



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

**MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO
DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq) POR MEDIO DEL
INCREMENTO EN EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA**

Andrea Barrientos Vásquez

Asesorado por el Ing. Rolando Alexander Gómez Girón

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO
DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq) POR MEDIO DEL
INCREMENTO EN EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANDREA BARRIENTOS VÁSQUEZ

ASESORADO POR EL ING. ROLANDO ALEXANDER GÓMEZ GIRÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO 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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
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:

MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq) POR MEDIO DEL INCREMENTO EN EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2012.

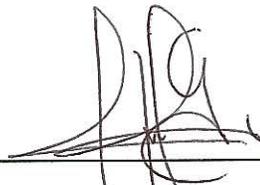

Andrea Barrientos Vásquez

Guatemala 10 de Marzo de 2014

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Por este medio me dirijo a usted para hacer de su conocimiento la aprobación del Informe Final de Trabajo de Graduación, "Mejora en la estabilidad de la acidez de un aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) por medio del incremento en el tiempo de esterilización de la fruta", de la estudiante Andrea Barrientos Vásquez con carnet 200819139.

Atte.



Ingeniero Químico Rolando Alexander Gómez Girón
Asesor

Alexander Gomez
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No. 1373



Guatemala, 17 de marzo de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.008.2014

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 038-2012 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: **Andrea Barrientos Vásquez**
Identificada con número de carné: **2008-19139**
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:

**MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA
(*Elaeis guineensis Jacq*) POR MEDIO DEL INCREMENTO EN EL TIEMPO DE
ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Rolando Alexander Gómez Girón**.

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".


Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.105.2014

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, **ANDREA BARRIENTOS VÁSQUEZ** titulado: **"MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS JACQ) POR MEDIO DEL INCREMENTO EN EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA"**.
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, junio 2014

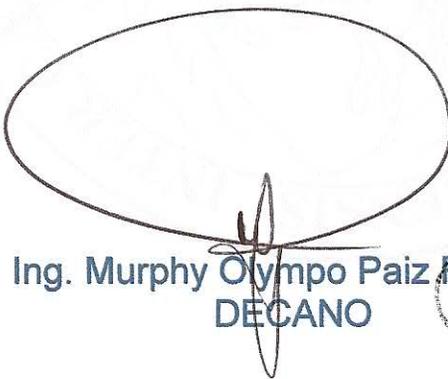
Cc: Archivo
VMMV/ale





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: **MEJORA EN LA ESTABILIDAD DE LA ACIDEZ DE UN ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA (Elaeis guineensis Jacq) POR MEDIO DEL INCREMENTO EN EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN DE LA FRUTA**, presentado por la estudiante universitaria **Andrea Barrientos Vásquez** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Reginos
DECANO



Guatemala, junio de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi luz, fuerza, esperanza en todo momento.
Mi padre	Hans Barrientos, por todo su amor, confianza, apoyo y por creer en mí.
Mi madre	Ana de Barrientos, por su amor, tiempo, enseñanzas y dedicación, y por creer en mí.
Mi esposo	Andrés Furlán, por todo su amor, paciencia, comprensión, apoyo, confianza incondicional y por creer siempre en mí.
Mis suegros	Orlando y Jazmín de Furlán, por todo su apoyo y amor.
Mis hermanos	Alejandro y Estuardo Barrientos, por estar en todo momento en mi vida.
Mis abuelos	Ramón Vásquez y Graciela de Vásquez, por ser mis segundos padres y por todo el amor que me dan.
Mis compadres	Milton y Leslie de Herrera, por todo su cariño y apoyo siempre.

Mis primos

Lynda Gutiérrez, Fressia Nájera, Juan Carlos Fernández, Luis Eduardo Fernández, Alfonso Gutiérrez, Ana Cristina Gutiérrez, Rodrigo Fernández y Gabriel Gutiérrez, por todos los buenos momentos que pasamos juntos, por su alegría y cariño.

Mis mejores amigos

Alejandra Wyss, Evelyn Vega, Edgar Monterroso, Esteban Arreaga, Navil Ventura, Luis Paredes, Eynard Menéndez, Mario Cuellar, Luis Ruiz, Gabriela Morán y Jorge Morataya, gracias por su amistad y por todos los buenos momentos juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por formarme como profesional durante estos 5 años.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todos los recursos necesarios y excelentes catedráticos para mi formación.
OLMECA S. A.	Por abrirme las puertas y brindarme todos los recursos y apoyo para realizar mi trabajo de investigación.
Mi asesor	Ing. Alexander Gómez, por todo el apoyo, enseñanzas y paciencia.
Mi revisora	Inga. Hilda Palma, por su paciencia, apoyo, cariño y por ser importante influencia en mi carrera.
Wagner Monterroso	Por todo su apoyo y enseñanza.
Mis catedráticos	Inga. Esther Roquel, Inga. Alejandra Córdova e Ing. Adrián Soberanis, por todas sus enseñanzas y amistad.

3.1.	Variables	13
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	13
3.3.	Ubicación	14
3.3.1.	Lugar de obtención de la materia prima	14
3.3.2.	Lugar de caracterización fisicoquímica	14
3.4.	Recursos humanos	14
3.5.	Recursos materiales.....	15
3.6.	Equipo y cristalería.....	15
3.7.	Técnica cuantitativa.....	16
3.8.	Procedimiento	16
3.8.1.	Preparación de la materia prima	16
3.8.2.	Proceso de la obtención de aceite crudo de palma africana.....	16
3.8.2.1.	Proceso de esterilización.....	17
3.8.2.2.	Proceso de desfrutamiento.....	17
3.8.2.3.	Proceso de maceración y prensado	17
3.8.2.4.	Proceso de clarificación (eliminación de impurezas).....	17
3.8.3.	Análisis fisicoquímicos.....	18
3.9.	Diseño experimental.....	19
3.10.	Análisis estadístico.....	19
3.10.1.	Prueba de Tukey	22
3.10.2.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana.....	23
3.10.3.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana.....	24

3.10.4.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana	25
3.10.5.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana.....	26
3.10.6.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana.....	27
3.10.7.	Análisis de varianza de un factor para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana	29
3.10.8.	Evaluación de la prueba Tukey para la humedad e impurezas en el aceite crudo de palma africana.....	30
3.11.	Muestra de cálculo de la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana	31
3.12.	Muestra de cálculo de la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana	32
3.13.	Muestra de cálculo de la pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana	33
3.14.	Muestra de cálculo de la variación de temperatura en el aceite crudo de palma africana.....	34
3.15.	Muestra de cálculo de la cantidad de hierro y fósforo en el aceite crudo de palma africana.....	34
4.	RESULTADOS	35
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43

CONCLUSIONES.....49
RECOMENDACIONES51
BIBLIOGRAFÍA.....53
APÉNDICES.....55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución de los ácidos grasos en el aceite rojo de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq).....	5
2.	Características de un aceite de palma de excelente calidad.....	6
3.	Cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana.....	36
4.	Cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana	37
5.	Variación de la temperatura en el aceite crudo de palma africana.....	38
6.	Cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana	39
7.	Cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana	40
8.	Cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana...	41

TABLAS

I.	Experimento de un factor	20
II.	Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones.....	21
III.	Experimento de un factor para la cantidad de acidez de aceite crudo de palma africana.....	23
IV.	Análisis de varianza para la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana.....	24
V.	Experimento de un factor para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana.....	24
VI.	Análisis de varianza para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana.....	25

VII.	Experimento de un factor para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana	25
VIII.	Análisis de varianza para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana	26
IX.	Experimento de un factor para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana	26
X.	Análisis de varianza para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana	27
XI.	Experimento de un factor para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana	28
XII.	Análisis de varianza para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana	28
XIII.	Experimento de un factor para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana	29
XIV.	Análisis de varianza para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana	30
XV.	Prueba de Tukey para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana	30
XVI.	Prueba de Tukey para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana	31
XVII.	Prueba de Tukey para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana	31
XVIII.	Cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana.....	35
XIX.	Cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana	36
XX.	Variación de temperatura en el aceite crudo de palma africana	37
XXI.	Cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana.....	38
XXII.	Cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana	39
XXIII.	Cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana ...	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
F	Factor de Fisher
°C	Grados centígrados
g	Gramos
km	Kilómetros
mL	Mililitros
min	Minutos
N	Normalidad
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
SSE	Suma de cuadrados para el error
SSA	Suma de cuadrados para tratamientos
SST	Suma de cuadrados totales
T	Temperatura
t	Tiempo

GLOSARIO

Aceite crudo	Se obtiene del mesocarpio de la fruta de la palma de aceite por proceso de extracción mecánica o por solventes.
Ácido esteárico	Es un ácido graso saturado de 18 átomos de carbono presente en aceites y grasas animales y vegetales.
Ácido linolénico	Es un ácido graso esencial omega-3 (el isómero α) u omega 6 (el isómero γ), formado por una cadena de 18 carbonos con 3 dobles enlaces en las posiciones 9, 12 y 15.
Ácido oleico	Es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9, típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, de aguacate, etc.
Ácido palmítico	Es un ácido graso saturado de cadena larga, formado por dieciséis átomos de carbono.
Antioxidante	Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.
Carotenos	Son un grupo muy importante de pigmentos orgánicos con función antioxidante. Estos componentes son los responsables de los colores

vivos en los alimentos como el color amarillo, anaranjado y rojo.

Espectrofotómetro Es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y a la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra.

Extracción Método empleado tanto comercialmente como en el laboratorio, para separar una sustancia de una mezcla o disolución.

Hidrólisis Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

Lipasas Es una enzima que se usa en el organismo para disgregar las grasas de los alimentos de manera que se puedan absorber. Su función principal es catalizar la hidrólisis de triacilglicerol a glicerol y ácidos grasos libres.

Mesocarpio Es la capa intermedia del pericarpio, esto es, la parte del fruto situada entre endocarpio y epicarpio.

Monoinsaturado	Son aquellos ácidos grasos de cadena carbonada que poseen una sola insaturación en su estructura, es decir, poseen un solo doble enlace carbono-carbono.
Palma africana	Es originaria de África occidental, de ella ya se obtenía aceite hace 5 milenios, especialmente en la Guinea Occidental; de allí pasa a América introducida después de los viajes de Colón; en épocas más recientes fue introducida a Asia desde América.
Pericarpio	Es la parte del fruto que recubre su semilla y consiste en el ovario fecundado.
Peróxido	Son sustancias que presentan un enlace oxígeno-oxígeno y que contienen el oxígeno en estado de oxidación -1 . Generalmente se comportan como sustancias oxidantes. Presentan mayor cantidad de oxígeno que un óxido normal y en su estructura manifiestan un enlace covalente sencillo apolar entre oxígeno y oxígeno.
Poliinsaturado	Son ácidos grasos que poseen más de un doble enlace entre sus carbonos.

Raquis

Se denomina así a las estructuras lineales que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga o de una hoja compuesta, sobre todo en las palmeras y los helechos, en los que es una prolongación a veces subleñosa del pecíolo.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación a nivel de trabajo de graduación, se realizó la evaluación de la estabilidad de la acidez del aceite crudo de palma africana (*Eleais guineensis* Jacq), incrementando el tiempo en el proceso de esterilización, así como también la variación de la humedad, temperatura, hierro, fósforo y pérdida de aceite respecto del incremento del tiempo.

El proceso de extracción del aceite crudo de palma africana se llevó a cabo en escala piloto, y se le determinó la pérdida de aceite, variando los tiempos de cocimiento en el proceso de esterilización; se comprobó que a mayor tiempo de cocimiento será menor la pérdida de aceite, ya que el proceso de esterilización ayuda al ablandamiento e inactivación de la enzima lipasa, por lo cual su extracción es más efectiva.

Seguidamente se evaluó el contenido de acidez en el aceite crudo y de la misma manera se determinó que la disminución de acidez se logra en el mayor tiempo de cocimiento en la etapa de esterilización. También se verificó la cantidad de hierro y fósforo, ya que estos son metales catalíticos que ayudan a la formación de ácidos grasos libres que incrementan el contenido de acidez; para estos se concluyó que a menor tiempo de cocimiento estarán en menor presencia.

Finalmente se determinó el contenido de humedad y temperatura en el aceite crudo. El proceso de extracción y obtención de materia prima se llevó a cabo en la finca Santa Rosa, ubicada en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla.

OBJETIVOS

General

Determinar el efecto del incremento de tiempo en la esterilización de la fruta, en la estabilidad del aceite crudo de palma africana respecto de su acidez.

Específicos

1. Comparar la acidez del aceite crudo de palma a tiempos de esterilización de la fruta a 50, 55, 60 y 65 minutos de cocimiento.
2. Determinar las diferencias del aceite crudo de palma africana a los diferentes tiempos de esterilización en cuanto a su acidez, y seleccionar la mejor opción.
3. Analizar las influencias del hierro y fósforo en la inestabilidad del aceite crudo de palma africana respecto de su acidez.
4. Determinar las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción, influidas por el cambio de tiempo de esterilización del aceite crudo de palma africana.

Hipótesis

El incremento del tiempo de esterilización de la fruta afecta de forma significativa la estabilidad de aceite crudo de palma africana.

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa entre la acidez del aceite crudo de palma africana a tiempos de esterilización de la fruta de 50, 55, 60 y 65 minutos de cocimiento.

Hipótesis alternativa:

Existe diferencia significativa entre la acidez del aceite crudo de palma africana a tiempos de esterilización de la fruta de 50, 55, 60 y 65 minutos de cocimiento.

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa de las propiedades fisicoquímicas de aceite crudo de palma africana a diferentes tiempos de esterilización en cuanto a su acidez, humedad e impurezas.

Hipótesis alternativa:

Existe diferencia significativa de las propiedades fisicoquímicas de aceite crudo de palma africana a diferentes tiempos de esterilización en cuanto a su acidez, humedad e impurezas.

Hipótesis nula:

El hierro y el fósforo no influyen en la inestabilidad del aceite crudo de palma africana respecto de su acidez.

Hipótesis alternativa:

El hierro y el fósforo influyen en la inestabilidad del aceite crudo de palma africana respecto de su acidez.

Hipótesis nula:

El incremento del tiempo de esterilización no reduce la pérdida de aceite durante el proceso de extracción.

Hipótesis alternativa:

El incremento del tiempo de esterilización reduce la pérdida de aceite durante el proceso de extracción.

INTRODUCCIÓN

El aceite crudo de la palma africana es de color rojo; este tendrá variaciones dependiendo de su oxidación, debido a los factores externos que comprometen su calidad como en las etapas de extracción, esterilización, almacenamiento y transporte. Es ahí cuando el aceite crudo es afectado por la elevación del nivel de oxidación alterando la rancidez del aceite, ya que las condiciones que le afectan no son controladas como la temperatura, humedad, metales catalíticos y especialmente el hierro.

Esto implica un costo extra a las refinerías debido a que se obtendrá más ácidos grasos libres, los cuales se venden a un precio menor que el del aceite y su demanda es menor; también influirá en su desodorización y clarificación, ya que llevará más tiempo de refinación, dando como resultado un producto con menos compuestos nutricionales y una vida útil más corta.

Como se sabe, Guatemala es un país productor de aceite de palma africana. Debido a que su demanda es alta, tanto en el país como en el extranjero, ya que del aceite se pueden extraer aceites refinados, margarinas y mantecas, las cuales se utilizan en la producción de alimentos, también se obtienen subproductos como la base para jabón que son comúnmente los ácidos grasos libres, los cuales son índices de pérdida en la industria de refinación de aceite.

Es por ello que se han realizado estudios donde el rendimiento del aceite de palma africana va a depender de qué tantos ácidos grasos libres se encuentren durante la refinación.

El estudio de los ácidos grasos libres se hace debido a que estos son generados a partir del contenido de acidez presente en la fruta, lo cual podría darse porque ya pasó el tiempo de corte de la fruta o bien existe mala conservación de la misma, afectando esto al producto en crudo que es extraído al final.

Esta investigación a nivel de trabajo de graduación es de gran importancia debido a que se desea comparar la acidez, humedad, temperatura y pérdida del aceite a cuatro diferentes tiempos, para que de esta manera se determine el mejor tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización, disminuyendo la cantidad de ácidos grasos libres, pues estos afectan tanto a la calidad del aceite como su costo.

1. ANTECEDENTES

Para que el aceite en crudo de palma africana pueda ser refinado se necesita que cumpla un parámetro de acidez, el cual aumenta durante su llegada a la refinería o bien cuando se vende y es enviado al extranjero. Una acidez alta implica gastos extras de operación y acorta la vida útil de dicho aceite; si el aceite se vende en el extranjero su valor dependerá del porcentaje de acidez que contenga.

Para ver las variaciones de acidez en el aceite crudo se llevó el control de rutas donde se midió la acidez en la carga de las cisternas en Petén; las rutas fueron por vía *ferry* y una ruta por la Línea Transversal del Norte hasta llegar a la planta de refinación que está en el km. 16,5 en carretera a El Salvador. Ahí también se midió la acidez en la descarga, la cual tuvo una variación del 0,05 %. Esta variación es aceptable e indica que las rutas no inciden en el incremento de acidez.

Al verificar que las rutas no inciden en el incremento de la acidez, se procedió a evaluar el incremento de la acidez respecto de su porcentaje en la carga de las cisternas, las cuales presentaron una acidez inicial del 3,1 % y la otra, de 4 %. En el momento de medir la acidez en la descarga, se verificó que el aumento de la acidez del 4 % fue el doble que la del 3,1 %; es ahí donde se encuentra el problema que a mayor acidez inicial mayor acidez final; esto implica una inestabilidad de acidez que provoca pérdidas a la empresa de refinería.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Palma africana

La palma aceitera es monoica, o sea, produce inflorescencias masculinas y femeninas en un mismo árbol. Sin embargo, la polinización es cruzada, ya que las flores de uno u otro sexo son producidas en tiempos diferentes en la misma planta. La producción de inflorescencias es continua a lo largo de todo el año, pero el sexo de sus flores es determinado por condiciones ambientales y por el estrés interno de la planta. Una vez que las flores son fecundadas, se inicia el desarrollo de racimo, en donde los frutos alcanzarán la madurez después de 5,5 a 6 meses.

2.1.1. Definición

La especie utilizada en las plantaciones es *Elaeis guineensis* Jacq, de origen africano. “Físicamente la palma africana está compuesta por un tallo erecto de 40 a 45 centímetros de grosor, que crece de 35 a 70 centímetros por año y una corona formada por 40 a 45 hojas compuestas, las cuales emergen continuamente de 25 a 35 por año. Cada hoja consta de numerosos foliolos, unidos al raquis, que a su vez está unido al tallo por el peciolo” (Escobar, 1996).

Por lo general cada racimo tiene de 600 a 1 500 frutos. Estos frutos tienen una forma esférica a ovoide, tienen un color pardo en la punta y anaranjado en la parte media hacia la base; la longitud que alcanzan es de dos a cinco centímetros, con un peso de tres a treinta gramos.

Entre la cáscara y la semilla está la pulpa o mesocarpio, que es de color anaranjado, cuyo contenido de aceite varía entre 50 y 70 %. La semilla o coquito también posee un porcentaje de aceite, al que se le conoce con el nombre de aceite de almendra.

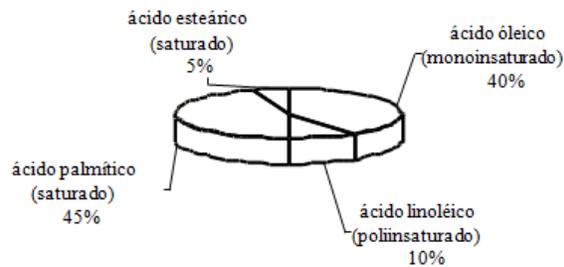
2.1.2. Características del aceite rojo de palma

“El aceite de palma tiene un contenido glicérido sólido alto, lo cual le da una consistencia semisólida deseada, sin necesidad de pasar por el proceso de hidrogenación. Dicho proceso es requerido para modificar la consistencia de cualquier otro tipo de grasa o aceite de origen vegetal para obtener la consistencia adecuada” (Quesada, 1998).

2.1.2.1. Propiedades químicas

El aceite de palma es rico en vitaminas E y A, betacarotenos y antioxidantes como los tocoferoles y tocotrienoles. “El aceite de palma contiene una relación 1:1 entre ácidos grasos saturados e insaturados, es decir que el 50 % son saturados; los demás son ácidos grasos insaturados. De los saturados, el 45 % corresponde al ácido palmítico y el 5 % al ácido esteárico, y de los no saturados, el 40 % corresponde al ácido oleico (monoinsaturado) y el 10 % al ácido linolénico poliinsaturado” (Bacigalupo, 1988).

Figura 1. **Distribución de los ácidos grasos en el aceite rojo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq)**



Fuente: BACIGALUPO, Antonio. *Palma aceitera*. p. 170.

2.1.2.2. **Propiedades del aceite rojo de palma**

Como cualquier otro tipo de grasa o aceite, el aceite rojo de palma se ve afectado por factores externos que comprometen su calidad. Así, su proceso tiene que estar ligado directamente a ciertos cuidados que hay que tener en todas las etapas de procesamiento del aceite, es decir, desde la cosecha, pasando por la extracción, el almacenamiento y transporte.

El principal factor que influye en la calidad del aceite rojo de palma es la elevación del nivel de oxidación, entendiéndose por oxidación la reacción que se da entre los enlaces dobles de las grasas insaturadas y el oxígeno del medio, en la cual se generan compuestos oxidados como aldehídos o cetonas y ácidos grasos libres de cadena corta, que conducen a la alteración de las características sensoriales del producto y la formación de la rancidez en el aceite.

Existen ciertas condiciones que aceleran esta reacción, como por ejemplo: temperaturas elevadas, alto porcentaje de humedad, presencia de

metales catalíticos, especialmente hierro y cobre en altas cantidades, exposición del lípido a la luz y al medio ambiente por períodos prolongados (Patterson, 1989).

Durante la etapa de almacenamiento y transporte hay que tomar precauciones para evitar el exceso de humedad en el aceite, ya que esto favorece la oxidación, compromete la vida útil del aceite y causa problemas para purificarlo y refinarlo (Peixoto, 1986); (Patterson, 1989).

Los aceites basan su calidad en una serie de características que deben mantener. El siguiente cuadro muestra algunas de ellas.

Figura 2. **Características de un aceite de palma de excelente calidad**

CARACTERÍSTICA DEL ACEITE PALMA	NIVELES ÓPTIMOS
Ácidos grasos libres	<5 %
Humedad	<0,5 %
Índice de peróxido	<5
Impurezas	<0,01 %
Hierro	<3,5 ppm
Cobre	<0,2 ppm

Fuente: QUESADA, Germán. *Cultivo e industria de la palma aceitera*. p. 67.

2.1.2.3. Uso de antioxidantes para mantener la calidad

Se conoce que el aceite crudo de palma contiene antioxidantes naturales (tocoferoles, vitamina E), pero estos no son suficientes para evitar la oxidación natural a la que se ve sometido el aceite.

Por lo que una alternativa para reducir este problema es la utilización de antioxidantes sintéticos como el butilhidroxi tolueno (BHT). Este compuesto

químico es un sólido cristalino blanco; su fórmula química es [2,6-di-ter -butil-p-cresol] y su fórmula reducida es $C_{15}H_{24}O$. Su punto de ebullición es 265 °C, posee un punto de fusión de 70° C y tiene una dosis letal 50 (DL50) en ratones vía oral de 1,04 g/Kg.

Es liposoluble, por lo que se usa como antioxidante en concentraciones menores a 0.02 % del peso del producto final. Además, es posible combinarlo con otras sustancias, ya que presenta sinergismo en su actividad (Badui, 1997).

2.2. Propiedades nutricionales

El aceite de palma es un alimento natural que se consume desde hace 5 000 años. Su proceso de refinación se inició aproximadamente hace 50 años, debido a que el público consumidor ha sido acostumbrado a ingerir aceites con muy bajo color y prácticamente inodoros.

2.2.1. Definición

Dicho proceso de refinación se realiza sin la necesidad de disolventes químicos, por lo que se disminuye el riesgo de contaminación por residuos; además, no se practica el proceso de hidrogenación, ya que el aceite de palma tiene una consistencia semisólida adecuada, con lo que se evita la formación de ácidos grasos trans, que tienen un efecto negativo en la salud. Sin embargo, durante la refinación se eliminan compuestos nutricionales como fuentes vitamínicas y energéticas que son de gran valor (Quesada. 1998); (Bacigalupo, 1988).

El aceite de palma sin refinar presenta un color rojo debido a la presencia de carotenoides, el contenido varía de acuerdo con el grado de madurez y del

genotipo. El promedio observado en cultivares comerciales es de 600 ppm, por lo que si este aceite no es decolorado ni neutralizado, puede constituir una excelente fuente de provitamina A, ya que el aceite de palma proporciona 4546 equivalentes de retinol por 100 g; lo que indica que alrededor de 20 g de aceite crudo de palma africana pueden cubrir los requerimientos diarios de un adulto.

Según estudios realizados con cobayos (ratones de laboratorio), tiene un efecto inhibitor en el desarrollo de cáncer de mama (Bacigalupo, 1988); (Quesada, 1998).

De todos los aceites de origen vegetal, el aceite rojo de palma africana sin refinar, contiene una gran cantidad de antioxidantes, conocidos como tocoferoles y tocotrienoles, los cuales se encuentran aproximadamente en una concentración de 500 a 800 ppm.

Del total de estos tocoferoles, un 35 % corresponde al α -tocoferol precursor de la vitamina E. Una ingesta adecuada de vitamina E protege a las estructuras de las membranas celulares y de los organelos, debido a sus propiedades antioxidantes, es decir que actúa como protector contra el envejecimiento celular. Además, la vitamina E confiere una gran estabilidad a los dobles enlaces de los aceites y contribuye a evitar la oxidación de los ácidos grasos esenciales, por lo que se disminuye el riesgo de enfermedades como arteriosclerosis y cáncer (Peixoto, 1986); (Quesada, 1998).

Como todos los aceites vegetales, el aceite rojo de palma sin refinar no contiene colesterol, pero tiene fitoesteroles, los cuales interfieren con la absorción intestinal del colesterol.

También tiene una alta concentración de ácidos grasos monoinsaturados, en forma de ácido oleico, los cuales ayudan a reducir el colesterol,

disminuyendo los riesgos de una alta disponibilidad de este para el organismo y atenuando el peligro de enfermedades coronarias.

Cabe mencionar también que el ácido graso palmítico, componente importante en el aceite de palma, a pesar de ser saturado, en comparación con otros ácidos grasos saturados, no es hipercolesterolémico (Quesada, 1998).

2.2.2. Uso del aceite

El aceite rojo de palma africana es adquirido tradicionalmente por las industrias refinadoras, las cuales lo utilizan como materia prima para elaborar la diversidad de productos.

Actualmente, el aceite de palma refinado, en su mayoría, se utiliza en todo el mundo como aceite para alimentación humana, para freír, cocinar, en panadería, pastelería, confitería, en la preparación de sopas, salsas, platos congelados o deshidratados, cremas no lácteas para mezclar con café, etc. También es materia prima que se utiliza en la elaboración de jabones y detergentes, grasas lubricantes y secadores metálicos, destinados a la producción de pintura, barnices y tintas. Finalmente se habla de la posibilidad de usarlo en forma de combustible como alternativa al diésel (Quesada, 1998).

Otras aplicaciones del aceite rojo de palma africana sin refinar, se dan en la elaboración de concentrados para la alimentación de ganado, ya que es un suplemento rico en grasa y vitaminas, por lo cual es usado como suplemento al pastoreo (Bermúdez, 1998).

Sin embargo, existen lugares donde el aceite de palma sin refinar se consume como alimento. Por ejemplo en África, en donde forma parte de los

hábitos alimenticios de las poblaciones indígenas, el aceite es extraído de forma rudimentaria, y consumido con los alimentos diarios como aderezo o en frituras. También en diversas zonas de Brasil se consume el aceite rojo de palma en forma natural, de forma muy similar a como se hace en el continente africano; esto es por poseer raíces étnicas en dicho continente (Peixoto, 1986).

2.2.3. Importancia económica del aceite de palma

Para los países tropicales, la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) representa una alternativa de excelente perspectiva para el futuro. Este cultivo produce 10 veces más del rendimiento de aceite proporcionado por la mayoría de los cultivos oleaginosos, por lo que es catalogado como un cultivo de alta rentabilidad.

Cabe recalcar que en la producción de aceite de palma se obtiene un valor agregado de un 83 % en productos refinados listos para ser comercializados (oleínas para frituras, bases para pastelería y panadería, margarinas, jabones detergentes, grasas lubricantes, etc.), además es una actividad que utiliza muy pocos insumos importados y tanto el manejo agrícola como la industrialización de los productos de la palma aceitera son técnicamente sencillos.

Lo anterior provoca que los costos de producción sean bastante bajos en comparación con los de otros aceites vegetales, por lo que el aceite de palma se está volviendo muy competitivo en el mercado internacional (Quesada, 1998).

2.3. Descripción del proceso de extracción de aceite de palma

El proceso de extracción de aceite de palma africana se puede dividir en varias etapas:

- Recepción de la fruta: la fruta es transportada a la planta en camiones o carretones. Luego, es descargada en tolvas de recepción que alimentan las góndolas que la transportarán a la siguiente etapa: la esterilización.
- Esterilización: el fruto contenido en las góndolas se introduce en los esterilizadores para su cocimiento con vapor vivo. La finalidad de la esterilización puede resumirse en los siguientes puntos:
 - Inactividad de las lipasas (enzimas lipolíticas) presentes en la fruta, las cuales dan origen a la formación de ácidos grasos libres.
 - Aflojamiento de las frutas en el racimo, con lo que se facilita la siguiente operación de desfrutación.
 - Ablandamiento de la pulpa de la fruta (pericarpio y mesocarpio) para una mejor malaxación posterior.
 - Acondicionamiento de antemano para las nueces (por calentamiento y deshidratación parcial) para facilitar la operación de quebrarlas posteriormente.

- Coagulación de las proteínas e hidrólisis (descomposición de los materiales mucilaginosos de la fruta de palma), con lo que se impide la formación de materias coloidales o emulsiones en el aceite crudo; así se facilita el proceso de clarificación del aceite.

- Desfrutamiento: las góndolas, con el fruto ya cocinado, son transportadas hacia una grúa monorraíl que lo descarga en una tolva, que a su vez alimenta el tambor desfrutador donde se separan los frutos de raquis.

- Maceración y prensado: los frutos son transportados a los digestores que hacen una maceración con estos, para posteriormente pasar a las prensas de doble tornillo que separarán el aceite y lodos de la parte sólida (fibra y nueces).

- Clarificación (eliminación de impurezas): la parte líquida proveniente del prensado contiene aceite, agua, fibras muy finas del fruto y arena proveniente del campo. Es en esta etapa, donde por medio de decantadores continuos y centrífugos se realiza la separación del aceite de las demás impurezas. Los desechos que quedan son los lodos (agua, fibras finas de fruto y arena) que constituyen el efluente de la planta extractora.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Son todos los parámetros que influyen directa e indirectamente en un fenómeno. A continuación se detallarán las variables independientes y dependientes que tuvieron influencia en el estudio:

- Independientes: la variable independiente será el tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización del fruto de la palma africana.
- Dependientes: las variables dependientes serán la acidez, humedad, temperatura y la pérdida de aceite en el cocimiento en el proceso de esterilización del fruto de la palma africana.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limitó a la etapa de esterilización del proceso de extracción de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) proveniente de la finca Santa Rosa, ubicada en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla. En esta finca se evaluará la temperatura y pérdida de aceite de palma africana a cuatro tiempos de cocimiento (50, 55, 60 y 65 minutos) con fruto maduro. Después de una semana se evaluarán los peróxidos y la humedad del aceite crudo de palma, que es donde se determinará la estabilidad de la acidez.

3.3. Ubicación

A continuación se detallarán los lugares donde se llevó a cabo la recolección de la materia prima y la caracterización fisicoquímica.

3.3.1. Lugar de obtención de la materia prima

La materia prima fue recolectada en la finca Santa Rosa, ubicada en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla y perteneciente a la región sur de Guatemala.

3.3.2. Lugar de caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad de la empresa OLMECA S. A., ubicada en el kilómetro 16,5, carretera a El Salvador.

3.4. Recursos humanos

Son todas las personas que participan directamente en la ejecución, elaboración, supervisión y revisión del estudio a nivel de trabajo de graduación.

- Desarrollo del proyecto: Andrea Barrientos Vásquez
- Asesor: Ing. Rolando Alexander Gómez Girón
- Revisora: Inga. Hilda Palma

3.5. Recursos materiales

Son aquellos recursos utilizados para llevar a cabo el estudio de la estabilidad de la acidez del aceite de palma africana. Cada unidad experimental requirió lo siguiente:

- Fruto de palma africana
- Ácido clorhídrico
- Ácido acético
- Cloroformo
- Agua destilada
- Almidón de papa
- Tiosulfato de sodio
- Ioduro de potasio

3.6. Equipo y cristalería

Son todos los equipos y cristalería necesarios para llevar a cabo el estudio de la estabilidad de la acidez del aceite de palma africana. A continuación se enlista cada uno de los equipos y cristalería utilizados:

- Esterilizador
- Earlenmeyers
- Balones aforados
- Pipetas
- Termómetros
- Tubos de ensayo
- Matraz volumétrico
- Plancha de calentamiento

- Balanza analítica
- Campana de extracción
- Bureta digital
- Espectrofotómetro

3.7. Técnica cuantitativa

La técnica cuantitativa describe parámetros medibles o cuantificables. La investigación a nivel de trabajo de graduación será de carácter cuantitativo y experimental.

3.8. Procedimiento

A continuación se detalla el procedimiento que se le dedicó a la materia prima para la obtención de aceite crudo de palma africana y la metodología de los análisis fisicoquímicos que se le realizaron al aceite crudo de palma africana.

3.8.1. Preparación de la materia prima

La preparación de la materia prima consiste en la selección del fruto maduro, lo cual ayudará a mejorar el proceso de esterilización del fruto de palma africana.

3.8.2. Proceso de la obtención de aceite crudo de palma africana

El proceso de la obtención del aceite crudo de palma se basa en las etapas que se describen a continuación.

3.8.2.1. Proceso de esterilización

El fruto se introduce en góndolas dentro los esterilizadores para su cocimiento con vapor vivo. La finalidad de la esterilización es la inactividad de las lipasas, el aflojamiento de las frutas en el racimo, el ablandamiento de la pulpa de la fruta, el acondicionamiento de antemano para las nueces y coagulación de las proteínas e hidrólisis.

3.8.2.2. Proceso de desfrutamiento

Las góndolas, con el fruto ya cocinado, son transportadas hacia una grúa monorriel que descarga la fruta en una tolva, que a su vez alimenta el tambor desfrutador donde se separan los frutos de raquis.

3.8.2.3. Proceso de maceración y prensado

Los frutos son transportados a los digestores que hacen una maceración con estos, para posteriormente pasar a las prensas de doble tornillo, que separarán el aceite y lodos de la parte sólida (fibra y nueces).

3.8.2.4. Proceso de clarificación (eliminación de impurezas)

La parte líquida proveniente del prensado contiene aceite, agua, fibras muy finas del fruto y arena proveniente del campo. Es en esta etapa donde por medio de decantadores continuos y centrífugos se realiza la separación del aceite de las demás impurezas. Como desechos quedan los lodos (agua, fibras finas de fruto y arena) que constituyen el efluente de la planta extractora.

3.8.3. Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos realizados a cada muestra de aceite crudo de palma fueron el de peróxido (acidez) y el de la humedad.

Este método determina todas las sustancias, en términos de mil equivalentes de peróxido por 1 000 gr de muestra, oxidan el yoduro de potasio bajo las condiciones de la prueba. Generalmente se asume que las sustancias son peróxidos u otras sustancias similares que oxidan la grasa. El procedimiento es como sigue:

- Pesar $5,00 \pm 0,05$ g de muestra en un *earlenmeyer* de 250 ml con un tapón de vidrio. Agregar 30 ml de solución de ácido acético-cloroformo 3:2. Agitar para disolver la muestra. Agregar 0,5 ml de solución saturada de yoduro de potasio (KI);
- Dejar que la solución repose, agitando ocasionalmente un minuto exacto, y luego, agregar 30 ml de agua destilada;
- Titular con tiosulfato de sodio 0,01 N, adicionándolo gradualmente y agitando constantemente. Continuar la titulación hasta que el color amarillo casi desaparezca. Agregar 0,5 ml de la solución de almidón y continuar la titulación con agitación. Cerca del punto final agregar el tiosulfato en gotas hasta que desaparezca el color azul.
- Hacer una determinación con un blanco diariamente. La titulación no debe exceder 0,1 ml de la solución de tiosulfato de sodio 0,01 N.

3.9. Diseño experimental

El diseño experimental es de un factor, obteniendo como variable respuesta el contenido de peróxidos, humedad, pérdida de aceite y aumento de temperatura. Se evaluarán cuatro tiempos de cocimiento en el proceso de esterilización, dando como resultado cuadruplicados experimentales. Para cada tratamiento se realizarán seis repeticiones para la determinación del porcentaje de acidez presente en el aceite crudo de palma africana.

3.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico se lleva a cabo para determinar si existe una relación significativa entre una variable o factor que influyen directamente en los resultados de un estudio; para ello se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA), el cual permite comparar parámetros que responden si hay o no relación entre la variable o factor comparado.

Dado que se quiere analizar el efecto de un factor sobre una variable respuesta, el experimento es de un factor. En este caso también es importante determinar si existe una interacción significativa entre el factor, el cual es el tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización.

Tabla I. Experimento de un factor

Factor	Repeticiones						Total	Media
Tiempo (min)	1	2	3	4	5	6		
50	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	$T_{1.}$	$X_{1.}$
55	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	Y_{26}	$T_{2.}$	$X_{2.}$
60	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	Y_{36}	$T_{3.}$	$X_{3.}$
65	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	Y_{45}	Y_{46}	$T_{4.}$	$X_{4.}$
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$	$T_{.3}$	$T_{.4}$	$T_{.5}$	$T_{.6}$	$T_{..}$	
Media	$X_{.1}$	$X_{.2}$	$X_{.3}$	$X_{.4}$	$X_{.5}$	$X_{.6}$		$X_{..}$

Fuente: elaboración propia.

Donde:

T_i . = suma de las repeticiones para el i-ésimo nivel del factor

$T_{.}$ = suma de todas las repeticiones

$X_{i.}$ = media de las repeticiones para el i-ésimo nivel del factor

$X_{.j}$ = media de las repeticiones para el j-ésimo nivel del factor

$X_{..}$ = media de todas las repeticiones

Factor = tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización

Tabla II. **Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Entre grupos tratamientos	k-1	SSA	SSA/(k-1)	MSA/MSE
Dentro error	kn-k	SSE	SSE/kn-k	
Total	kn-1	SST		

Fuente: RAYMOND, Walpole. *Probabilidad y estadística*. p. 488.

Fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n X^2_{ijk} - T^2 \dots / abn$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^a T^2_{i \dots}}{bn} - \frac{T^2 \dots}{abn}$$

$$SSE = SST - SSA$$

Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA), para evaluar el rechazo de cada una de las hipótesis estadísticas planteadas, se elaborará una distribución de Fisher con un nivel de confianza del 95 % para encontrar la F crítica y compararla con la F calculada siguiendo el siguiente criterio:

- Si la F calculada es mayor a la F crítica se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

- Si la F calculada es menor que la F crítica se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

3.10.1. Prueba de Tukey

La prueba de Tukey permite evaluar la significancia de todas las diferencias entre tratamientos. Los supuestos para utilizar esta son: varianzas homogéneas y las muestras extraídas al azar.

Hipótesis: $H_0 = \mu_i = \mu_j$ $H_a = \mu_i \neq \mu_j$

Amplitud límite significancia Tukey (ALS(t))

$$ALS(T) = AES (T) S_d$$

Donde: AES (T) es la amplitud estudiantizada significativa de Tukey, obtenida de la tabla de Tukey con α = nivel de significación y p = número de tratamientos y los grados de libertad del error experimental.

$$S_d = \sqrt{\frac{CME}{R}}$$

S_d es la desviación estándar de las diferencias de las medias muestrales de dos tratamientos para la prueba de Tukey cuando los tratamientos tienen el mismo número de repeticiones: CME cuadrado medio del error y R, número de respuesta.

Si los tratamientos no están igualmente repetidos, entonces la desviación estándar se calcula con la siguiente fórmula:

$$Sd = \sqrt{\frac{CME}{2} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right)}$$

Esta aproximación hace que la prueba sea ligeramente conservadora (disminuye la probabilidad de detectar diferencias significativas), ya que el nivel de significación real es menor al establecido en la prueba. La hipótesis nula rechaza con un nivel de significación α si: $|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > ALS(T)$.

3.10.2. Análisis de varianza de un factor para la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización sobre la cantidad de acidez, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla III. Experimento de un factor para la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana

Tiempo (min)	Repeticiones (acidez)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	3,43	3,45	3,30	3,44	3,08	3,34	20,03	3,34
55	3,23	3,10	3,40	3,43	3,19	3,27	19,62	3,27
60	3,17	3,35	3,28	3,39	3,10	3,26	19,54	3,26
65	3,07	3,33	3,35	3,21	3,14	3,22	19,31	3,22
Total	12,90	13,22	13,33	13,47	12,50	13,08	157,01	
Media	3,23	3,31	3,33	3,37	3,13	3,27		3,27

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Análisis de varianza para la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana**

ANOVA- 1, factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempos	0,045	4,000	0,011	0,722	0,588	2,895
Error	0,299	19,000	0,016			
Total	0,345	23,000				

Fuente: elaboración propia.

3.10.3. Análisis de varianza de un factor para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización sobre la cantidad de humedad obteniéndose los siguientes datos:

Tabla V. **Experimento de un factor para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Repeticiones (humedad)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	0,42	0,39	0,35	0,36	0,39	0,382	2,29	0,38
55	0,41	0,41	0,39	0,4	0,39	0,4	2,40	0,40
60	0,41	0,42	0,39	0,4	0,41	0,406	2,44	0,41
65	0,42	0,45	0,4	0,4	0,42	0,418	2,51	0,42
Total	1,66	1,67	1,53	1,56	1,61	1,61	19,27	
Media	0,42	0,42	0,38	0,39	0,40	0,40		0,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Análisis de varianza para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana**

ANOVA- 1, factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempo	0,0041	4,0000	0,0010	3,3869	0,0298	2,8951
Error	0,0057	19,0000	0,0003			
Total	0,0097	23,0000				

Fuente: elaboración propia.

3.10.4. Análisis de varianza de un factor para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana

A continuación se presentan los datos del análisis de varianza para evaluar el proceso efectuado, en relación con la cantidad de temperatura.

Tabla VII. **Experimento de un factor para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Repeticiones (temperatura)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	58	54	60	50	60	56,4	338,40	56,40
55	56	58	50	60	56	56	336,00	56,00
60	52	50	45	50	54	50,2	301,20	50,20
65	54	45	40	40	36	43	258,00	43,00
Total	220,00	207,00	195,00	200,00	206,00	205,60	2467,20	
Media	55,00	51,75	48,75	50,00	51,50	51,40		51,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis de varianza para la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana**

ANOVA- 1 Factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempo	708,96	4	177,24	9,15098	0,00027	2,8951
Error	368	19	19,37			
Total	1076,96	23				

Fuente: elaboración propia.

3.10.5. **Análisis de varianza de un factor para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización sobre la cantidad de hierro, obteniéndose las siguientes tablas:

Tabla IX. **Experimento de un factor para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Repeticiones (hierro)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	1,1	1,13	1,2	1,1	1,1	1,3	6,93	1,16
55	1,21	1,3	1,13	1,4	1,1	1,23	7,37	1,23
60	1,33	1,24	1,29	1,3	1,35	1,35	7,86	1,31
65	1,42	1,45	1,5	1,5	1,42	1,41	8,70	1,45
Total	5,06	5,12	5,12	5,30	4,97	5,29	61,72	
Media	1,27	1,28	1,28	1,33	1,24	1,32		1,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Análisis de varianza para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**

ANOVA- 1, factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempo	0,2878	4	0,07194	12,28780	0,00004	2,8951
Error	0,1112	19	0,00585			
Total	0,3990	23				

Fuente: elaboración propia.

3.10.6. Análisis de varianza de un factor para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización sobre la cantidad de fósforo, obteniéndose las siguientes tablas:

Tabla XI. Experimento de un factor para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana

Tiempo (min)	Repeticiones (fósforo)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	30	33	32	30	31	31,2	187,20	31,20
55	33	32	31	33	35	32,8	196,80	32,80
60	38	37	40	42	43	40	240,00	40,00
65	47	44	43	43	44	44,2	265,20	44,20
Total	148,00	146,00	146,00	148,00	153,00	148,20	1778,40	
Media	37,00	36,50	36,50	37,00	38,25	37,05		37,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Análisis de varianza para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana

ANOVA- 1, factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempos	672,66	4	168,165	60,9759	1,419E-10	2,8951
Error	52,4	19	2,7579			
Total	725,06	23				

Fuente: elaboración propia.

3.10.7. Análisis de varianza de un factor para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización sobre la cantidad de pérdida de aceite, obteniéndose las siguientes tablas:

Tabla XIII. Experimento de un factor para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana

Tiempo (min)	Repeticiones (pérdidas)						Total	Media
	1	2	3	4	5	6		
50	1,57	1,78	1,68	1,64	1,67	1,73	1,70	1,68
55	1,53	1,68	1,62	1,59	1,59	1,62	1,61	1,60
60	1,50	1,57	1,56	1,53	1,50	1,51	1,51	1,53
65	1,47	1,47	1,49	1,48	1,42	1,40	1,42	1,45
Total	6,07	6,50	6,34	6,24	6,18	6,26	43,82	
Media	1,52	1,62	1,59	1,56	1,54	1,56		1,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de varianza para la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana**

ANOVA- 1 Factor 6 repeticiones						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	F crítica
Entre tiempos	0,2145	4	0,05363	23,6351	7,30188E-08	2,795
Error	0,0522	23	0,00227			
Total	0,2667	27				

Fuente: elaboración propia.

3.10.8. Evaluación de la prueba Tukey para la humedad e impurezas en el aceite crudo de palma africana

Se realizaron las pruebas de Tukey para determinar qué medias son significativas respecto del tiempo de cocimiento en el proceso de esterilización, evaluando la humedad e impurezas obteniéndose las siguientes tablas:

Tabla XV. **Prueba de Tukey para la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo	50	55	60	65
50	0	2,55	3,4	5,1
55	2,55	0	0,85	2,55
60	3,4	0,85	0	1,7
65	5,1	2,55	1,7	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Prueba de Tukey para la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo	50	55	60	65
50	0	2,34	4,96	9,44
55	2,34	0	2,61	7,09
60	4,96	2,61	0	4,48
65	9,44	7,09	4,48	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Prueba de Tukey para la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo	50	55	60	65
50	0	2,35	12,97	19,17
55	2,35	0	10,61	16,81
60	12,97	10,61	0	6,19
65	19,17	16,81	6,19	0

Fuente: elaboración propia.

3.11. Muestra de cálculo de la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana

Para determinar la cantidad de acidez se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de peróxido (meq/1000g)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{g \text{ (peso muestra)}}$$

Donde:

B = titulación de blanco, ml

S = titulación de la muestra, ml

N = normalidad de solución de tiosulfato de sodio 0,01 N

Ejemplo: para el cálculo de la cantidad de acidez para una muestra de 5 gramos de aceite crudo de palma africana durante 50 minutos se obtuvo:

B = 0 ml

S = 1,715, ml

N = 0,01 N

$$\text{Valor de peróxido (meq/1 000g)} = \frac{(1,715-0) \times 0,01 \times 1\ 000}{(5)} = 3,43$$

Nota: de la misma forma se hicieron los cálculos de la acidez para cada uno de los tiempos de cocimiento en el proceso de esterilización, siempre usando 5 gramos de aceite crudo de palma africana.

3.12. Muestra de cálculo de la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana

Para determinar la cantidad de humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad} = (\text{Muestra}) - (\text{Muestra plato caliente})$$

Donde:

Muestra = 5 a 10 g de aceite crudo de palma africana

Muestra plato caliente = muestra del aceite luego de 5 minutos de calentarse

Ejemplo: al calcular la cantidad de humedad, para una muestra de 5 gramos de aceite crudo de palma africana durante 50 minutos se obtuvo:

$$\text{Humedad} = (\text{Muestra}) - (\text{Muestra plato caliente})$$

Donde:

Muestra = 5 g

Muestra plato caliente = 4,58 g

$$\text{Humedad} = (5) - (4,58) = 0,42$$

Nota: de la misma forma se hicieron los cálculos de la humedad para cada uno de los tiempos de cocimiento en el proceso de esterilización, siempre usando 5 gramos de aceite crudo de palma africana.

3.13. Muestra de cálculo de la pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana

Para determinar la pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana se realizó la suma de todas las etapas del proceso de extracción de aceite, donde se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida total} = A+B+C+D+E+F$$

Donde:

- A: pérdida en los condensados de esterilización
- B: pérdida en los raquis desfrutados
- C: pérdida en las fibras de prensas desfrutadoras
- D: pérdida en los lodos de la centrífuga
- E: pérdida en los frutos en raquis
- F: pérdida en el aceite en nueces

Ejemplo: para el cálculo de la pérdida de aceite en el proceso de aceite crudo de palma, a una temperatura de 50 minutos se obtuvo:

$$\text{Pérdida total} = 0,0487 + 0,4173 + 0,6210 + 0,4509 + 0,0319 + 0,458 = 1,57$$

Nota: de la misma forma se hicieron los cálculos de pérdida total de aceite para cada uno de los tiempos de cocimiento en el proceso de esterilización.

3.14. Muestra de cálculo de la variación de temperatura en el aceite crudo de palma africana

Para determinar la variación de temperatura se utilizó únicamente un termómetro.

3.15. Muestra de cálculo de la cantidad de hierro y fósforo en el aceite crudo de palma africana

Para determinar la variación de hierro y fósforo en el aceite crudo de palma africana se utilizó un espectrofotómetro.

4. RESULTADOS

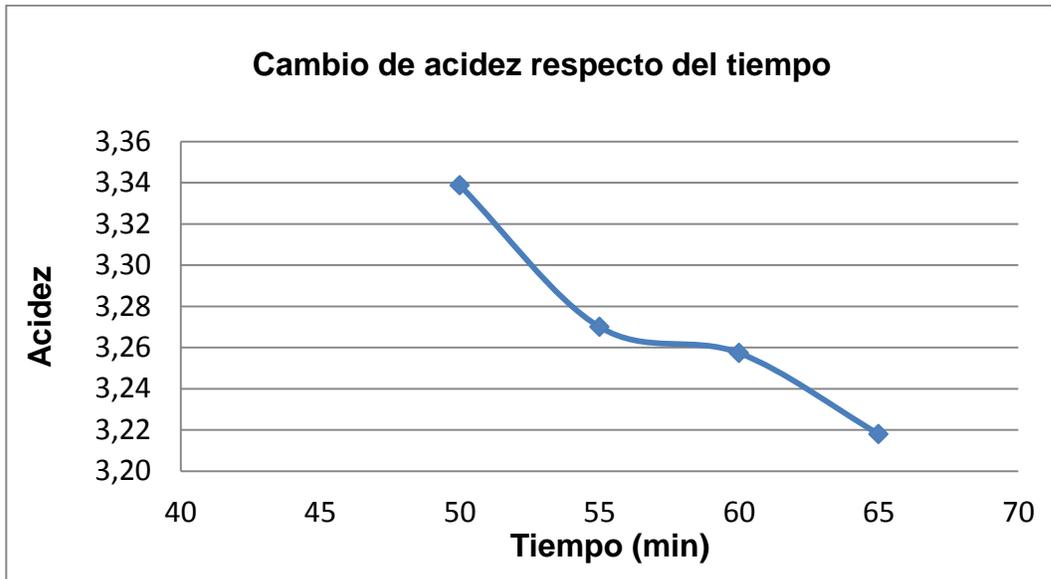
A continuación se presentan los resultados de la cantidad de acidez, humedad, hierro, fósforo, variación de temperatura y pérdida de aceite, en el proceso de obtención de aceite crudo de palma para cada tiempo de cocimiento en la etapa de esterilización.

Tabla XVIII. **Cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Cantidad de acidez						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	3,43	3,45	3,30	3,44	3,08	3,34	3,34
55	3,23	3,10	3,40	3,43	3,19	3,27	3,27
60	3,17	3,35	3,28	3,39	3,10	3,26	3,26
65	3,07	3,33	3,35	3,21	3,14	3,22	3,22

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana**



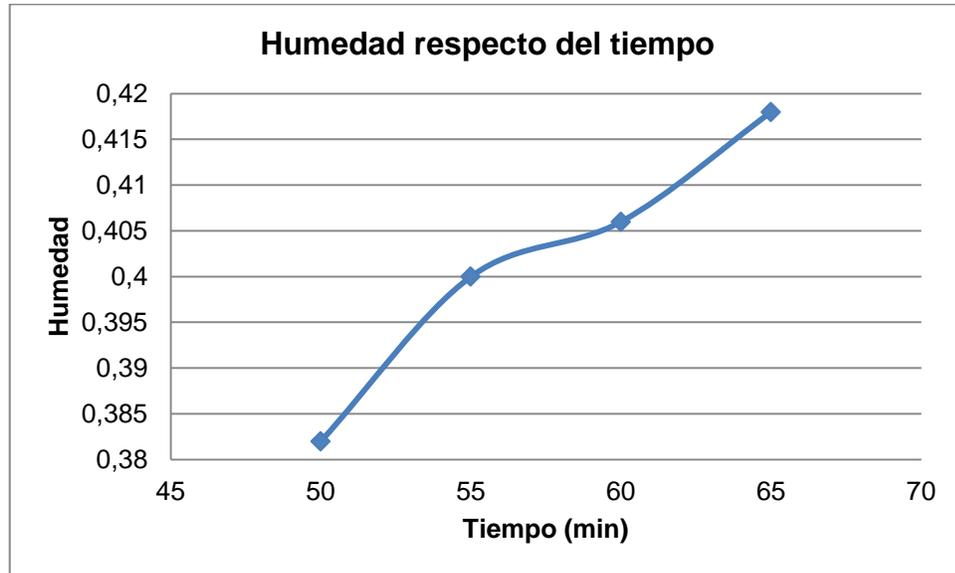
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla XVIII.

Tabla XIX. **Cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Cantidad de humedad						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	0,42	0,39	0,35	0,36	0,39	0,382	0,38
55	0,41	0,41	0,39	0,4	0,39	0,4	0,40
60	0,41	0,42	0,39	0,4	0,41	0,406	0,41
65	0,42	0,45	0,4	0,4	0,42	0,418	0,42

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana**



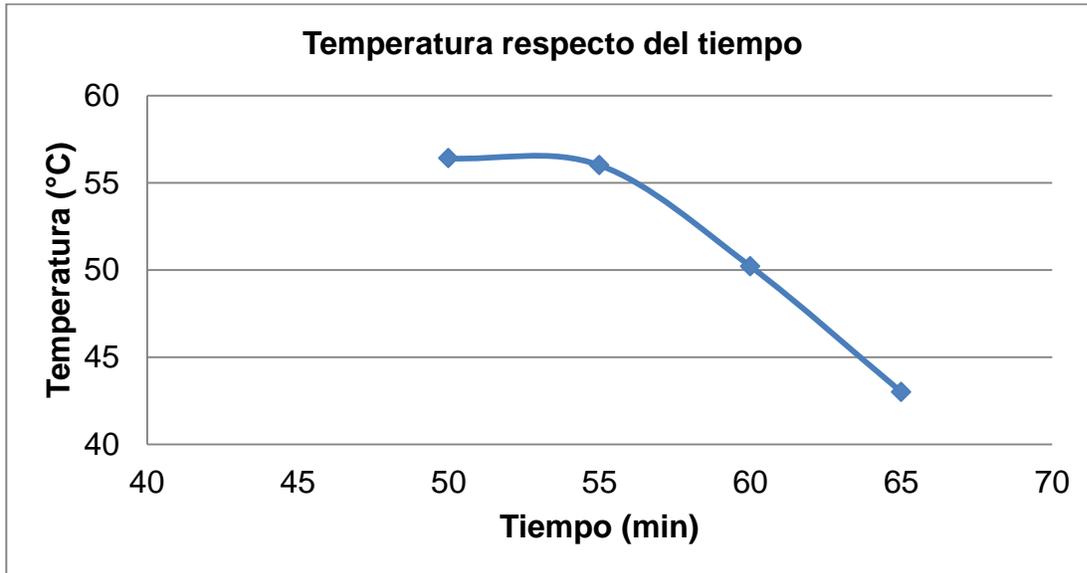
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla XIX.

Tabla XX. **Variación de temperatura en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Variaciones de temperatura (°C)						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	58	54	60	50	60	56,4	56,40
55	56	58	50	60	56	56	56,00
60	52	50	45	50	54	50,2	50,20
65	54	45	40	40	36	43	43,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Variación de la temperatura en el aceite crudo de palma africana**



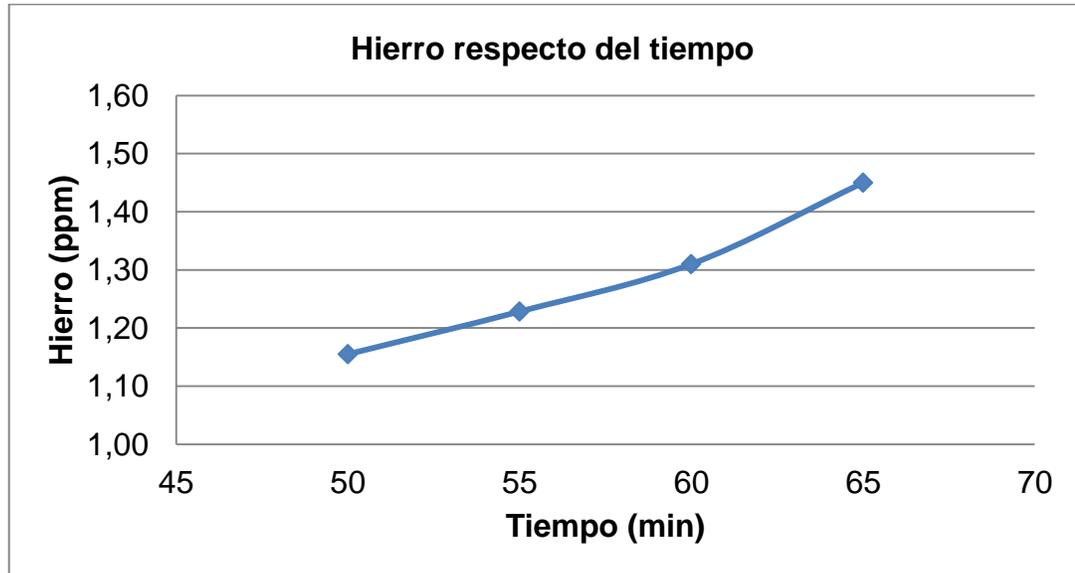
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla XX.

Tabla XXI. **Cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Cantidad de hierro (ppm)						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	1,1	1,13	1,2	1,1	1,1	1,3	1,16
55	1,21	1,3	1,13	1,4	1,1	1,23	1,23
60	1,33	1,24	1,29	1,3	1,35	1,35	1,31
65	1,42	1,45	1,5	1,5	1,42	1,41	1,45

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana**



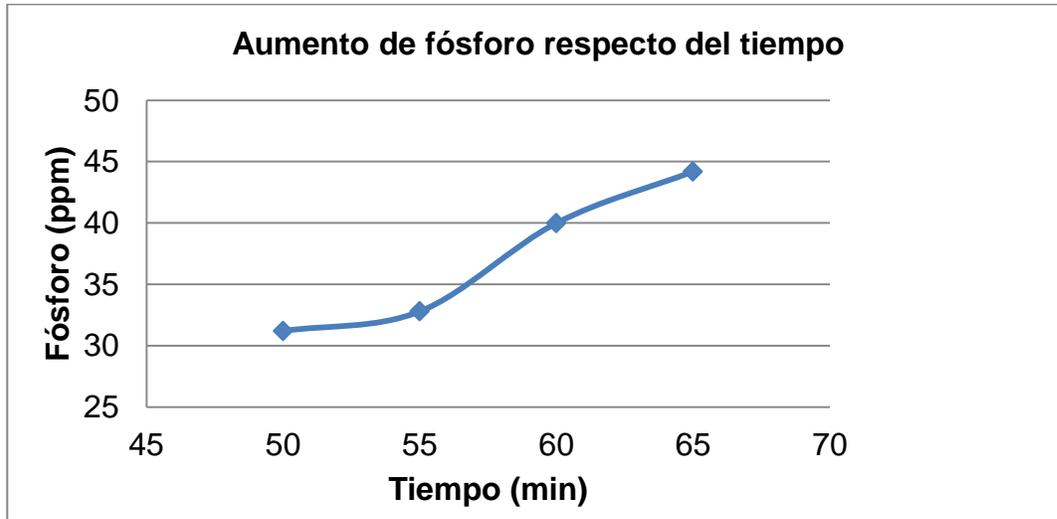
Fuente: elaboración propia, con base en datos de la tabla XXI.

Tabla XXII. **Cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Repeticiones (Fósforo)						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	30	33	32	30	31	31,2	31,20
55	33	32	31	33	35	32,8	32,80
60	38	37	40	42	43	40	40,00
65	47	44	43	43	44	44,2	44,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana**



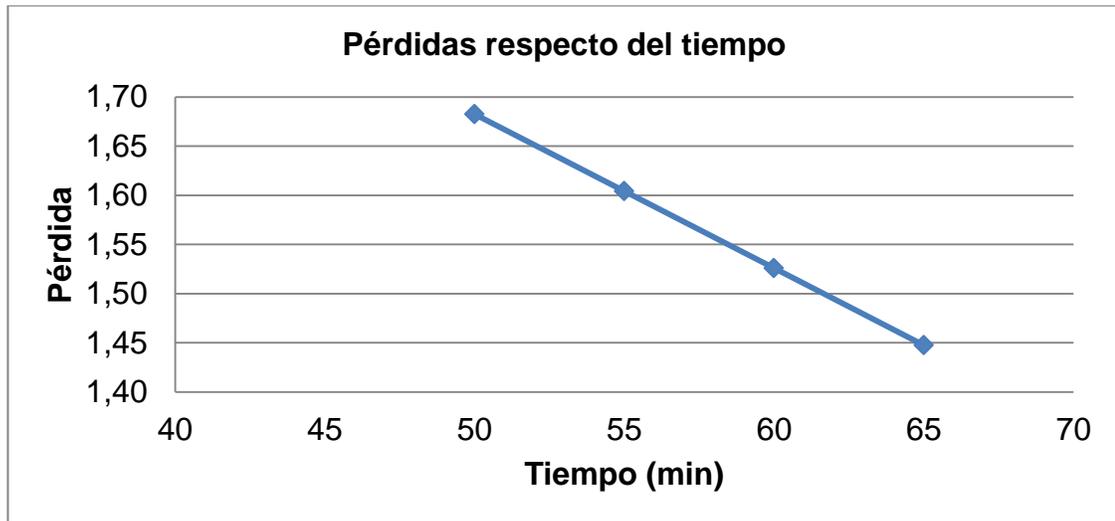
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla XXII.

Tabla XXIII. **Cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana**

Tiempo (min)	Cantidad de pérdida de aceite						Media
	1	2	3	4	5	6	
50	1,57	1,78	1,68	1,64	1,67	1,73	1,68
55	1,53	1,68	1,62	1,59	1,59	1,62	1,60
60	1,50	1,57	1,56	1,53	1,50	1,51	1,53
65	1,47	1,47	1,49	1,48	1,42	1,40	1,45

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana



Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla XXIII.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo a nivel de graduación consistió en evaluar la cantidad de acidez, humedad, hierro y fósforo en el aceite crudo de palma africana (*Elaeisis guineensis* Jacq), así como la variación de temperatura y la pérdida de aceite en el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana, para cada cuatro tiempos diferentes en la etapa de esterilización.

La materia prima fue recolectada en la finca Santa Rosa, ubicada en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla. En dicha finca se siembra palma africana y ahí mismo se realiza el proceso de extracción del aceite crudo, para lo cual se clasificó el fruto maduro.

El fruto de palma africana se recolecta en racimos grandes, los cuales son transportados en carretones y luego son colocados en góndolas para iniciar su proceso de extracción. El proceso inicia en el esterilizador donde se introduce la fruta de la palma africana para su cocimiento con vapor vivo.

En la etapa de esterilización se evaluaron cuatro tiempos de cocimiento que fueron 50, 55, 60 y 65 minutos; para cada tiempo se obtuvieron resultados diferentes de acidez, humedad, temperatura, hierro, fósforo y pérdida de aceite durante el proceso de extracción.

La cantidad de acidez determinada para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XVIII y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 3.

Como se puede observar, la cantidad de acidez en el aceite crudo de palma africana extraído fue disminuyendo a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor, lo cual es un comportamiento que se esperaba observar debido a que a medida que aumenta el tiempo de cocimiento, la enzima lipasa se inactiva y con ello se logra obtener la disminución del contenido de ácidos grasos libres, que son los que hacen que la acidez del aceite aumente.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de acidez y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas III y IV. De esto se puede concluir, por comparación de la F calculada y la F crítica con un nivel de confianza del 95 %, que no existe diferencia significativa de la cantidad de acidez en función del tiempo de cocimiento. Esto quiere decir que la cantidad de acidez depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

La cantidad de humedad determinada para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XIX y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 4. Como se puede observar, la cantidad de humedad en el aceite crudo de palma africana extraído, fue aumentando a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de humedad y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas V y VI. De esto se puede concluir, por la comparación de la F calculada y la F crítica con un nivel de confianza del 95 %, que existe diferencia significativa en la cantidad de humedad en función del tiempo de cocimiento.

Esto quiere decir que la cantidad de humedad no depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

La cantidad de temperatura determinada para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XX, y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 5. Como se puede observar, la cantidad de temperatura en el aceite crudo de palma africana extraído fue disminuyendo a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de temperatura y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas VII y VIII. De esto se puede concluir, por la comparación de la F calculada y la F crítica, que con un nivel de confianza del 95 %, no existe diferencia significativa en la cantidad de temperatura en función del tiempo de cocimiento. Esto quiere decir que la cantidad de temperatura no depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

La cantidad de hierro determinado para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XXI y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 6. Como se puede observar, la cantidad de hierro en el aceite crudo de palma africana extraído fue aumentando, a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de hierro y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas IX y X.

De esto se puede concluir, por comparación de la F calculada y la F crítica, con un nivel de confianza del 95 %, sí existe diferencia significativa en la cantidad de hierro en función del tiempo de cocimiento. Esto quiere decir que la cantidad de hierro depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

La cantidad de fósforo determinada para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XXII y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 7. Como puede observarse, la cantidad de fósforo en el aceite crudo de palma africana extraído fue aumentando a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de fósforo y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas XI y XII. De esto puede concluirse, por comparación de la F calculada y la F crítica, que con un nivel de confianza del 95 %, que sí existe diferencia significativa en la cantidad de fósforo en función del tiempo de cocimiento. Esto quiere decir que la cantidad de fósforo depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

La cantidad de pérdida de aceite determinado para cada tiempo de cocimiento se encuentra en la tabla XXIII y se puede visualizar mejor el comportamiento de esta variable en la figura 8. Como se puede observarse, la cantidad de pérdida de aceite en el aceite crudo de palma africana extraído, fue disminuyendo a medida que el tiempo de cocimiento se hacía mayor.

Finalmente, el análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la cantidad de pérdida de aceite y los tiempos de cocimiento de la esterilización se puede observar en las tablas XIII y XIV. De esto se puede concluir, por comparación de la F calculada y la F crítica, con un nivel de confianza del 95 %, que sí existe diferencia significativa en la cantidad de pérdida de aceite en función del tiempo de cocimiento. Esto quiere decir que la cantidad de pérdida de aceite depende del tiempo de extracción, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa entre la acidez del aceite crudo de palma africana a tiempos de esterilización de la fruta de 50, 55, 60 y 65 minutos de cocimiento, evaluando un nivel de confianza del 95 %.
2. Con un nivel de confianza del 95 %, sí existe diferencia significativa únicamente en los tiempos de 50 y 65 minutos respecto de la humedad; respecto del hierro no existe diferencia significativa en los tiempos de 60 y 55 minutos; y para el fósforo, se observa diferencia significativa para los cuatro tiempos de esterilización.
3. El hierro y el fósforo influyen en la inestabilidad del aceite crudo de palma africana respecto de su acidez.
4. El incremento del tiempo de esterilización reduce la pérdida de aceite durante el proceso de extracción.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una mejor selección del fruto de palma africana para su máxima extracción de aceite crudo.
2. Efectuar pruebas de extracción de aceite crudo de palma africana (*Elaeisis guineensis* Jacq) con tiempos de extracción mayores a 65 minutos en el tiempo de cocimiento en la etapa de esterilización, evaluando la acidez, humedad, hierro y fósforo del aceite.
3. Continuar con estudios de investigación del aceite crudo de palma africana (*Elaeisis guineensis* Jacq) en diferentes temáticas de investigación.
4. Impulsar un nuevo proyecto de investigación del aceite crudo de palma africana (*Elaeisis guineensis* Jacq) donde se evalúen análisis químicos, físicos, microbiológicos, nutricionales, de medio ambiente y económicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BACIGALUPO, Antonio. *Palma aceitera. Utilización del aceite de palma en la alimentación humana*. Ecuador: FAO. 1988. 170 p.
2. BADUI, Salvador. *Diccionario de tecnología de alimentos*. México: Alambra, 1988. 300 p.
3. BERMÚDEZ, Julio. *Hace tres generaciones cultivan bananos y palmas*. *Revista carta ganadera*. Bogotá, Colombia, 1998. 24 p.
4. ESCOBAR, Ricardo. *Palma aceitera, la esperanza del siglo XXI para el pacífico sur de Costa Rica*. Costa Rica: ASD, 1996. 73 p.
5. PATTERSON, Henry. *Handling and storage of oilseeds, oils, fats and meal*. Nueva York, U.S.A.: Elsevier, 1989. 394 p.
6. PEIXOTO, Heraldo. *Palma aceitera. Papel de aceite de palma en la solución de los problemas de bajo consumo calórico en América Latina. Su consumo y la salud humana*. Colombia: FAO. 1986. 213 p.
7. QUESADA, Germán. *Cultivo e industria de la palma aceitera (Elaeis guineensis)*. Costa Rica: Ed. Infoagro, 1998. 67 p.
8. WALPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 1992. 625 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Análisis de pérdida de aceite en el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana, a 50 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización**

No.	Condensados de ester	Raquis desfrut.	Fibras de prensas d.	Lodos de centrífugas	Frutos en raquis	Aceite en nueces	Total
1	0,049	0,417	0,62	0,45	0,032	0,046	1,57
2	0,035	0,369	0,69	0,67	0,030	0,032	1,78
3	0,064	0,359	0,73	0,53	0,030	0,026	1,68
4	0,051	0,358	0,66	0,55	0,033	0,041	1,64
5	0,050	0,377	0,65	0,58	0,031	0,032	1,67
6	0,049	0,407	0,70	0,56	0,029	0,032	1,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Análisis de pérdida de aceite en el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana, a 55 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización**

No.	Condensados de ester.	Raquis desfrut.	Fibras de prensas d.	Lodos de centrífugas	Frutos en raquis	Aceite en nueces	Total
1	0,048	0,414	0,596	0,450	0,032	0,042	1,53
2	0,035	0,378	0,639	0,597	0,030	0,035	1,68
3	0,056	0,383	0,669	0,504	0,030	0,030	1,62
4	0,051	0,373	0,622	0,517	0,033	0,042	1,59
5	0,050	0,373	0,614	0,535	0,031	0,035	1,59
6	0,049	0,384	0,648	0,523	0,029	0,036	1,62

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Análisis de pérdida de aceite en el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana, a 60 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización

No.	Condensados de ester.	Raquis desfrut.	Fibras de prensas d.	Lodos de centrifugas	Frutos en raquis	Aceite en nueces	Total
1	0,048	0,410	0,570	0,450	0,032	0,039	1,50
2	0,035	0,386	0,592	0,527	0,030	0,037	1,57
3	0,048	0,407	0,607	0,477	0,030	0,034	1,56
4	0,051	0,388	0,582	0,487	0,032	0,043	1,53
5	0,050	0,369	0,579	0,487	0,030	0,037	1,50
6	0,049	0,361	0,595	0,483	0,029	0,041	1,51

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Análisis de pérdida de aceite en el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana, a 65 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización

No.	Condensados de ester.	Raquis desfrut.	Fibras de prensas d.	Lodos de centrifugas	Frutos en raquis	Aceite en nueces	Total
1	0,047	0,406	0,545	0,450	0,032	0,035	1,47
2	0,035	0,394	0,545	0,457	0,031	0,039	1,47
3	0,041	0,430	0,545	0,449	0,030	0,039	1,49
4	0,050	0,403	0,542	0,457	0,029	0,044	1,48
5	0,051	0,364	0,544	0,438	0,030	0,040	1,42
6	0,049	0,338	0,542	0,444	0,030	0,045	1,40

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Análisis de acidez, humedad y temperatura del aceite en el proceso de extracción del aceite crudo de palma africana, a 50 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización

No.	Acidez			Promedio acidez	Humedad	Temperatura °C
	Superficie	Medio	Fondo			
1	3,39	3,42	3,47	3,43	0,42	58
2	3,42	3,45	3,48	3,45	0,39	54
3	3,26	3,30	3,34	3,30	0,35	60
4	3,39	3,46	3,47	3,44	0,36	50
5	3,02	3,09	3,12	3,08	0,39	60
6	3,30	3,34	3,38	3,34	0,38	56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Análisis de acidez, humedad y temperatura del aceite en el proceso de extracción del aceite crudo de palma africana, a 55 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización

No.	Acidez			Promedio acidez	Humedad	Temperatura °C
	Superficie	Medio	Fondo			
1	3,21	3,23	3,26	3,23	0,41	56
2	3,06	3,10	3,13	3,10	0,41	58
3	3,36	3,39	3,44	3,40	0,39	50
4	3,40	3,43	3,47	3,43	0,40	60
5	3,16	3,19	3,22	3,19	0,39	56
6	3,24	3,27	3,30	3,27	0,40	56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Análisis de acidez, humedad y temperatura del aceite en el proceso de extracción del aceite crudo de palma africana, a 60 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización**

No.	Acidez			Promedio acidez	Humedad	Temperatura °C
	Superficie	Medio	Fondo			
1	3,18	3,14	3,20	3,17	0,41	52
2	3,30	3,36	3,38	3,35	0,42	50
3	3,26	3,28	3,31	3,28	0,39	45
4	3,35	3,39	3,42	3,39	0,40	50
5	3,06	3,09	3,14	3,10	0,41	54
6	3,23	3,25	3,29	3,26	0,41	50

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Análisis de acidez, humedad y temperatura del aceite en el proceso de extracción del aceite crudo de palma africana, a 65 minutos de cocimiento en la etapa de esterilización**

No.	Acidez			Promedio acidez	Humedad	Temperatura °C
	Superficie	Medio	fondo			
1	3,04	3,07	3,09	3,07	0,42	54
2	3,29	3,33	3,36	3,33	0,45	45
3	3,33	3,35	3,38	3,35	0,40	40
4	3,19	3,18	3,25	3,21	0,40	40
5	3,17	3,10	3,14	3,14	0,42	36
6	3,20	3,21	3,24	3,22	0,42	43,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Costo del proyecto de investigación

Descripción	Costo unidad (Q.)	Cantidad utilizada	Costo total (Q.)
Materia prima			
Aceite crudo de palma	7 890,00	300 toneladas	2 367 000,00
Análisis			
Análisis de acidez	5,00	15 pruebas	75,00
Análisis de humedad	26,40	15 pruebas	396,00
Pruebas espectrofotometría	109,59	15 pruebas	1 643,80
Otros servicios			
Personal	107,00	15 días de trabajo	1 609,00
Buretas			102,70
Agua			10,71
Publicidad, encuadernación e impresión			
Levantado de texto	1 000,00	1	1 000,00
Encuadernación	30,00	3	90,00
Impresión	60,00	6	360,00
		Total	2 372 287,21

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Recolección de materia prima**



Fuente: finca Santa Rosa, municipio de Tiquisate, Escuintla.

Apéndice 11. **Proceso de esterilización**



Fuente: finca Santa Rosa, municipio de Tiquisate, Escuintla.

Apéndice 12. **Almacenamiento del aceite crudo de palma africana**



Fuente: finca Santa Rosa, municipio de Tiquisate, Escuintla.

Apéndice 13. **Pérdida de aceite**



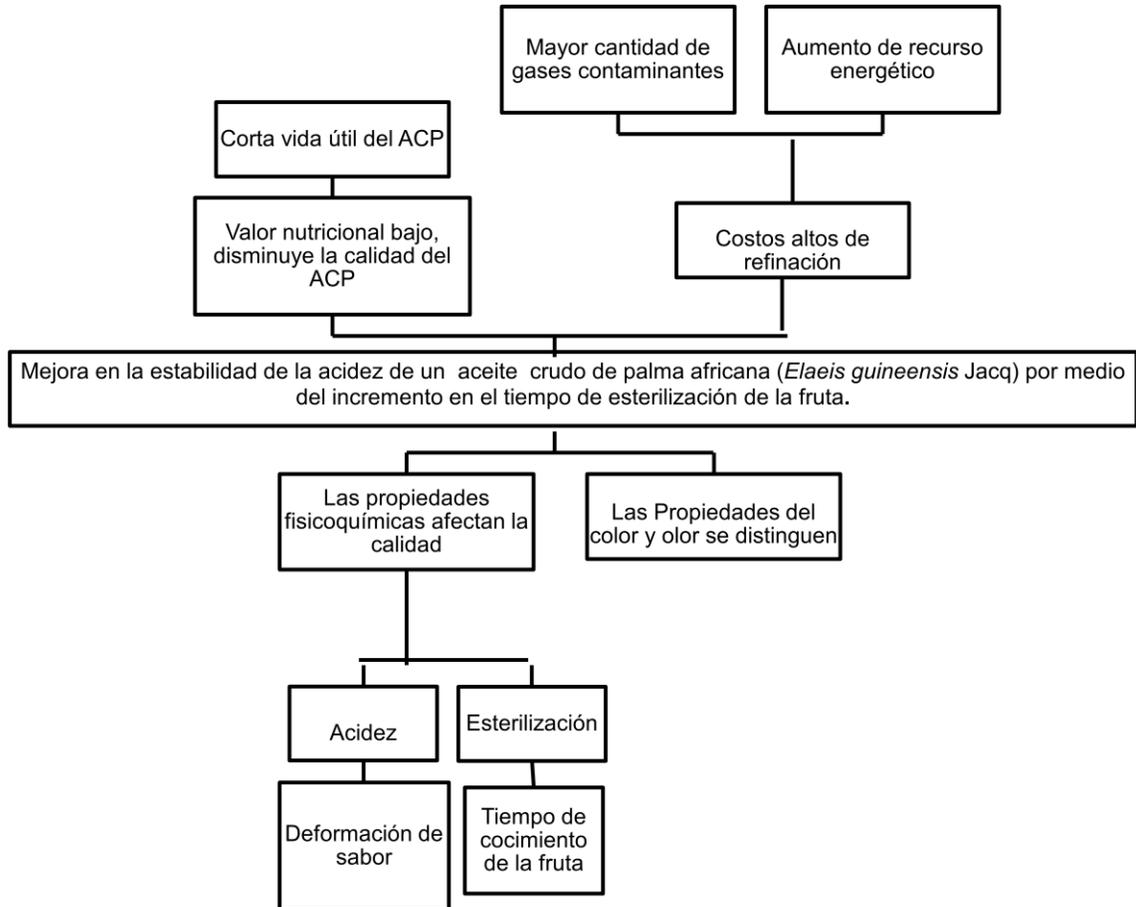
Fuente: finca Santa Rosa, municipio de Tiquisate, Escuintla.

Apéndice 14. **Diagrama de requisitos académicos**

Área	Cursos	Temas
Química	<ul style="list-style-type: none"> • Química 4 • Química Orgánica 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades coligativas de las soluciones • Técnicas de extracción
Fisicoquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Fisicoquímica 1 • Fisicoquímica 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Solubilidad • Espectrofotometría visible
Operaciones unitarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de calor • Transferencia de masa 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento • Enfriamiento
Ciencias básicas	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de varianza

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Diagrama del árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.