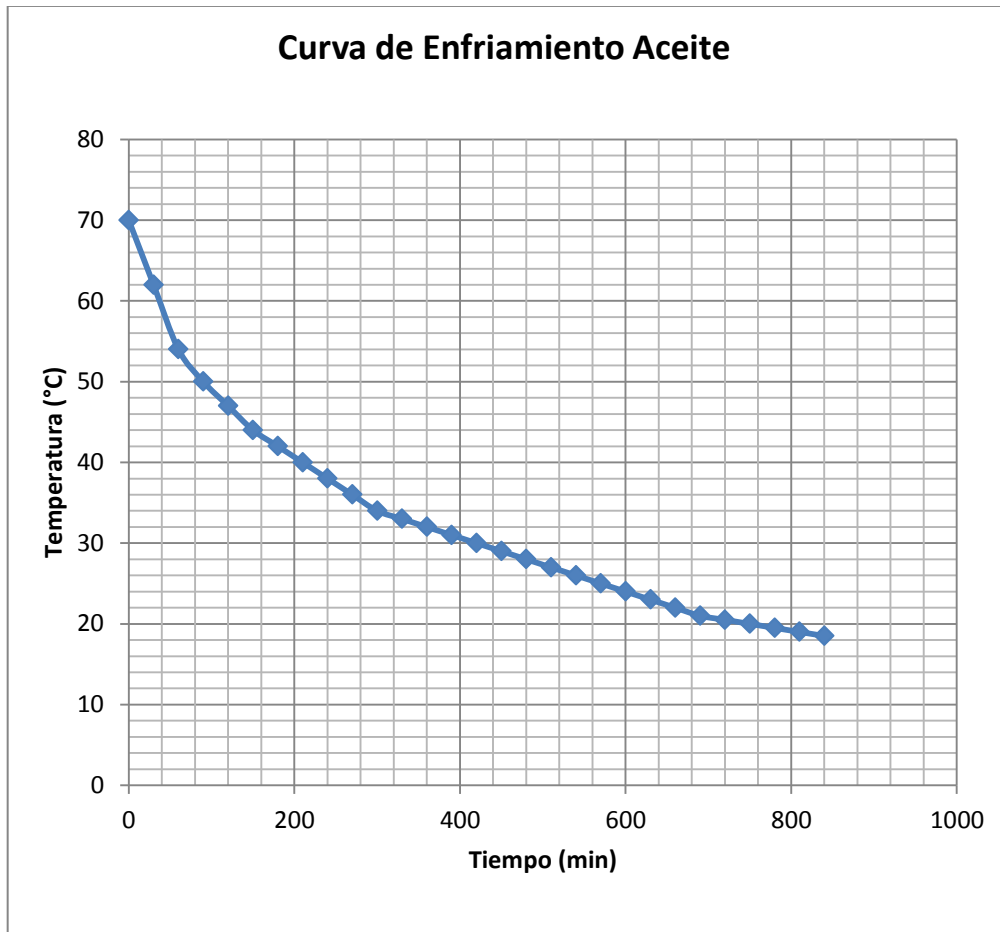
Fuente: elaboración propia, tabla XXVII

Tabla XV. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 30**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 8 \text{ E } -05t^2 - 0,1059t + 54,076$	0,921

Fuente: figura 25

Figura 8. **Curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 32**



Fuente: elaboración propia, tabla XXVIII

Tabla XVI. **Comportamiento de la curva de enfriamiento del aceite de palma de donde se obtuvo la oleína para la muestra No. 32**

Ecuación de la gráfica	Correlación
$T = 7 E -05t^2 - 0,1086t + 61,878$	0,968

Fuente: figura 26

DATOS CALCULADOS

- Resultados experimentales de cada una de las muestras de oleína pura analizadas después del proceso de Fraccionamiento.

Tabla XVII. **Índice de yodo de oleína de palma determinado por medio del índice de refracción en cada una de las muestras analizadas.**

Muestra	Temperatura (°C)	Índice de Refracción	Índice de Yodo	Promedio
1	60,010	1,452	58,557	58,820
	60,020	1,452	59,082	
2	60,020	1,452	57,858	57,945
	60,030	1,452	58,033	
3	60,020	1,452	58,208	58,295
	60,030	1,452	58,382	
4	60,010	1,452	59,606	59,781
	60,030	1,452	59,956	
5	60,000	1,452	56,809	57,333
	60,010	1,452	57,858	
6	60,000	1,452	57,595	57,377
	60,030	1,452	57,158	
7	60,020	1,452	57,333	56,896
	60,000	1,452	56,459	
8	60,000	1,452	58,033	58,120
	60,030	1,452	58,208	

Continuación Tabla VII.

9	60,010	1,451	55,934	55,891
	60,010	1,451	55,847	
10	59,980	1,452	64,153	64,677
	59,960	1,453	65,202	
11	60,010	1,452	60,481	60,568
	60,020	1,452	60,656	
12	59,940	1,452	58,907	59,781
	60,000	1,452	60,656	
13	60,060	1,452	56,983	56,371
	60,050	1,451	55,759	
14	60,080	1,452	58,557	58,208
	60,080	1,452	57,858	
15	60,090	1,452	57,333	56,896
	60,050	1,452	56,459	
16	60,040	1,452	58,033	58,120
	60,070	1,452	58,208	
17	59,980	1,452	60,131	60,044
	60,040	1,452	59,956	
18	59,980	1,452	59,432	59,519
	60,030	1,452	59,606	
19	60,000	1,452	59,781	59,781
	60,000	1,452	59,781	
20	60,050	1,452	59,432	59,519
	60,020	1,452	59,606	
21	60,080	1,451	53,836	55,497
	59,990	1,452	57,158	

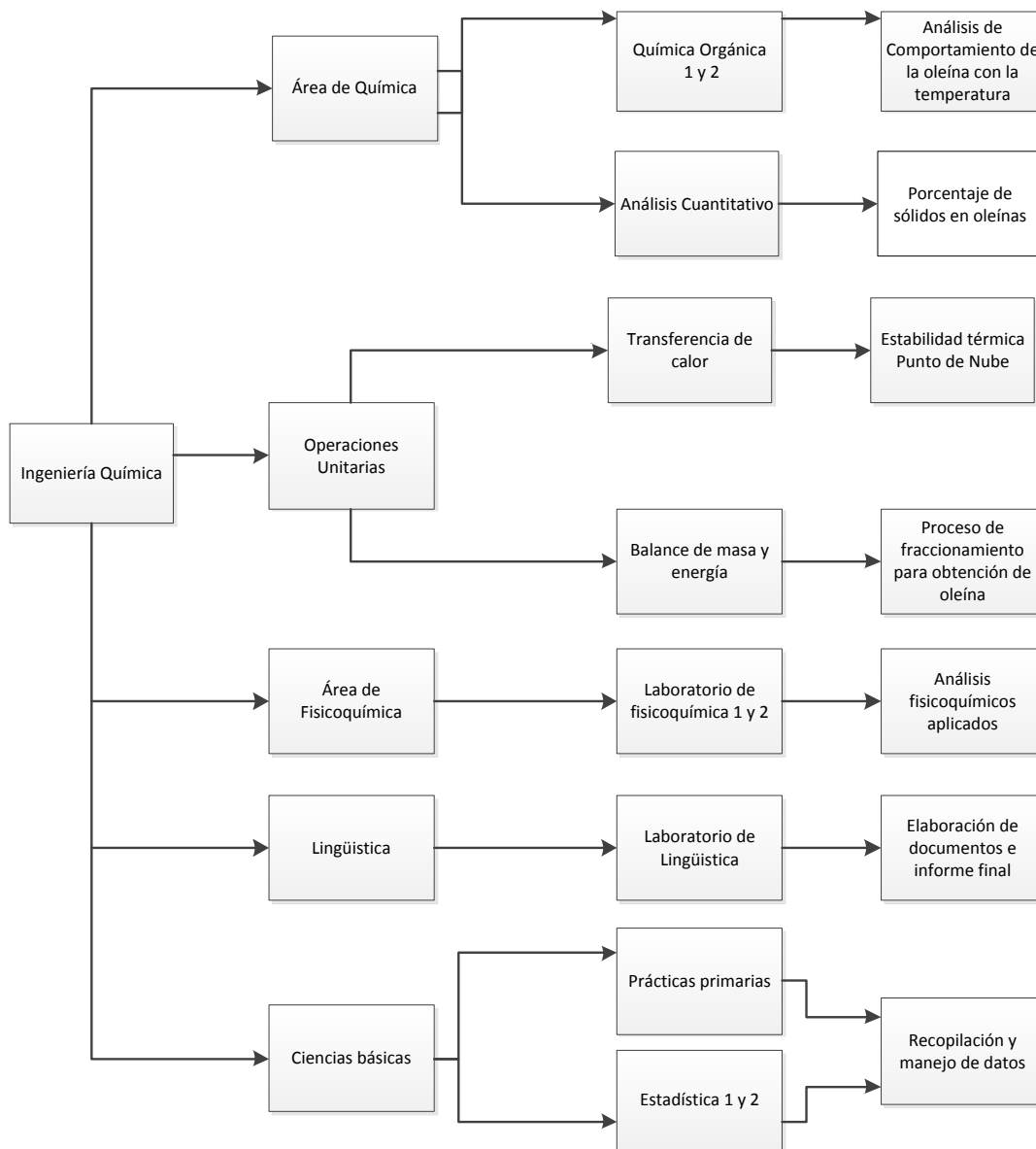
Continuación Tabla XVII.

22	60,010	1,452	58,208	58,557
	60,000	1,452	58,907	
23	59,950	1,452	57,333	56,983
	60,060	1,452	56,634	
24	60,010	1,452	58,208	58,382
	60,020	1,452	58,557	
25	60,040	1,452	58,732	58,732
	60,010	1,452	58,732	
26	60,020	1,452	58,907	58,557
	59,990	1,452	58,208	
27	60,060	1,452	59,956	59,344
	60,000	1,452	58,732	
28	60,010	1,452	58,382	58,382
	60,010	1,452	58,382	
29	59,980	1,452	59,606	59,432
	60,040	1,452	59,257	
30	59,990	1,452	57,683	58,295
	60,090	1,452	58,907	
31	59,990	1,452	59,257	59,344
	59,950	1,452	59,432	
32	59,980	1,452	60,830	60,481
	60,080	1,452	60,131	

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 2. TABLA DE REQUISITOS ACADÉMICOS

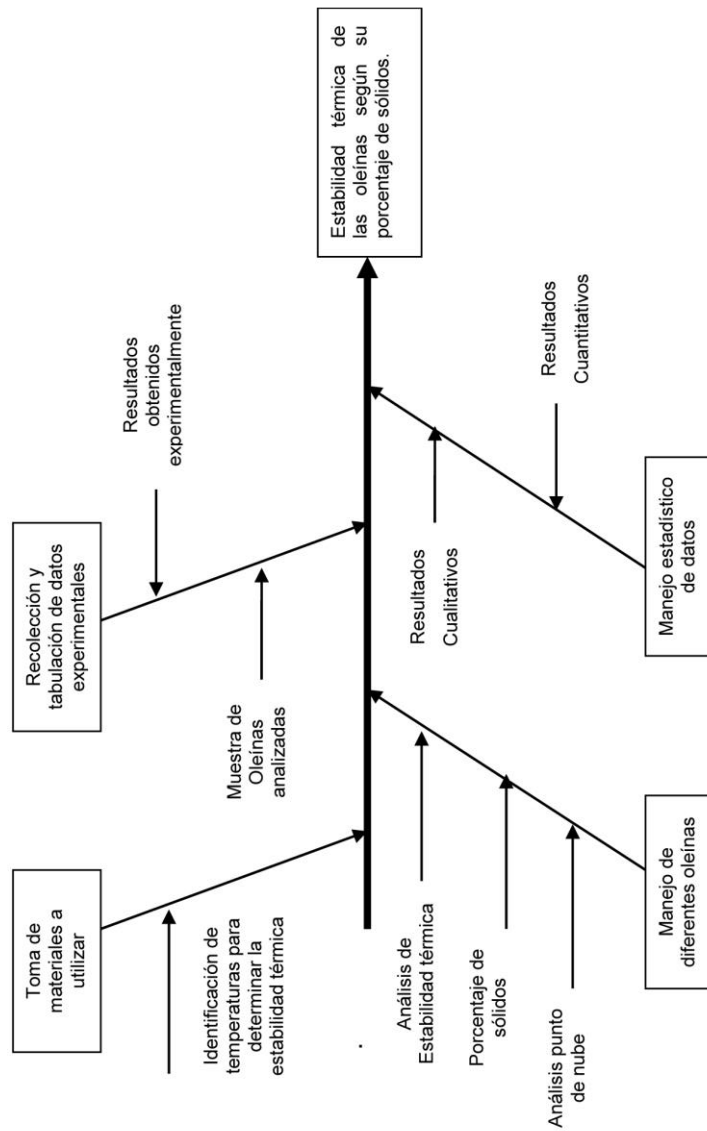
Figura 9. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia

APÉNDICE 2 . DIAGRAMA DE ISHIKAWA O ÁRBOL DE PROBLEMAS

Figura 10. Diagrama de Ishikawa y/o árbol de problema



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

- DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

- Etapa de Fraccionamiento

Para tener un análisis completo de la oleína a analizar y muestrear, se llevó a cabo un monitoreo de las condiciones y parámetros de cada equipo utilizado en la etapa de fraccionamiento del aceite de palma, desde el calentamiento del aceite de palma, hasta el enfriamiento y por último el proceso de filtración en el filtro rotatorio o ya sea en el filtro prensa. Se obtuvieron los resultados de análisis de laboratorio de la palma procedente a filtrar y por último de la oleína proveniente de la etapa de filtración.

- Etapa de Análisis a nivel Laboratorio

Para realizar el estudio del comportamiento de oleínas, se llevará a cabo el muestreo de oleína proveniente de diferentes batch, con las cuales se realizarán diferentes pruebas y análisis a nivel laboratorio, teniendo en cuenta los parámetros de los equipos utilizados durante el proceso de fraccionamiento.

Para los diferentes análisis y pruebas a realizar, se tomarán muestras con cantidades iguales de oleína para mantener un patrón y evitar que se encuentren variaciones. Los análisis a realizar son: Índice de Yodo, Punto de Nube, porcentaje de grasa sólida y estabilidad térmica. Las cantidades a utilizar de oleína para cada uno de los análisis a realizar son los siguientes:

Tabla I Cantidad de oleína tomada de las diferentes muestras, para cada uno de los análisis realizados.

Análisis realizado	Cantidad de muestra de Oleína (g)
Estabilidad Térmica	90
Punto de Nube	50
Índice de yodo	20

Fuente: elaboración propia.

A continuación se describirán e indicará el procedimiento utilizado para cada uno de los análisis realizados en el laboratorio a las muestras de oleínas.

- Determinación del Punto de Nube

El punto de nube es aquella temperatura a la cual, bajo diferentes condiciones, se induce en la muestra una nubosidad causada por las primeras etapas de cristalización.

- Equipo y materiales

- Muestra de aceite
- Termómetro (rango -2°C a 68°C) de apreciación 0.2°C
- Baño frío (0°C)
- Plancha de calentamiento
- Vaso de precipitado

- Procedimiento

1. El material utilizado debe de ser una muestra de grasa o aceite completamente seca.
2. Pesar de 60 a 65 g de muestra en un vaso de precipitado y colocar en una plancha de calentamiento a una temperatura de 130°C (si la muestra tiene trazos de humedad). Es esencial que la muestra sea calentada a 130°C para destruir cualquier núcleo cristalino.
3. Colocar 50 ml de la grasa o aceite calentada dentro del recipiente en donde se analizará la muestra.
4. Enfriar el recipiente y su contenido en el baño que debe encontrarse a 0°C, introducir el termómetro y proceder a agitar con el mismo suficientemente para mantener la temperatura uniforme. Cuando la muestra ha alcanzado la temperatura cerca de 10°C sobre el punto de nube esperado, comenzar a agitar rápidamente en forma continua y circular para prevenir sobre enfriamiento y solidificación de los cristales de grasa a los lados de la botella o en la parte superior de la misma. A partir de este punto en adelante, no retirar el termómetro de la muestra, ya que al hacerlo puede entrar burbujas de aire, las cuales interferirán con el ensayo. El contenedor de la muestra se debe de mantener en una posición que garantice el intercambio térmico en la totalidad de la muestra.

5. En forma regular saque el contenedor con la muestra del baño frío, inspeccionar y volver a sumergir repitiendo el procedimiento hasta alcanzar el punto de nube. El punto de nube es aquella temperatura a la cual la porción del termómetro inmersa en el aceite no sea visible cuando éste sea observado horizontalmente a través del contenedor y la muestra.
6. Tomar nota de la temperatura obtenida en el punto anterior.
7. Repetir el ensayo fijando la temperatura del baño en 5°C por debajo de la temperatura del punto de nube obtenido en la primera determinación.
 - Determinación de la Estabilidad Térmica
 - Equipo y Materiales
 - Muestras de oleína de palma (pura o mezcla con otro aceite)
 - Baño termostático
 - Tubos de vidrio
 - Termómetro
 - Tapones para tubos
 - Procedimiento
 1. Colocar en un tubo con tapón 45 ml de muestra de oleína de palma calentada.
 2. Enfriar la botella y su contenido en el baño controlado térmicamente a 8 °C.

3. Dejar la muestra sumergida en el baño controlado, verificando cada cierto tiempo si el tubo se encuentra nublado.
4. Esperar que el tubo de la muestra se encuentre nublado.
5. Al momento de verificar que el tubo que contiene la muestra se encuentra nublado, retirar la muestra del baño controlado térmicamente y anotar el tiempo que estuvo la muestra sumergida.

Nota: El tiempo que tarde el tubo que contiene la muestra en nublarse, es la estabilidad térmica de la oleína analizada.

- Determinación del Índice de Yodo

El índice de yodo es la relación de la velocidad de un rayo de luz, a la velocidad de un rayo de luz que atraviesa dicha sustancia. El índice de refracción es la constante de composición a una temperatura y longitud de onda determinada.

- Equipo y materiales

- Refractómetro
- Beaker 50 ml
- Recipiente de aluminio
- Termómetro

- Procedimiento

1. Calentar la muestra en un recipiente de aluminio en una plancha a 120 °C para eliminar cualquier rastro de humedad presente.

2. Dejar enfriar la muestra en un beacker de 50 ml hasta que se encuentre a temperatura ambiente.
3. Pesar 20 ml de oleína en un beacker.
4. Colocar la muestra de oleína en el refractómetro y esperar que la temperatura de la misma se encuentre a 60°C.
5. Tomar la cantidad de índice de refracción indicada por el refractómetro.
6. Utilizar la fórmula para convertir el índice de refracción a índice de yodo.
7. Anotar el índice de yodo y el número de muestra analizado.

La ecuación utilizada para la obtención del índice de yodo por medio del índice de refracción se obtuvo realizando una curva Índice de refracción vs índice de yodo, después de analizar el índice de yodo de diferentes muestras por medio del método convencional de titulación.

$$\text{Índice de yodo} = I (\text{Índice de refracción}) - 1.4450624 I * 8743.016516$$

- Determinación del Contenido de Grasa sólida presente

Para determinar el contenido de grasa sólida presente en las muestras de oleína o mezclas oleína/soya, se llevara a cabo Se el análisis por medio de resonancia magnética nuclear. Por medio del NMR (Resonancia Magnética Nuclear) se determina la proporción de triglicéridos sólidos aceite o grasas, a las temperaturas a las que fueron expuestas las muestras ó las mezclas.

- Equipo y Materiales

- 3 tubos de vidrio Pirexókimax10mm diámetro externo, 9.65 + 0.13 diámetro interno x 75mm de largo mínimo.
- Beacker de 100 ml

- Estufa o plancha
- Analizador NMR BRUKER NMS 120 minispec
- Baños controlados térmicamente (60°C, 5°C, 10°C, 15°C)
- Horno a 110 °C

- Procedimiento

1. Colocar 100 ml de la muestra de oleína o soya/oleína en un recipiente, y colocarlo en una plancha o estufa, calentar a 120 °C para eliminar cualquier rastro de humedad presente en la muestra.
2. Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente.
3. Colocar la cantidad de muestra en un horno a 110°C durante 15 minutos
4. Sacar la muestra del horno anterior y llenar los tubos a utilizar para colocarlos en un baño controlado térmicamente a 60°C durante 5 minutos.
5. Retirar los tubos con la muestra del baño de 60°C y trasladarlos a los baños en seco, para trasladarlos a un baño controlado térmicamente en seco que se encuentra a 0°C y dejar reposar por 1 hora.
6. Culminada la hora anterior, retirar los tubos con la muestra y colocarlos uno a uno en cada baño a las temperaturas de 5°C, 10 °C y 15°C respectivamente, dejarlos reposar en cada baño durante media hora.
7. Revisar si el equipo de resonancia magnética se encuentra debidamente calibrado, si no es así calibrarlo inmediatamente antes de colocar las muestras.
8. Retirar los tubos con muestra de los baños y uno a uno introducirlo en el equipo de resonancia magnética nuclear e ir anotando el porcentaje de grasa sólida en cada muestra a la temperatura del baño anterior al a que fueron expuesta

