

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
DE ALIMENTOS**



**“CINÉTICA Y SIMULACIÓN DEL DETERIORO DEL ACEITE
CRUDO DE PALMA (*Elaeis guineensis*) EN LA PLANTA
EXTRACTORA INDUSTRIA DEL SHANUSI S.A.”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

FRED OSCAR SIVINCHA GUEVARA

Promoción 2013 - I

Tingo María – Perú

2014



T

IND

Sivincha Guevara, Fred Oscar

“Cinética y Simulación del Deterioro del Aceite Crudo de Palma (*Elaeis guineensis*) en la Planta Extractora Industria del Shanusi S.A”

51 páginas; 16 cuadros; 12 fgrs.; 41 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias, 2014

1. PALMA ACEITERA 2. GRASAS Y ACEITES 3. CINETICA

4. PEROXIDO 5. EVALUACION 6. TEMPERATURA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail: fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 04 de Junio de 2014, a horas 5:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **SIVINCHA GUEVARA, FRED OSCAR**, titulada:

“CINÉTICA Y SIMULACIÓN DEL DETERIORO DEL ACEITE CRUDO DE PALMA (*Elaeis guineensis*) EN LA PLANTA EXTRACTORA INDUSTRIA DEL SHANUSI S.A.”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto Actualizado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 04 de Junio de 2014

ing. Mg. Pedro A. Vejarano Jara
Presidente

ing. Williams Roldan Carbajal
Miembro.

ing. Jaime Basilio Atencio
Asesor

DEDICATORIA

A nuestro Dios eterno Jehová

Por otorgarnos la vida, sabiduría,
paciencia y amor.

A mis padres

Benjamín Sivincha Sacsi y Elsa Guevara
Bernilla, por su esfuerzo, comprensión,
motivación y su amor incondicional.

A mi hermano

Ruud Omar Sivincha Guevara,
por su cariño, comprensión,
motivación y apoyo incondicional,

AGRADECIMIENTO

- Primero a Dios, creador de la vida, por brindarme la fuerza e inteligencia para seguir adelante cada día.
- A mis padres Benjamín Sivincha Sacsí y Elsa Guevara Bernilla, que por su esfuerzo y sacrificio diario, supieron educarme en el bien, apoyarme, cuidarme y darme todo lo que estuvo a su alcance.
- A mi hermano Ruud Omar Sivincha Guevara, por su apoyo en los peores y mejores momentos, por ayudarme y sobre todo por brindarme su confianza. Gracias a mis abuelos Jacinto Guevara Romero y Santos Bernilla Rinza, motivando en los momentos difíciles para seguir adelante.
- A la empresa Industria del Shanusi S.A., al Ing. Andrés Dextre Solís, Jefe de Fabrica y Mantenimiento, por la oportunidad brindada en el desarrollo de esta investigación.
- A mi asesor, al Ing. Jaime Basilio Atencio, por su tiempo y dedicación del presente trabajo de investigación y sus orientaciones.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi alma mater, que me brindó la formación para mi desarrollo profesional, por intermedio de cada docente dispuesto a compartir sus sabios conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Generalidades de la palma aceitera.....	3
2.1.1. Palma aceitera	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.3. Fruto de palma aceitera	4
2.2. Característica del aceite de palma.....	5
2.2.1. Propiedades físicas.....	5
2.2.2. Propiedades químicas.....	6
2.3. Calidad del aceite de palma	7
2.4. Simulación	8
2.4.1. Modos de simulación	9
2.4.2. Tipos de simulación.....	11
2.5. Generalidades de las grasas y aceites.....	12
2.5.1. Definición	12
2.5.2. Componentes	12
2.5.3. Factores de deterioro.....	14
2.5.4. Deterioro del índice de blanqueabilidad.....	14
2.6. Pruebas de almacenamiento acelerado	15
2.7. Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de la calidad en los alimentos	16
2.7.1. Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro(K)	18

2.7.1. Determinación de los parámetros cinéticos	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.2. Materiales	22
3.2.1. Materia prima	22
3.2.2. Reactivos	22
3.2.3. Materiales de vidrio	23
3.2.4. Equipos	23
3.3. Métodos de análisis	23
3.4. Metodología experimental	24
3.4.1. Caracterización del aceite crudo de palma	24
3.4.2. Conducción de las pruebas aceleradas	24
3.4.3. Determinación del orden de reacción (n)	24
3.4.4. Determinación de la constante de velocidad de reacción (k)	25
3.4.5. Determinación de la energía de activación (E_a), usando el modelo de Arrhenius	25
3.4.6. Simulación de la oxidación del aceite crudo de palma	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Características físicoquímicas del aceite crudo de palma.	28
4.2. Evaluación del índice de peróxido durante el almacenamiento.	29
4.3. Determinación de la influencia de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la formación de peróxidos.	
4.4. Determinación de los parámetros de cinética para la formación de peróxidos.	32

	66
4.4.1. Determinación del orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k) para índice de peróxido (IP)	33
4.4.2. Determinación de la energía de activación con el método de Arrhenius, para el índice de peróxido (IP)	37
4.5. Simulación de la cinética de oxidación del aceite crudo de palma, en función de índice de peróxidos.....	41
4.5.1. Simulación de la constante de velocidad de reacción (K), de peróxido a diferentes temperaturas.....	41
4.5.2. Simulación de la formación de peróxidos en almacenamiento a diferentes temperaturas	43
4.6. Evaluación de Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo (DOBI) Espectrofotómetro 269nm - 446nm.	45
4.6.1. Determinación de los parámetros cinéticos de evaluación de DOBI	45
4.7. Evaluación del color (Lovibond).....	48
4.7.1. Determinación de los parámetros cinéticos de evaluación de color	48
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES.....	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXO	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Composición del aceite de palma.....	6
2. Características de un aceite de palma de excelente calidad.....	8
3. Valores promedio mensual de las características fisicoquímicas del aceite crudo de palma.	28
4. Variación del índice de peróxidos del CPO en almacenamiento a diferentes temperaturas.....	29
5. Efecto de la temperatura, en el índice de peróxido en almacenamiento del aceite crudo de palma	31
6. Constante de velocidad de reacción (K) de la formación de peróxido de aceite crudo de palma.	36
7. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido, acondicionadas para el ajuste al modelo de Arrhenius.....	37
8. Parámetro de Arrhenius para la formación de peróxidos en el aceite crudo de palma almacenada a diferentes temperaturas.....	40
9. Valores simulados de la constante de velocidad de reacción (K), de formación de peróxido a diferentes temperaturas.....	42
10. Simulación de la formación de peróxidos a posibles temperaturas reales de almacenamiento.....	44
11. Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo en almacenamiento a diferentes temperaturas, para el aceite crudo de palma.....	46

12. Constante de velocidad de reaccion (K) de la evaluación DOBI, del aceite crudo de palma.	47
13. Parámetro de cinética DOBI	48
14. El color del aceite crudo de palma en almacenamiento a diferentes temperaturas	49
15. Constante de velocidad de reacción (K) de la evaluación del color, de aceite crudo de alma	50
16. Parámetro de cinética de DOBI	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
1. Partes del fruto de palma.....	4
2. Modelo de simulación.....	9
3. Estructura del glicerol.....	14
4. Estructura del Ácido graso.....	13
5. Estructura del triglicérido.....	14
6. Diseño experimental para evaluar la pérdida de calidad del aceite crudo de palma.....	27
7. Variación del índice de peróxido del CPO en almacenamiento a diferentes temperaturas.....	30
8. Variación del índice de peróxido en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reacción cero).....	33
9. Variación del Ln (índice de peróxido) en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reacción 1).....	34
10. Variación de 1/ índice de peróxido, en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reaccion 2).....	35
11. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido de orden cero con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius..	38
12. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido de primer orden con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius.....	39

13. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido de segundo orden con la temperatura, ajustada a Arrhenius	39
14. Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo en almacenamiento a diferentes temperaturas, para el aceite crudo de palma.....	45
15. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de Índice de deterioro de la Capacidad de Blanqueo, ajustada a la ecuación de Arrhenius	47
16. El color del aceite crudo de palma en almacenamiento a diferentes temperaturas	48
17. Constante de velocidad de reacción (K) de formación del color, ajustada a la ecuación de Arrhenius.....	50

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en la determinación de la cinética y simulación deterioro del aceite crudo de palma, la investigación se realizó en Laboratorio de Análisis y control de calidad de la planta extractora de Industria del Shanusi S.A. Consistió en evaluar la cinética del deterioro del aceite crudo de palma por pruebas aceleradas a 30, 50 y 70°C, determinar los parámetros de cinética (Orden de reacción, Constante de velocidad de reacción y Energía de activación) de formación de índice de peróxidos, DOBI y color, y simular la cinética de oxidación a temperaturas reales de almacenamiento. Se encontró que existe una influencia altamente significativa de la temperatura en la formación de peróxidos ($P_{valor} = 0,00$). La cinética de oxidación para la formación de peróxidos es de primer orden con $R^2=0,9673$, velocidad de reacción $K_0=0,0796$, la energía de activación $E_a=1,5782$ Kcal/mol; para el DOBI de segundo orden $R^2=0,9400$, $K_0=9,6724$, $E_a=6,7066$ Kcal/mol y para el color de segundo orden $R^2=0,9583$, $K_0=0,0254$, $E_a=3,8928$ Kcal/mol. Se simuló la formación de peróxidos a temperaturas de 10°C a 80°C con intervalos de 5°C, obteniéndose por ejemplo para 30°C la constante de velocidad de reacción $K_{30°C}=0.005788609$ meqO₂/hora, y el tiempo para llegar al índice de peróxido máximo permitido (15 meqO₂/kg) es de aproximadamente 360 horas.

Palabras Claves: Cinética, simulación, aceite crudo de palma, oxidación de lípidos, vida útil.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the kinetics and simulation deterioration of crude palm oil, the research was conducted in laboratory analysis and quality control of the extraction plant Shanusi Industry SA. It Was to evaluate the kinetics of decline of crude palm oil accelerated testing at 30, 50 and 70 °C, determine the kinetic parameters (order reaction rate constant of reaction and activation energy) of formation of peroxide , DOBI and color, and the oxidation kinetics simulate real storage temperatures. It was found that there was a highly significant influence of temperature on the formation of peroxides ($P_{valor} = 0,00$). The kinetics of oxidation to form peroxides is first order with $R^2 = 0,9673$, reaction rate $K_0 = 0,0796$, the activation energy $E_a = 1,5782$ Kcal/mol; DOBI for second order $R^2 = 0,9400$, $K_0 = 9.6724$, $E_a = 6,7066$ kcal/mol and color the second order $R^2=0,9583$, $K_0 = 0,0254$, $E_a = 3,8928$ kcal/mol. Peroxide formation at temperatures of 10 °C was simulated at 80 °C at intervals of 5 °C, obtaining for example to 30 °C the reaction rate constant $K_{30} = 0,005788609$ meqO₂/hora, and the time to reach the maximum allowable rate of peroxide (15 meqO₂/kg) is approximately 360 hours.

Key Words: Kinetics, simulation, crude palm oil, lipid oxidation, useful life.

I. INTRODUCCIÓN

El aceite crudo de palma (CPO), obtenido del mesocarpio del fruto de la palma de aceite, finalizado su proceso de clarificación, se almacena en grandes tanques de acero inoxidable, el cual determina su calidad; naturalmente estos aceites contienen tocoferoles, gomas y otros antioxidantes naturales y el grado de acidez libre que presentan, los hace poco comestibles, por lo que es necesario refinarlos y no se tiene conocimiento de la pérdida de la calidad del CPO durante el tiempo de almacenamiento que transcurre desde la producción del aceite hasta su refinación.

La cinética de oxidación de los aceites depende de la temperatura a la que están almacenadas; considerando que el CPO es comercializado en diferentes partes del país, con diversidad de climas, hace necesario conocer la cinética de oxidación del CPO a temperaturas de almacenamiento que permitirían a la empresa INDUSTRIAS DEL SHANUSI S.A. organizar mejor su sistema de calidad.

En el presente trabajo de investigación, se han utilizado pruebas aceleradas que permiten simular las temperaturas a las que el CPO estaría almacenado y con ello las reacciones de deterioro podrían ser evaluadas en menor tiempo, con los que se podría predecir la calidad del CPO.

Por lo indicado anteriormente en la presente investigación se plantea los siguientes objetivos:

- Evaluar el índice de peróxido, índice de deterioro de la capacidad de blanqueo (DOBI) y color, del aceite crudo de palma almacenado a 30, 50 y 70 °C utilizando pruebas aceleradas.
- Determinar los parámetros de cinética de oxidación del aceite crudo de palma como son: orden de reacción, constante de velocidad de oxidación y energía de activación.
- Simular la oxidación del aceite crudo de palma a temperaturas reales de almacenamiento de 10 a 80 °C.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la palma aceitera

2.1.1. Palma aceitera

La palma africana de aceite es la especie oleaginosa vegetal que produce mayor cantidad de aceite, se conoce con el nombre de *Elaeis guineensis*. Nombre dado por Jacquin en 1793 con base en la palabra griega "elaoin", que significa aceite y "guineensis", hace honor a la región de Guinea de donde se considera originaria (BARRERO, 2006).

La palma inicia la producción de racimos entre el segundo y el tercer año de estar sembrada en campo y alcanza su madurez hacia el año octavo, que es cuando expresa todo su potencial productivo.

2.1.2. Clasificación taxonómica

La palma aceitera obedece a la siguiente clasificación taxonómica dado por el científico Hutchinson, de la siguiente manera: (QUESADA, 2000).

División : Fanerógamas.
Tipo : Angiosperma.
Clase : Monocotiledóneas.
Orden : Palmales

Familia : Palmaceae
 Tribu : Cocoinea
 Género : Elaeis
 Espécie : *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleífera*.

2.1.3. Fruto de la palma aceitera

El fruto es una drupa de forma casi esférica, ovoide o alargada, de 2 a 5 cm de largo y de 3 a 30 g de peso (VELÁZQUEZ y GÓMEZ, 2010).

El fruto de palma está constituido por 4 secciones. Ver Figura 1.

La almendra o palmiste, contiene del 5 al 7 % de agua y del 48 al 52 % de aceite, el cual está constituido de afuera hacia adentro de la siguiente manera:

Exocarpio: Es la capa epidérmica delgada y cerosa (cáscara).

Mesocarpio: Es la pulpa de donde se obtiene el aceite.

Endocarpio: Es la que junto con la almendra forma la semilla.

Endospermo: Conocida mayormente como almendra o palmiste.



Figura 1. Partes del fruto de palma

2.2. Características del aceite de palma

2.2.1. Propiedades físicas

Según AYAR *et al.*, (2001), entre las propiedades físicas más relevantes del aceite de palma se tiene:

- Solubilidad:

Las grasas y aceites se caracterizan principalmente por su virtual inmiscibilidad en agua, sin embargo son miscibles en muchos solventes orgánicos no polares, la solubilidad depende de las propiedades termodinámicas del soluto y disolvente, y las fuerzas relativas de atracción entre las moléculas.

- Tensión superficial e interfacial:

En este aspecto las grasas, aceites y ácidos grasos están separados. Los aceites comerciales tienden a tener más baja tensión superficial e interfacial debido a la presencia de componentes polares de superficie activa, tales como monoglicéridos, fosfolípidos.

- Densidad:

Los valores de densidad para aceites están generalmente, en el rango comprendido entre 0,92 a 0,964 g/L. La densidad se incrementa aproximadamente en forma lineal con el incremento de la temperatura. Las densidades de grasas en estado sólido son mucho más altas, aproximadamente el valor de 1g/L.

2.2.2. Propiedades químicas

NUÑEZ y RAMIREZ (2004), señalan que el crudo de palma extraído del mesocarpio de los frutos de la palma, se encuentra químicamente constituido por una molécula de glicerol combinada con tres moléculas de ácidos grasos formando un triglicérido (ésteres orgánicos). La naturaleza de un aceite depende principalmente de la composición del ácido graso, éstos son ácidos carboxílicos que presentan características polares, en el aceite de palma se encuentran los siguientes ácidos grasos: ácido palmítico 43 %, ácido oleico 43 %, en menor proporción ácido esteárico y ácido laúrico, tal como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición del aceite de palma

	Ácidos grasos	%
	Laúrico	0,10
	Mirístico	1,00
Saturados	Palmítico	43,80
	Esteárico	4,80
	Araquídico	0,30
	Palmitoleico	0,10
Monoinsaturados	Oleico	38,90
	Linoleico	10,60
Poliinsaturados	Linolénico	0,30

Fuente: NUÑEZ y RAMIREZ (2004).

2.3. Calidad del aceite de palma

RINCÓN y MARTÍNEZ (2009), indican que como cualquier otro tipo de grasa o aceite, el aceite rojo de palma se ve afectado por factores externos que comprometen su calidad. Así se tiene que está ligada directamente a ciertos cuidados que hay que tener en todas las etapas de procesamiento del aceite, es decir desde la cosecha (alto contenido de clorofila proveniente de racimos inmaduros), pasando por la extracción (el sobrecalentamiento del aceite en presencia de oxígeno, la exposición directa a la luz solar), el almacenamiento y transporte.

PATTERSON (1989), menciona que el principal factor que influye en la calidad del aceite rojo de palma es la elevación de la 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 de lípidos a la luz y al medio ambiente por periodos prolongados.

Es por ello, que durante la cosecha los frutos deben ser recolectados en su punto de madurez apropiada y procesados inmediatamente; hay que evitar todo daño físico, para impedir la acidez provocada por la

hidrolisis enzimática, que puede aparecer en el mesocarpio del fruto dañado (POTTER, 1973).

Según PEIXOTO (1986), durante la etapa de almacenamiento y transporte hay que tomar precauciones para evitar el exceso de humedad en el aceite, ya que ésta favorece la oxidación, compromete la vida útil del aceite y causa problemas para purificarlo y refinarlo.

Los aceites basan su calidad en una serie de características que deben mantener, el Cuadro 2 muestra algunas de ellas.

Cuadro 2. Características de un aceite de palma de excelente calidad

Características	Niveles óptimos
Ácidos grasos libres	<5,00%
Humedad	<0,50%
Índice de peróxido	<5,00
impurezas	<0,01%
Hierro	<3,50 ppm
Cobre	<0,20 ppm

Fuente: QUESADA (1998)

2.4. Simulación

TARIFA (2000) define la simulación como una técnica que imita el comportamiento de un sistema del mundo real conforme evoluciona en el tiempo. Mediante ella podremos, por tanto, analizar y observar ciertas

características del sistema, sin necesidad de acudir al sistema real, nos bastará con el análisis del modelo que lo representa.

Surgen, pues, dos nuevas definiciones:

- Modelo de simulación:

Se refiere al conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema expresado como relaciones matemáticas y/o lógicas entre los elementos del sistema.

- Proceso de simulación:

Será la ejecución del modelo a través del tiempo en un ordenador para generar muestras representativas del comportamiento del sistema.

2.4.1. Modos de simulación

TARIFA (2000), indica que cuando se simula, se experimenta con un modelo para obtener ciertos resultados. Un modelo es también un sistema por derecho propio, y de acuerdo a sus variables de salida el modo de simulación será, según se indica en la Figura 2.

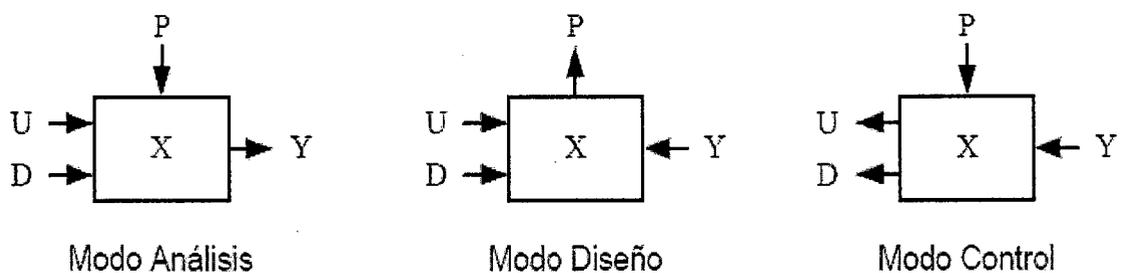


Figura 2. Modelo de simulación

- Análisis:

Es el modo más empleado, en él las variables de salida del modelo representan a las variables de salida del sistema real. Este modo se utiliza para estimar la respuesta del sistema real ante entradas y parámetros especificados. Debido a que limita un sistema que realmente funciona, el modelo es matemáticamente más estable y se asegura la existencia de una solución. Por ejemplo, dado un intercambiador de calor (esto es, se conoce el área, la cantidad de pasos por tubos y coraza, los materiales, etc.) y conocidas las condiciones de las corrientes de entrada, se determinarán las condiciones de las corrientes de salida.

- Diseño:

En este modo las salidas del modelo representan a los parámetros del sistema real. Se utiliza en la etapa de diseño de un equipo donde el problema es determinar los parámetros para los cuales el sistema producirá las salidas deseadas para las entradas especificadas. Por ejemplo, para el intercambiador de calor, se determinarán las dimensiones y tipo de intercambiador para que, conocidas las corrientes de entrada, las corrientes de salida alcancen las condiciones deseadas.

- Control:

Las variables de salida del modelo representan a las variables de entrada del sistema real. Este modo sirve para determinar los valores que deberán adoptar las entradas del sistema para producir los resultados

deseados. Se utiliza cuando se desea determinar las condiciones de operación de un sistema para obtener determinada conducta. Por ejemplo, se determinarán las condiciones de las corrientes de entrada de un intercambiador de calor dado para que las corrientes de salidas alcancen las condiciones deseadas.

2.4.2. Tipos de simulación

ARBELOA (2004), menciona que existen diversos aspectos en función de los cuales se pueden clasificar las distintas simulaciones, algunas de estas posibles son:

- Estática en comparación a Dinámica

Se denomina modelo de simulación estática a la representación de un sistema en un instante de tiempo determinado. Una simulación dinámica, por su parte, es la representación de un sistema cuando evoluciona con el tiempo.

- Determinista en comparación a Aleatoria

Un modelo de simulación se dice determinista si no contiene absolutamente ninguna variable aleatoria. El modelo de simulación estocástico será aquél que sí contenga una o más variables aleatorias.

- Continúa en comparación a Discreta

Los modelos continuos de simulación serán aquéllos cuyo comportamiento cambia de forma continua con el tiempo. Para describir las interacciones entre los elementos del sistema se suele requerir de ecuaciones

diferenciales (existentes debido a la condición de continuidad). En caso contrario, diremos que el modelo de simulación es discreto, lo que ocurrirá si el comportamiento cambia únicamente en instantes de tiempo concretos.

2.5. Generalidades de las grasas y aceites

2.5.1. Definición

Las grasas y aceites son predominantemente triésteres de ácidos grasos y glicerol, llamados comúnmente triglicéridos. Son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos. Son menos densos que el agua y a temperatura ambiente varían de consistencia desde líquidos a sólidos (ZILLER, 1996).

2.5.2. Componentes

Según BOCKISCH (2008), el glicerol o glicerina, es un alcohol triple simétrico (propano-1, 2,3-triol) que participa en la formación de cada molécula de grasa. La Figura 3 muestra la estructura del glicerol.

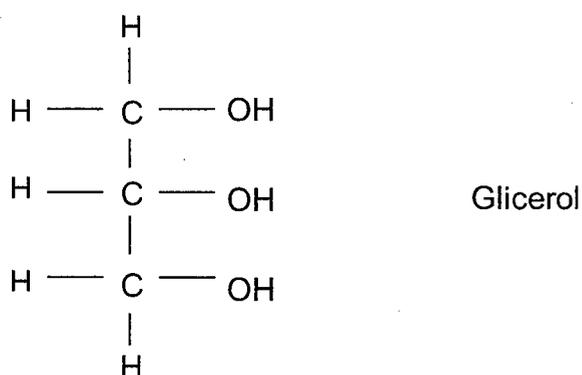


Figura 3. Estructura del glicerol

En la Figura 4 se presenta la estructura del ácido graso

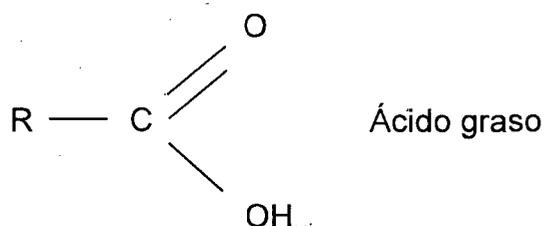


Figura 4. Estructura del Ácido graso

BOCKISCH (2008), señala que los ácidos grasos, son ácidos monocarboxílicos, todos los ácidos grasos predominantes de los aceites y grasa comestibles pertenecen a las familias de los alcanos y alquenos. La estructura de los ácidos grasos ejerce una gran influencia sobre sus propiedades físicas; se pueden presentar diferencias estructurales solo en la posición del enlace doble o en su configuración (cis o trans).

GIRAUDIO *et al.*, (2008), indican que los triglicéridos, son ésteres del glicerol con tres moléculas de ácidos grasos, de los cuales cada uno puede contener distinto número de átomos de carbono y grados de insaturación y ramificación. Los triglicéridos forman parte de las grasas, sobre todo de origen animal, los aceites son triglicéridos en estado líquido de origen vegetal o que provienen del pescado

En la Figura 5 se presenta la estructura de un triglicérido.

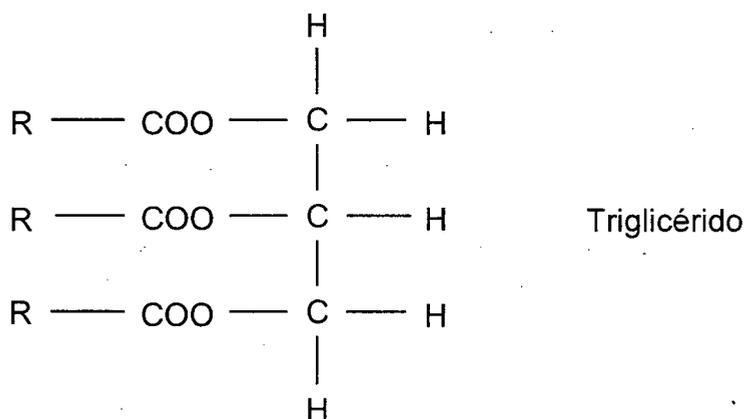


Figura 5. Estructura del Triglicérido

2.5.3. Factores de deterioro

SALAZAR (2007), menciona que entre los factores que afectan el deterioro de las grasas y aceites está la temperatura, observándose que un incremento de la misma aumenta la velocidad de reacciones de deterioro, evaluándose en función de variables o índices que permitan determinar si ha ocurrido reacciones con los grupos funcionales de las grasas o aceites que pudieran provocar degradación de los mismos o de sus componentes. Entre ellos destacan el índice de acidez (IA), que es una medida de los ácidos libres presentes en grasas y aceites, y el índice de peróxido (IPO), que es una medida del oxígeno unido a las insaturaciones presentes en los ácidos grasos en forma de peróxidos.

2.5.4. Deterioro del índice de blanqueabilidad

Según RUEDA (2011), el DOBI es un parámetro de calidad para diferenciar la refinabilidad de aceite de palma crudo de buena calidad y mala

calidad, con los valores de absorbancia 446 nm a 269 nm. Este método se basa en la relación de carotenos respecto al resto de carotenos oxidados. Las moléculas de caroteno absorben luz a 446 nm, mientras que sus productos oxidados absorben luz a 269 nm

2.6. Prueba de almacenamiento acelerado

Estas pruebas se han utilizado ampliamente para observar la estabilidad de los aceites vegetales usando una modificación de la prueba Schaal Oven (Eskin *et al.*, 1989; citado por APARICIO y HARWOOD, 2003).

FENNEMA (2000), señala que la muestra se almacena a unos 60 - 65°C en la oscuridad y se examina periódicamente hasta detectar el enranciamiento producido por la oxidación, bien organolépticamente o bien midiendo el índice de peróxido.

De Man (1987) citado por APARICIO y HARWOOD (2003), indican que existen variaciones en las condiciones de la prueba de la estufa o de Schaal, estas incluyen diferencias en la cantidad de aceite a almacenar, el tamaño de los depósitos de almacenamiento y la proporción entre la superficie del aceite y su volumen, así como si los depósitos están cubiertos o descubiertos durante el tiempo de almacenamiento. La proporción entre el área de la superficie y el volumen del aceite afecta directamente al nivel de oxidación. La prueba de Schaal es más fiable que las pruebas llevadas a cabo a temperaturas elevadas por que reproduce los cambios oxidativos observados en los estudios realizados sobre el tiempo de vida útil (shelflife).

Evans *et al.*, (1973) citado por APARICIO y HARWOOD (2003), mencionan que aumentando la temperatura de almacenamiento, el nivel oxidación crece de tal modo que la totalidad de la prueba se puede realizar en un espacio de tiempo más corto. Un día de almacenamiento bajo esta condición equivale a un mes de temperatura ambiente.

2.7. Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de la calidad en los alimentos

La cinética química es la parte de la Química-Física que estudia la velocidad de las reacciones químicas, los factores que la afectan y el mecanismo por el cual transcurren. Los cambios que llegan a ocurrir en los alimentos son resultados de numerosas y complejas reacciones químicas y bioquímicas, acompañadas de diversos efectos físicos (ALVARADO, 1996).

Por lo tanto, conviene referirse a la velocidad instantánea, es decir en intervalos de tiempo infinitamente pequeños. Esto requiere definir la velocidad de reacción como derivada de la concentración respecto al tiempo.

Dado una transformación química:



La velocidad de reacción será:

$$V = - d\{A\} / dt = - d\{B\} / dt = d\{C\} / dt$$

El signo negativo indica que la concentración de los reactantes {A} y {B} decrece al transcurrir el tiempo; por el contrario, el signo de la velocidad será positivo respecto al producto de la reacción {C}, pues su concentración aumenta con el incremento del tiempo.

Por otro lado en muchos casos se ha determinado en forma experimental que la velocidad de reacción se ajusta a una expresión matemática del tipo:

$$V = k \{A\}^i \{B\}^j$$

En el caso de expresiones cinéticas de este tipo, se define como orden de reacción respecto a una de las sustancias, el exponente al cual está elevada la concentración de dicha sustancia en la expresión cinética.

La constante k de la expresión, representa la velocidad específica, también llamada constante de velocidad de reacción. Salvo en casos especiales, la velocidad de reacción es independiente de la concentración de los reactivos y productos y por lo tanto del grado de avance de la reacción.

Para el caso de reacciones de un solo reactivo y de orden n, la expresión de la velocidad escrita:

$$(- d \{A\} / dt) = k \{A\}^n$$

Según LABUZA y RIBOH (1982), el concepto de reacción puede ser extendida a la pérdida de calidad para muchos alimentos, y también puede ser representada por una ecuación matemática en la forma siguiente:

$$\pm dA / d\theta = kA^n$$

Dónde:

A: Factor de calidad a medir

θ : Tiempo

k: Constante que depende en especial de la temperatura y de la velocidad

n: Factor de potencia llamado "orden de reacción", el cual define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente de A.

$\pm dA / d\theta$: Velocidad de cambio de A con respecto al tiempo.

El signo negativo es utilizado si el deterioro es una pérdida o destrucción de A (por ejemplo, un nutriente o un aroma característico) y un signo positivo señala si por la producción de un producto final indeseable (por ejemplo, pérdida de aroma o de coloración).

Usualmente los resultados de estos estudios para predecir la pérdida de calidad no son obtenidos como una velocidad sino como la cantidad de A como una función del tiempo. Así para obtener la velocidad de deterioro, uno debe transformar los datos mediante un gráfico cinético.

2.7.1. Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro (k)

LABUZA y RIBOH (1982), señalan que los análisis matemáticos anteriores de pérdida de calidad asumen una temperatura constante. La influencia de la temperatura a partir de las ecuaciones de cero o primer orden es la constante de velocidad k.

LABUZA (2000), indica la importancia de la temperatura en las velocidades de reacción y que esto es reconocido por mucho tiempo. Generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. El más prevalente y ampliamente usado es la ecuación de Arrhenius, derivado de las leyes termodinámicas así como los principios de la Estadística Mecánica. También se ha mostrado la reacción de pérdida de calidad de un alimento descritas por modelos cinéticos mencionados para seguir un comportamiento de Arrhenius con la temperatura.

- La ecuación de Arrhenius:

LABUZA y RIBOH (1982), mencionan que la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción ha sido derivada empíricamente, así como también a partir de mecanismos termodinámicos, estadísticos y otros medios. Básicamente, el logaritmo de la constante de velocidad es proporcional a la inversa de la temperatura absoluta.

$$K = K_0 e^{[E_a/RT]}$$

Dónde:

K : Constante de velocidad de reacción

K₀ : Factor pre-exponencial

E_a : Energía de activación (cal / mol)

R : Constante de gases ideales (1.987 cal / mol °K)

Esta ecuación (la ecuación de Arrhenius) enuncia que un ploteo del logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción (Ln K) versus la reciproca de la temperatura absoluta (1/T) genera una línea recta cuya pendiente es la energía de activación dividida entre las constante de las gases R y al conocer el valor de la pendiente podemos obtener el valor de la energía de activación para dicha recta y mediante la regresión lineal se podrá obtener el valor de la constante pre-exponencial. Además una pendiente excesiva significa que la reacción es más dependiente de la temperatura; es decir, a medida que la temperatura se incrementa, la reacción aumenta a una velocidad mayor (LABUZA y RIBOH, 1982).

Según FENNEMA (2000), cuando se aplica la técnica de regresión, se utiliza el análisis estadístico para determinar el 95% de los límites de confianza de los parámetros de Arrhenius. Si sólo se dispone de tres valores k , el rango de confianza normalmente es grande. Para obtener límites de confianza estrecha y significativa en E_a y K_a , se necesita velocidad a más temperaturas. Se ha propuesto que cinco o seis temperaturas experimentales dan el cociente óptimo práctico de exactitud, frente a la cantidad de trabajo experimental. Limitándose a tres temperaturas experimentales debido al coste y/o dificultad de disponer incubadoras a seis temperaturas constantes, pueden utilizarse diversos métodos estadísticos para aumentar la exactitud, de los cuales es considerar cada par de datos (punto) como una independiente de k .

2.7.2. Determinación de los parámetros cinéticos

TORRES (2003), señala que para describir la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción, como por el uso de la expresión de Arrhenius, es necesario saber los valores de los parámetros cinéticos como la constante de velocidad y energía de activación. Dos procedimientos son normalmente empleados para determinar estos parámetros cinéticos:

El método de regresión lineal involucra plotear el logaritmo de la constante de velocidad contra el recíproco de la temperatura (absoluta). Es necesario obtener las constantes de velocidad por lo menos tres temperaturas diferentes. Puesto que este ploteo debe ser una línea recta, el procedimiento de la regresión es para determinar la pendiente y el intercepto, y se llega a obtener valores para el factor preexponencial y la energía de activación.

Un método de regresión no lineal sugerido por SAGUY y KAREL (1985), es usado para determinar la energía de activación directamente desde la concentración o del nivel de un atributo de calidad. Este método evita la determinación de las constantes de velocidad. La ventaja de este método es el uso de puntos de los datos originales relacionado a la variación de atributos de calidad calculado los parámetros cinéticos deseados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Análisis y Control de Calidad de la planta extractora de Industria del Shanusi S.A., está ubicado en el caserío de Pampa Hermosa, provincia de Alto Amazonas, región Loreto; con altitud de 147 m.s.n.m., con una humedad relativa de 70-80 %.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Como materia prima se utilizó el aceite crudo de palma, obtenida de Industrias del Shanusi S.A.

3.2.2. Reactivos

- Solución de tiosulfato de sodio 0,002 N.
- Agua destilada.
- Solución saturada de yoduro de potasio.
- Ácido acético.
- Cloroformo.
- Isooctano de calidad para espectrofotometría.

- Almidón.

3.2.3. Materiales de vidrio

- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 y 500 mL
- Termómetro 0 - 100 °C
- Fiolas con tapas esmeriladas de 25 mL
- Erlenmeyers de 150 mL
- Micropipetas de 0,1 y 0,5 mL
- Probetas de 50 y 500 mL
- Envases de la muestra de 1000 g

3.2.4. Equipos

- Espectrofotómetro, marca SHIMADZU UV-1800.
- Estufas con control de temperatura, marca MEMMERT Modell 100-800.
- Balanza analítica, marca OHAUS, modelo AP210S, de 0 - 210 g de cap. (USA).

3.3. Métodos de análisis

- Índice de peróxido, según el método de la AOAC (1995).
- Color por el método HUNTER LAB (2001)
- Prueba DOBI, Método Original Tirtiaux (LUNA, 2007).
- Simulación, la simulación que se realizó fue de tipo DETERMINISTA en modo ANALISIS.

3.4. Metodología Experimental

3.4.1. Caracterización del aceite crudo de palma

Del CPO obtenido de la producción del día, se tomó una muestra representativa, que luego se lleva al laboratorio para realizar los análisis de: Índice de peróxido, Color y DOBI.

3.4.2. Conducción de las pruebas aceleradas.

El CPO fue envasado en frascos de plástico de 1000 g, los cuales fueron almacenados a las temperaturas de evaluación. Se almacenó en estufas a temperatura controlada de 30, 50 y 70 °C, evaluándose a diario el índice de peróxido, DOBI y color por 12 días; éstas temperaturas y tiempos están apoyadas en trabajos de investigación realizados por TORRES (2003).

3.4.3. Determinación del orden de reacción (n)

Se empleó el modelo de integración realizado por ALVARADO (1996), para determinar el orden de reacción de deterioro de las muestras de aceite según los factores de calidad evaluados. Este método consiste en elegir un orden de reacción igual a cero ($n = 0$) cuya ecuación integrada es:

$$A = A_0 + kt$$

En ésta se remplazan los valores experimentales de A y t para luego mediante una regresión lineal poder obtener el valor de la constante k que es igual a la pendiente de la gráfica obtenida de dicha regresión.

Posteriormente se elige el orden de reacción $n = 1$ cuya ecuación integrada y linealizada es la siguiente:

$$\ln A = \ln A_0 + k t$$

Siguiendo el mismo procedimiento del caso anterior, para luego poder escoger el modelo que mejor se ajuste a lo planteado en base al coeficiente de correlación (R^2) obtenido del análisis de regresión lineal aplicado. Se trabajó de igual modo con valores de n diferentes a los anteriores ($n = 0,8; 0,5; 0,4; \text{ y } 0,1$) cuya ecuación integrada es la siguiente (ALVARADO, 1996).

$$(1/(n-1))((A)^{1-n} - (A_0)^{1-n}) = kt$$

3.4.4. Determinación de la constante de velocidad de reacción (k)

Determinando el orden de reacción para cada grupo de valores mediante la regresión lineal obtenida, se pudo determinar el valor de la constante de velocidad de reacción (k) que es igual al valor de la pendiente de dicha regresión.

3.4.5. Determinación la energía de activación (E_a), usando el modelo Arrhenius.

La ecuación de Arrhenius relaciona la constante de velocidad de reacción (k) con la temperatura.

$$K = K_0 e^{\frac{E_a}{RT}} \quad \ln K = \ln K_0 - \frac{E_a}{R(T)}$$

Los valores de la constante de velocidad de reacción obtenidos experimentalmente a sus respectivos temperaturas en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), se ajustan al modelo de Arrhenius por regresión, luego en esta ecuación se

reemplaza el valor de $R = 1,98717 \text{ cal.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ constante de los gases reales y se despeja la energía de activación E_a .

3.4.6. Simulación de la oxidación del aceite crudo de palma

Una vez elegido el modelo matemático que describe mejor influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción, se determinó el valor de la constante de velocidad de oxidación (k) para las posibles temperaturas reales de almacenamiento.

Posteriormente el valor obtenido de k es reemplazado en la ecuación de pérdida de calidad ya determinada anteriormente, según el orden de reacción que más se ajustan a los valores obtenidos al índice de peróxido, o simulando la oxidación a diferentes temperaturas.

En la Figura 6 se presenta el diseño experimental utilizado para evaluar la pérdida de calidad del aceite crudo de palma almacenado a diferentes temperaturas y días de almacenamiento.

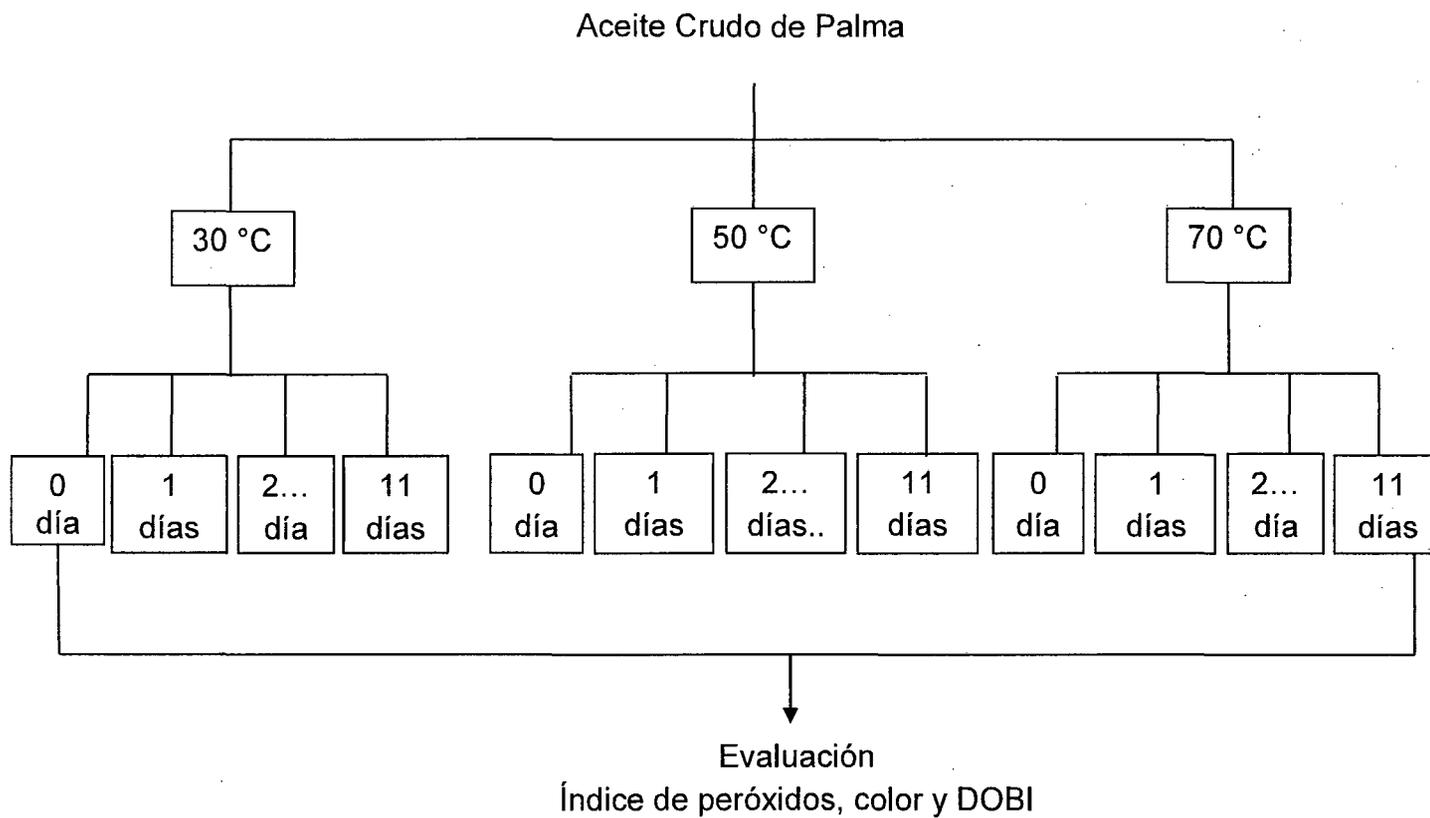


Figura 6. Diseño experimental para evaluar la pérdida de calidad del aceite crudo de palma

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Características fisicoquímicas del aceite crudo de palma.

El aceite crudo de palma producido en la empresa "Industria del Shanusi" presenta las características fisicoquímicas promedio mensual mostrado en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores promedio mensual de las características fisicoquímicas del aceite crudo de palma

Acidez (%)	Humedad (%)	Color (Lovibond)	IP (meqO ₂ /kg aceite)	DOBI	Impureza (%)
2,69	0,14	18,50	1,50	3,12	0,021

Fuente: Industria del Shanusi S.A

Según MAYCOCK (1995), el aceite crudo de palma producido en Malasia, rara vez presenta una acidez superior al 3,5 %, con un contenido máximo de agua del 0,15 %, impurezas del 0,01 % e I.P. entre 2 y 6,5 (meqO₂/kg).

BELTRAN (1991), sustenta que los ácidos grasos se desarrollan principalmente durante el lapso transcurrido entre la cosecha del racimo y su esterilización; en otras palabras, entre la palma y la planta extractora.

El bajo contenido de humedad en una materia oleaginosa es beneficioso porque, además de favorecer la operación de extracción del aceite, también inhibe la hidrólisis de los triacilgliceroles que forman al aceite o grasa y de esta manera previene el deterioro del producto por rancidez hidrolítica (SALAZAR y BELEN, 2004).

4.2. Índice de peróxido durante el almacenamiento.

El resultado obtenido de la evaluación del índice de peróxido se muestra en el Cuadro 4 y Figura 7.

Cuadro 4. Variación del índice de peróxidos del CPO en almacenamiento a diferentes temperaturas.

Tiempo (horas)	Índice de peróxido (meq O ₂ / Kg Aceite)		
	30°C	50°C	70°C
0	1,8051	1,8051	1,8051
24	1,8107	1,9190	2,2259
48	2,0310	2,1436	2,9917
72	2,1346	2,7062	3,4743
96	2,4296	3,1270	5,4345
120	2,8014	4,6208	5,8519
144	4,1107	5,4102	7,4905
168	4,5593	5,7572	7,9995
192	5,5023	7,1962	8,7961
216	5,2639	7,2047	9,9447
240	6,7184	8,4551	12,3500
264	6,2803	10,4811	14,9092

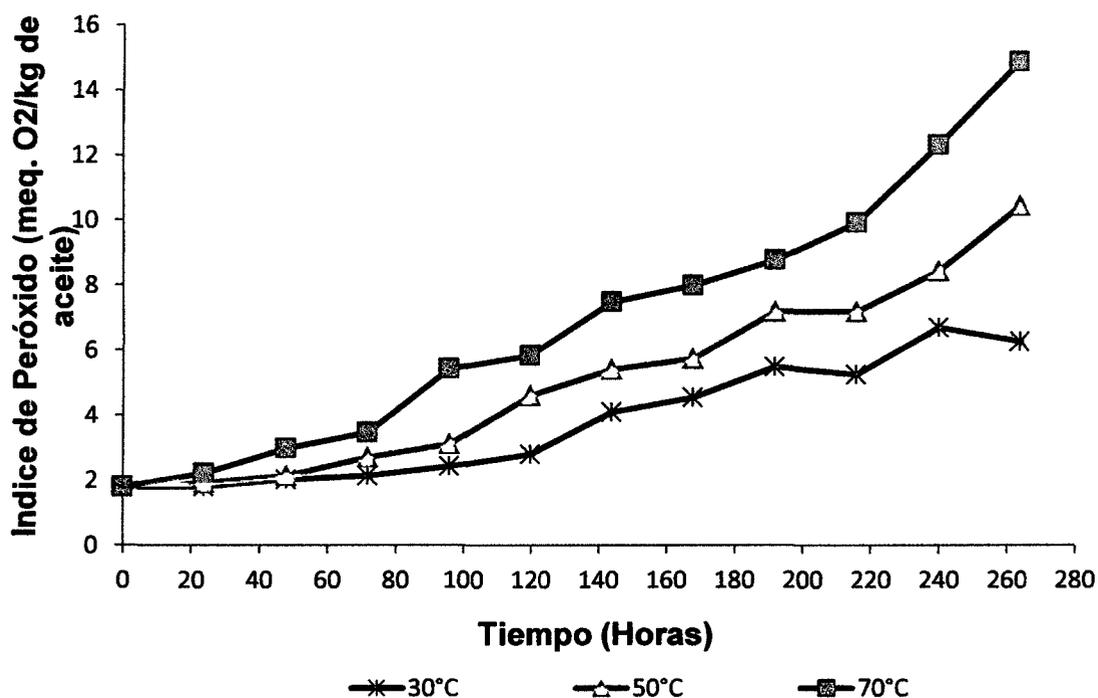


Figura 7. Variación del índice de peróxido del CPO en almacenamiento a diferente temperatura.

De los resultados, se observa que la oxidación del aceite crudo de palma, formado por hidroperóxidos conocidos como peróxidos, comienza de forma lenta y luego se incrementa a mayor velocidad.

Los aceites y grasas expuestos al oxígeno atmosférico reaccionan lentamente en un inicio, pero una vez que la rancidez se ha iniciado la velocidad de formación de peróxidos se incrementa resultando la formación de aldehídos, cetonas y ácidos que dan característico de producto rancio.

Según SALAZAR (2007), el aceite crudo tiene un grado de resistencia frente a la oxidación durante los primeros días, después de su proceso de extracción, incrementándose de manera progresiva su deterioro y por ende el tiempo de vida útil a medida que aumenta la temperatura de

ensayo. Así mismo cabe indicar que un aceite oxidado se descompone en varios carbonilos y otros compuestos; esta descomposición se acelera a medida que la temperatura aumenta, por lo tanto, al calentar el aceite en ausencia de aire u oxígeno se puede reducir el índice de peróxido (TAN *et al.*, 2000).

4.3. Influencia de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la formación de peróxidos.

El análisis de varianza (ANVA) de los resultados del Cuadro 4, se muestra en el Anexo 1. Se encontró un efecto altamente significativo de la temperatura ($P_{\text{valor}} = 0,00$) y del tiempo de almacenamiento ($P_{\text{valor}} = 0,00$) en la formación de peróxidos del aceite crudo de palma.

En el cuadro 5, se muestra la comparación de medias del índice de peróxido por efecto de la temperatura, por la prueba de Tukey.

Cuadro 5. Efecto de la temperatura, en el índice de peróxido en almacenamiento del aceite crudo de palma.

Temperatura de almacenamiento (°C)	Cantidad	Promedio Índice de Peróxido(meq O ₂ /kg de aceite)
30	24	3,78727 ^a
50	24	5,06883 ^b
70	24	6,93944 ^c

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=24) valores con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por Tukey

Del Cuadro 5, se puede confirmar que a medida que se incrementa la temperatura, la formación de peróxidos es mayor, lo que indica que cuando la temperatura se incrementa se acelera el proceso de oxidación de los aceites (BARRERA, 1998).

4.4. Determinación de los parámetros de cinética para la formación de peróxidos.

Por ser la autooxidación un proceso bastante complejo que tiene lugar a través de las etapas de iniciación, propagación y terminación, la cinética debe ser analizada en cada una de las etapas en forma individual (ADACHI *et al.* 1995).

En la Figura 7, se observa que la formación de peróxidos al inicio es lenta, luego se acelera rápidamente a 70°C; según lo manifestado por AMATLLER y DAVILA (2000), en muestras de 1,5 kg de aceite crudo de palma almacenados herméticamente y llevados a temperatura ambiente y sin luz por diez semanas, se tuvo efecto de oxidación en la séptima semana.

SALAZAR y BELEN (2007), mencionan que el tiempo de vida útil del aceite de la semilla del fruto de la palma coroba crudo, se ubicó en 109,5 días (3,65 meses). El mejor ajuste lineal para las dos variables de calidad estudiadas (Índice de Acidez y el Índice de Peróxido), determinó una cinética de reacción de orden cero.

4.4.1. Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (K) para el índice de peróxido (IP)

El orden de reacción en un alimento se puede calcular en función de la concentración de los reactantes o de los productos. Se evalúa la velocidad o rapidez de las reacciones de deterioro, expresados como cambios de concentración por unidad de tiempo.

La determinación del índice de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (K) se realizó por el método de integración propuesto por LABUZA (2000), para ello se ajustó los datos de peróxido a los diferentes modelos los cuales se muestran en las Figuras 8, 9 y 10.

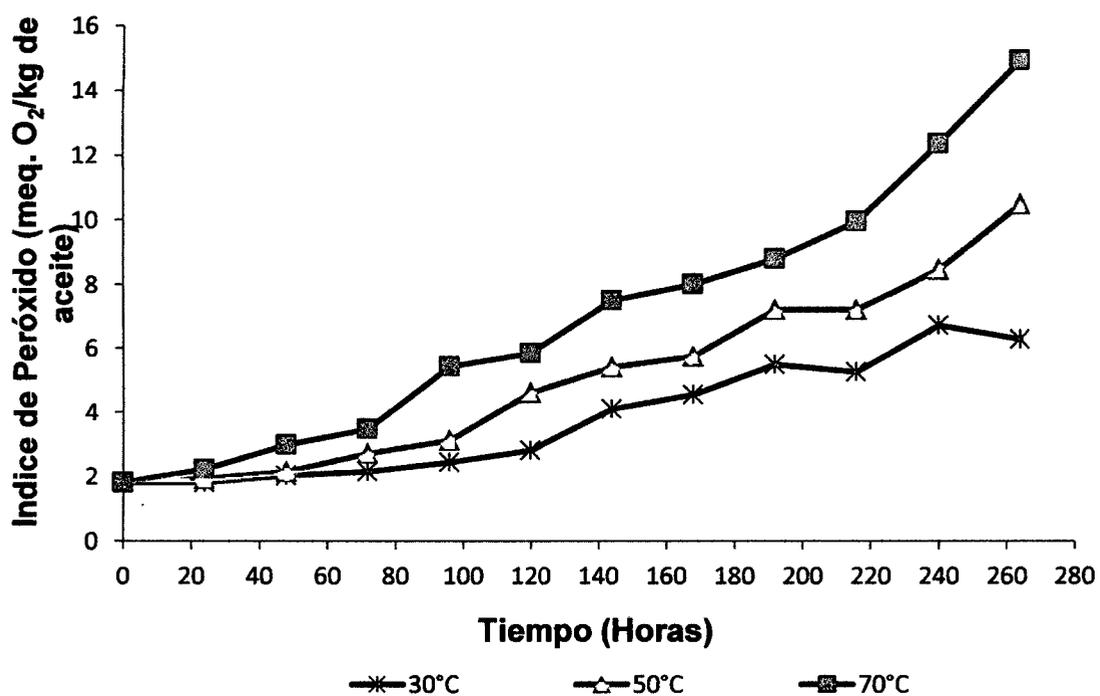


Figura 8. Variación del índice de peróxido en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reacción cero).

Los valores de la Figura 8, se ajustaron a una ecuación de velocidad de reacción de orden cero: $IP = IPo + K t$, donde IP es índice de peróxido, IPo es Índice de peróxido inicial, K es constante de velocidad de reacción y t es tiempo en horas.

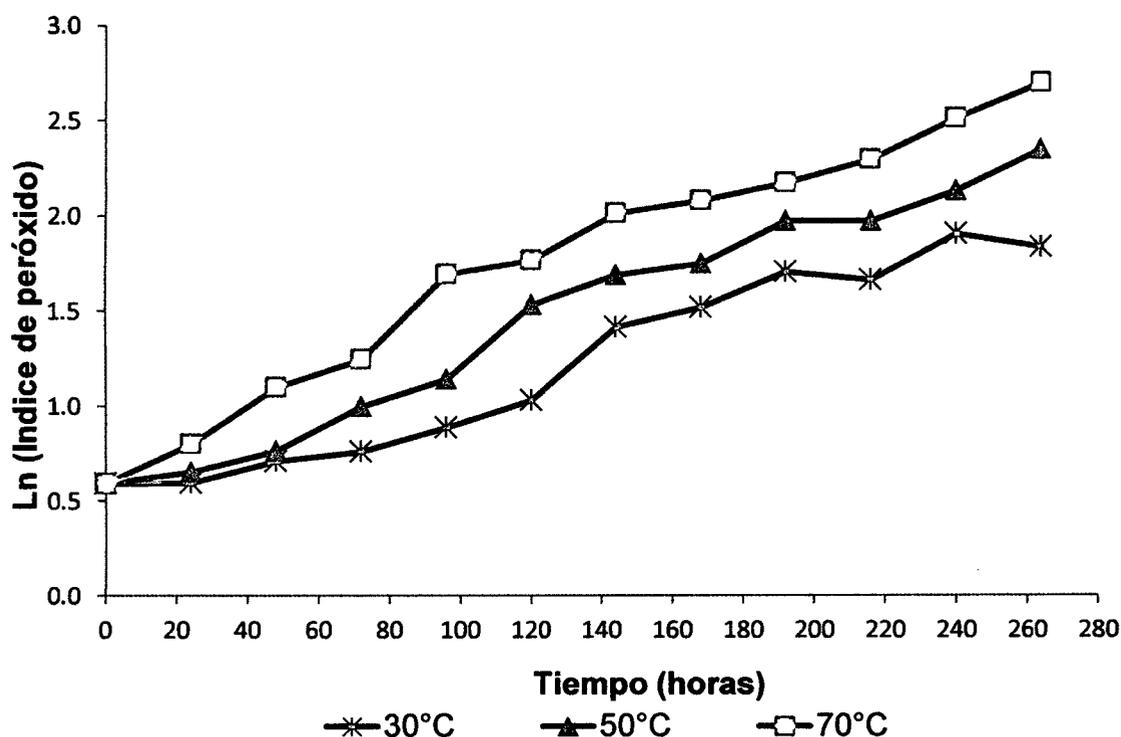


Figura 9. Variación del Ln (Índice de peróxido) en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reacción 1).

Los valores de la Figura 9, se ajustaron a la ecuación de velocidad de reacción de orden uno:

$$\text{Ln IP} = \text{Ln IPO} + K t$$

Dónde: Ln IP es Ln del índice de peróxido, Ln IPO es Ln del índice de peróxido inicial, K es constante de velocidad de reacción de orden uno, t es tiempo en horas.

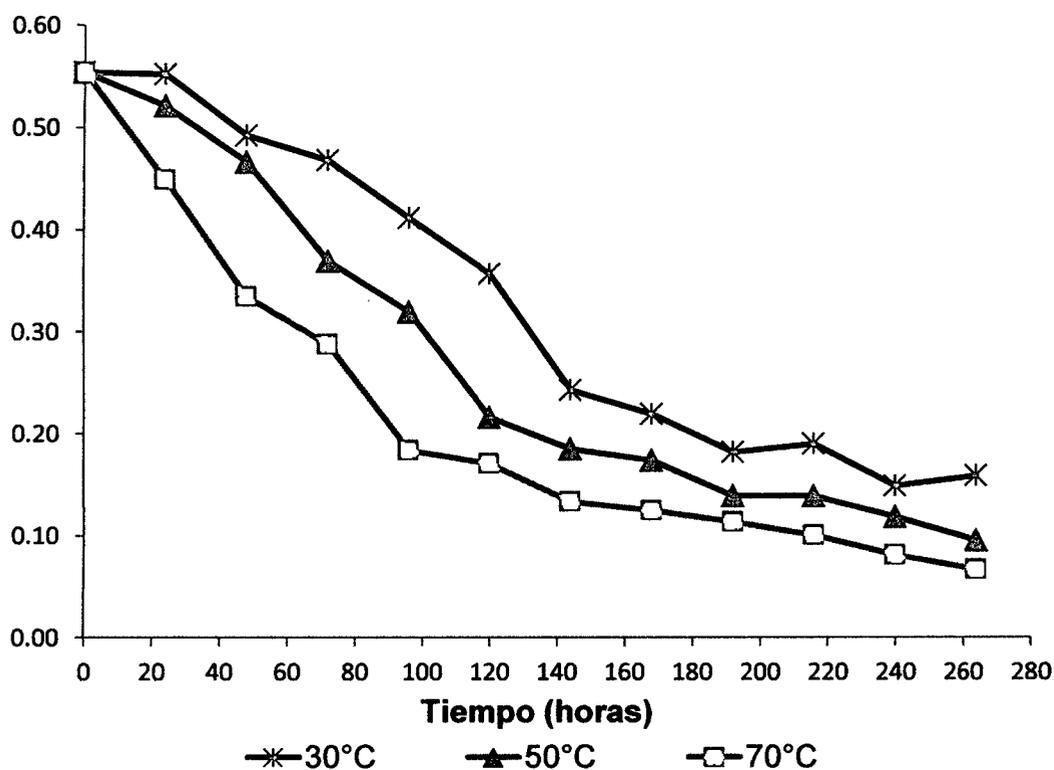


Figura 10. Variación de 1/Índice de peróxido, en almacenamiento a diferentes temperaturas. (Orden de reacción 2).

Los valores de la Figura 10, se ajustan en la ecuación de velocidad

de reacción de orden dos: $\frac{1}{IP} = \frac{1}{IP_0} - K \cdot t$, donde

$\frac{1}{IP}$ es la inversa del índice de peróxido

$\frac{1}{IP_0}$ es la inversa del índice de peróxido inicial

K es la constante de velocidad de reacción de orden dos y t es el tiempo en horas.

Los valores presentados en el Cuadro 4, fueron ajustados a los modelos de cinética de orden cero, primer orden y segundo orden, el resultado de estos ajustes se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Constante de velocidad de reacción (K) de la formación de peróxido de aceite crudo de palma.

Temp. T °C	Orden Cero		Orden Uno		Orden Dos	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
30	0,02047852	0,9312	0,00570919	0,9536	0,00177945	0,9456
50	0,03217067	0,9565	0,00700180	0,9776	0,00183373	0,9179
70	0,04660201	0,9601	0,00773691	0,9707	0,00165962	0,8398

En el Cuadro 6, se puede observar que el grado de ajuste de los datos experimentales a los diferentes modelos de órdenes de reacción medidos por el coeficiente de correlación R², el modelo de reacción de orden uno tiene el mayor valor para todas las temperaturas, determinándose por lo tanto que la oxidación del aceite crudo de palma corresponde a una cinética de primer orden.

Según GUARDIOLA (2002), el índice de peróxido tiene la tendencia al incremento en el almacenamiento, siendo mayor a medida que la temperatura aumenta, esto se debe a que la temperatura acelera la oxidación. En los datos obtenidos en el aceite crudo de palma a temperaturas de 30, 50 y 70 °C, se observa el incremento de índice de peróxido a medida que se incrementa la temperatura.

El deterioro del aceite crudo de Sacha Inchi, a temperatura almacenadas de 40, 50 y 60°C fueron evaluados a intervalos de tiempo: el índice de peróxido (5 horas) y la acidez libre (2 a 3 días); a temperatura ambiente (20 °C), el índice de peróxido (6,4 días) y la acidez libre (3,7 meses);

el modelo estadístico que se ajusta más a los datos es el de orden cero (MORENO, 2002).

GARCIA y MOLINA (2008), reportan que el índice de peróxidos en la mayonesa aumenta respecto al tiempo y su comportamiento es lineal, obtenido los resultados en este tiempo, las líneas de tendencia tienden a acercarse a la unidad.

4.4.2. Determinación de la energía de activación con el método de Arrhenius para el índice de peróxido (IP)

Las constantes de velocidad de reacción (K) a orden 0, 1 y 2 a diferentes temperaturas acondicionadas para el ajuste del modelo de Arrhenius se muestran en el Cuadro 7 y los ajustes en las Figuras 11, 12 y 13.

Cuadro 7. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido, acondicionadas para el ajuste al modelos de Arrhenius.

Temperatura			Constante de velocidad de reacción (K)		
T °C	°K	1/°K	Orden cero	1 ^{er} orden	2 ^{do} orden
30	303	0,003300	0,02047852	0,00570919	0,00177945
50	323	0,003095975	0,03217067	0,00700180	0,00183373
70	343	0,002915452	0,04660201	0,00773691	0,00165962

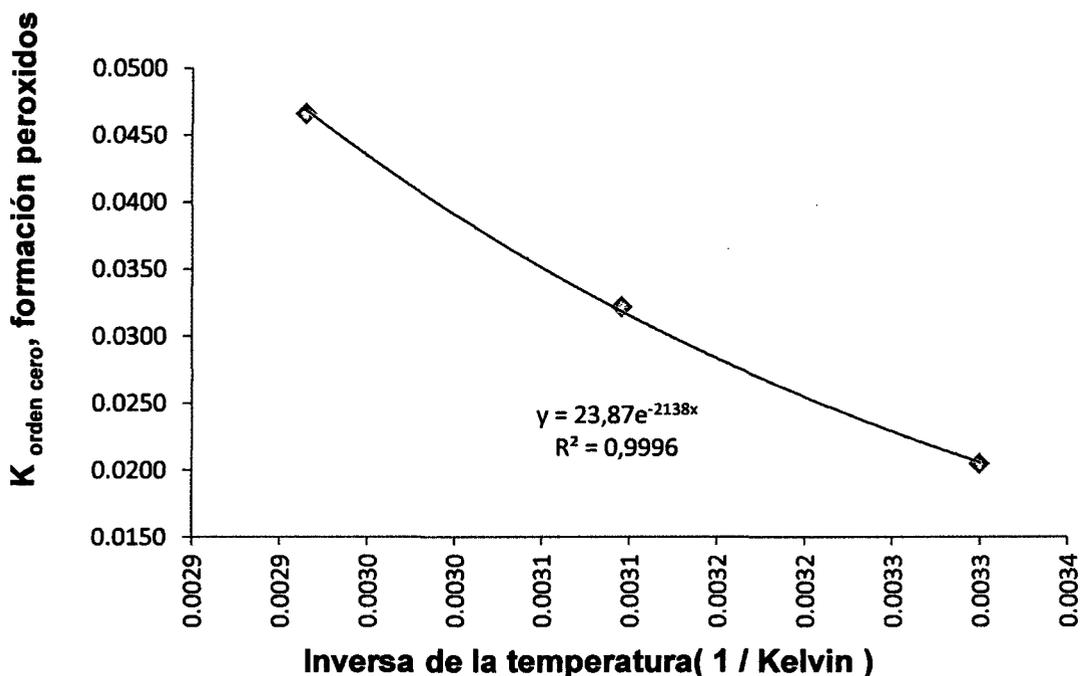


Figura 11. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido de orden cero con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Con los valores de regresión al modelo de Arrhenius se determinó la energía de activación (Ea) el cual se detalla a continuación:

$$\text{Modelo de Arrhenius} \quad : K = K_0 \cdot e^{-Ea/RT}$$

$$\text{Ecuación regresionada: } Y = 23,87e^{-2138x}$$

$$\text{Entonces: } \frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal.mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 2138$$

$$Ea = 2138 \times 1,98717 = 4248,56 \text{ cal/mol}$$

Finalmente: $Ea_{\text{orden cero}} = 4,2485 \text{ Kcal/mol}$ y $K_{0(\text{orden cero})} = 23,87 \text{ meq O}_2/\text{h}$

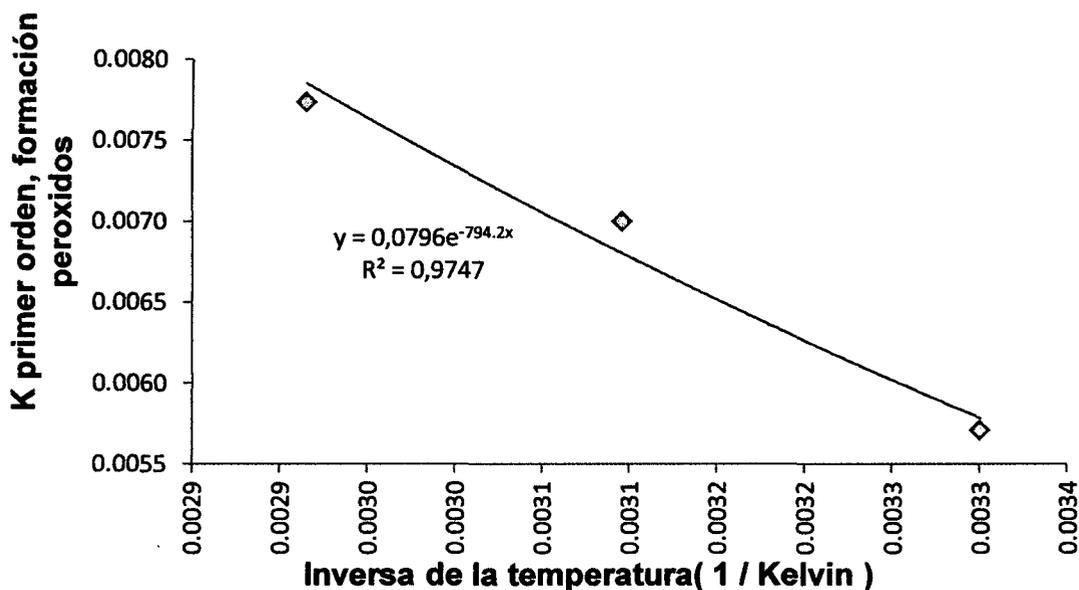


Figura 12. Constante de velocidad de reacción (K) de formación de peróxido. de primer orden con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

De donde se obtiene: $E_{a(\text{primer orden})} = 1,5782 \text{ Kcal/mol}$ y $K_0(\text{primer orden}) = 0,0796$ meq O_2/h

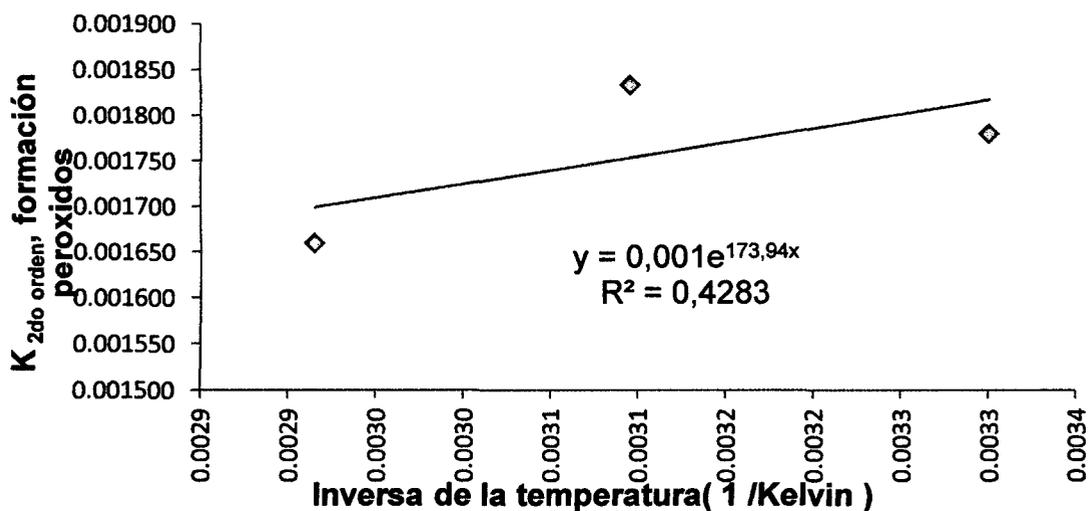


Figura 13. Constante de velocidad reacción (K) de formación de peróxido de segundo orden con la temperatura, ajustada a Arrhenius.

De donde se obtiene:

$$E_{a \text{ segundo orden}} = 0,3456 \text{ Kcal/mol} \quad \text{y} \quad K_0(\text{segundo orden}) = 0,001 \text{ meq O}_2/\text{h}$$

El ajuste de los valores de velocidad de reacción (K) de diferentes órdenes de reacción al modelo de Arrhenius y la energía de activación se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros de Arrhenius para la formación de peróxidos en el aceite crudo de palma almacenada a diferentes temperaturas.

Orden de reacción(n)	Ko(meq O ₂ /h)	Ea(Kcal/mol)	R ²
Orden Cero	23,87	4,2485	0,9996
Orden Uno	0,0796	1,5782	0,9747
Orden Dos	0,001	0,3456	0,4283

Del cuadro 8, se puede afirmar que los valores de K que mejor se ajustan al modelo de Arrhenius es el de orden cero; sin embargo en la determinación del orden de reacción el modelo que mejor se ajusta es el de orden uno, por lo que se usará la ecuación de Arrhenius correspondiente a orden uno para realizar la simulación.

LABUZA *et al.* (1982), Indican que a pesar de la variabilidad de los datos de ensayo, estos permiten en la mayoría de los casos predecir con bastante exactitud el valor correcto de la vida útil de un alimento y reporta que

para variaciones de temperatura entre 30 y 40°C puede existir desviación de la E_a de hasta 4 Kcal/mol entre valores obtenidos.

TORRES *et al* (2001), reportan que la energía de activación para reacciones de oxidación de lípidos se encuentra en el ámbito de 41 842 J/mol a 104 605 J/mol.

4.5. Simulación de la cinética de oxidación del aceite crudo de palma, en función del índice de peróxidos.

4.5.1. Simulación de la constante de velocidad de reacción (K), de peróxido a diferentes temperaturas.

Con la ecuación de Arrhenius, correspondiente a los valores K de orden uno, se simuló las constantes de velocidad de reacción a diferentes temperaturas.

Por ejemplo para 30°C (303 K)

Modelo Arrhenius $K = K_0 \cdot e^{-E_a/RT}$; obtenido: $K = 0,0796e^{-794,2/T}$

Reemplazando la temperatura:

$$K_{30^\circ\text{C}} = 0,0796e^{-794,2/303} \rightarrow K_{30^\circ\text{C}} = 0,005789 \text{ meq O}_2/\text{kg}$$

De esta forma se obtienen los valores a diferentes temperaturas de 10°C a 80°C con intervalo de 5°C, el cual se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Valores simulados de la constante de velocidad de reacción (K), de formación de peróxido a diferentes temperaturas.

Temperatura °C	Temperatura °K	$K_{orden\ cero}$ (meq O ₂ /kg)
10	283	0,004809791
15	288	0,005049934
20	293	0,005293258
25	298	0,005539551
30	303	0,005788609
35	308	0,006040233
40	313	0,006294234
45	318	0,006550424
50	323	0,006808628
55	328	0,007068672
60	333	0,007330393
65	338	0,007593632
70	343	0,007858236
75	348	0,008124061
80	353	0,008390967

Se observa en el cuadro 9 que la constante de velocidad de reacción (K) aumenta de acuerdo al incremento de la temperatura, lo cual corrobora el resultado del análisis estadístico.

4.5.2. Simulación de la formación de peróxidos en almacenamiento a diferentes temperaturas.

La finalidad de las pruebas aceleradas es obtener información respecto al deterioro en menos tiempo en que habitualmente ocurriría, en el caso de los aceites y grasas los factores de deterioro de mayor incidencia son la luz y la temperatura, en este estudio se evaluó el efecto de la temperatura, manteniéndose todas las muestra dentro de los envases que lo protege de la luz (papel aluminio).

La simulación del deterioro por oxidación del aceite crudo de palma en función del índice de peróxidos a las posibles temperaturas reales de almacenamiento se muestra en el Cuadro 10.

Según ZAPATA (2013), la estabilidad oxidativa del aceite de almendra de Choiba, fueron almacenadas bajo condiciones aceleradas de oxidación a 50°C, se tomaba muestras diariamente, los cambios significativos en el proceso de oxidación se presentó a los 6 días; presentando un valor de peróxido de 12,5 encontrándose en el rango permitido (0-15 meqO₂/g aceite) por la AOAC y el Codex Stan 210-1999, para aceites y grasas vírgenes. De acuerdo a lo obtenido en la simulación, a 15 días a 30°C tenemos 14,5053 IP, lo que indica que el aceite crudo de palma a mayor temperatura y almacenamiento prolongado se deteriorara la estabilidad oxidativa.

Cuadro 10. Simulación de la formación de peróxidos a posibles temperaturas reales de almacenamiento.

Formación de peróxidos simulado (meq O ₂ /kg)						
Días	Horas	10°C	30°C	50°C	70°C	80°C
0	0	1,8051	1,8051	1,8051	1,8051	1,8051
1	24	2,0260	2,0741	2,1255	2,1798	2,2078
2	48	2,2739	2,3833	2,5029	2,6322	2,7004
3	72	2,5521	2,7385	2,9471	3,1785	3,3028
4	96	2,8644	3,1466	3,4703	3,8382	4,0396
5	120	3,2149	3,6156	4,0863	4,6349	4,9408
6	144	3,6083	4,1544	4,8117	5,5968	6,0431
7	168	4,0498	4,7736	5,6659	6,7585	7,3913
8	192	4,5453	5,4851	6,6717	8,1613	9,0402
9	216	5,1015	6,3026	7,8560	9,8552	11,0570
10	240	5,7257	7,2419	9,2506	11,9006	13,5238
11	264	6,4263	8,3212	10,8927	14,3707	16,5408
12	288	7,2126	9,5614	12,8263	17,3534	20,2310
13	312	8,0952	10,9864	15,1032	20,9552	24,7444
14	336	9,0857	12,6239	17,7843	25,3045	30,2647
15	360	10,1975	14,5053	20,9413	30,5566	37,0165
16	384	11,4453	16,6672	24,6587	36,8988	45,2746
17	408	12,8457	19,1513	29,0360	44,5573	55,3751
18	432	14,4175	22,0056	34,1903	53,8054	67,7289
19	456	16,1817	25,2853	40,2597	64,9730	82,8388
20	480	18,1617	29,0538	47,4064	78,4585	101,3196

4.6. Evaluación de Índice de deterioro de la Capacidad de Blanqueo (DOBI) en espectrofotómetro (269 nm – 446 nm)

4.6.1. Parámetros cinéticos de evaluación de DOBI.

El resultado de la evaluación del Índice de deterioro de la Capacidad de Blanqueo a 269 nm y 446 nm se muestra en la Figura 14 y el Cuadro 11.

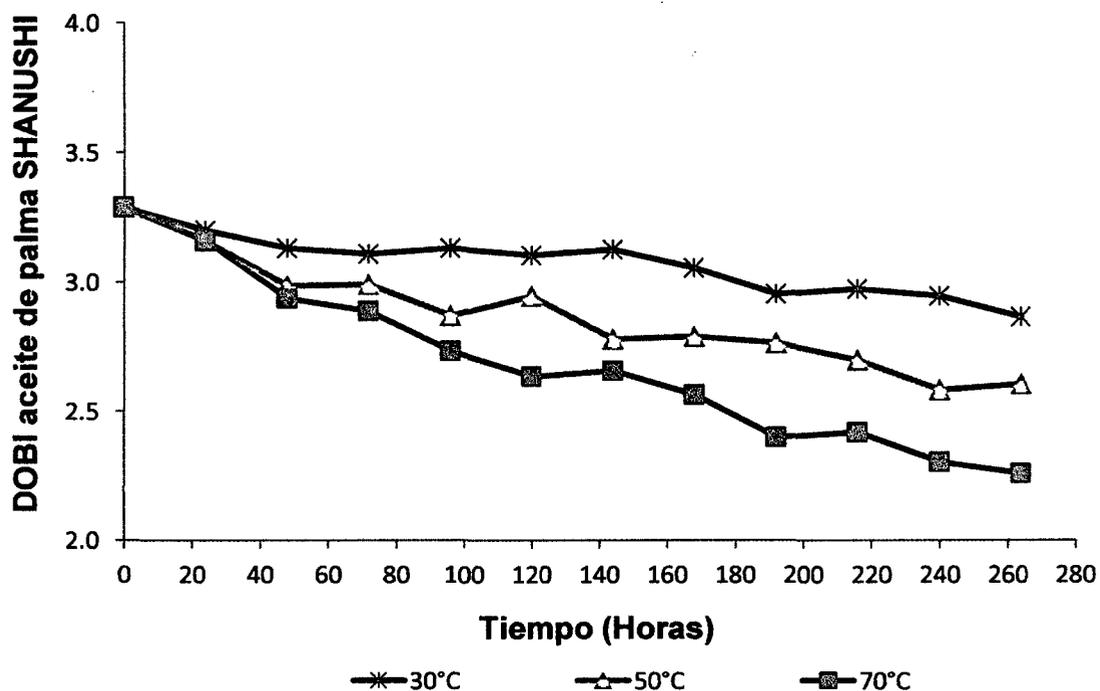


Figura 14. Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo en almacenamiento a diferentes temperaturas, para el aceite crudo de palma.

Cuadro 11. Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo en almacenamiento a diferentes temperaturas, para el aceite crudo de palma.

Tiempo (horas)	Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo (DOBI)		
	30°C	50°C	70°C
0	3,2895	3,2895	3,2895
24	3,1999	3,1596	3,1610
48	3,1313	2,9860	2,9373
72	3,1100	2,9925	2,8892
96	3,1315	2,8723	2,7343
120	3,1035	2,9482	2,6364
144	3,1264	2,7806	2,6571
168	3,0558	2,7892	2,5631
192	2,9535	2,7643	2,3985
216	2,9740	2,6988	2,4192
240	2,9468	2,5828	2,3044
264	2,8658	2,6060	2,2592

Según URUETA (2007), la absorbancia es una relación logarítmica entre la intensidad de luz con una longitud de onda específica que pasa a través de una muestra y la intensidad de luz incidente (antes de entrar a la muestra). Una alta presencia de carotenos es sinónimo de frescura y de un estado óptimo de madurez del fruto de palma (446 nm). Una alta presencia de compuestos carbonílicos es señal de un aceite de palma muy deteriorado por oxidación (269 nm). Con una calidad de DOBI > 3 son de excelente calidad, de 2-3 regular, 2-1 malo y < 1 muy malo.

Los datos del Cuadro 11, se ajustaron a los modelos de cinética de orden 0, 1 y 2, el resultado de los valores de velocidad de reacción (k) para las diferentes temperaturas y orden de reacción se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Constante de velocidad de reacción (K) de la evaluación DOBI, del aceite crudo de palma.

Temperatura. T °C	Orden Cero		Orden Uno		Orden Dos	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
30	0,00131493	0,9005	0,00042878	0,9001	0,00013996	0,8988
50	0,00237154	0,9236	0,00081985	0,9336	0,00028441	0,9406
70	0,00373176	0,9587	0,00137709	0,9727	0,00051252	0,9805

El orden de reacción para la evaluación del Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo es de orden dos. Con los valores K corresponden al orden dos se ajusta a la ecuación de Arrhenius, se muestra en la Figura 15.

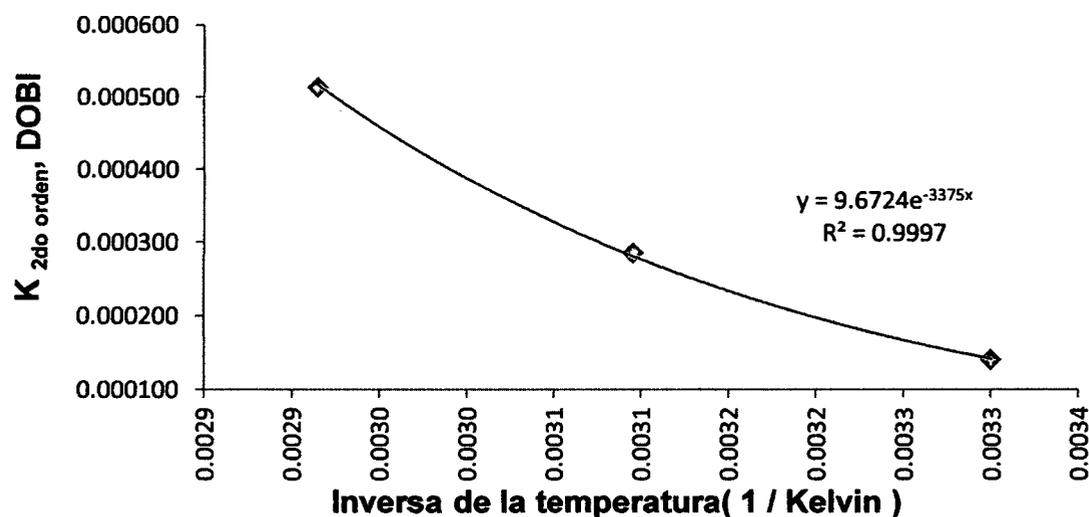


Figura 15. Constante de velocidad de reacción (K) del Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Con la ecuación regresionada de la Figura 15, se determinó la Energía de activación $E_a = 6,7066$ Kcal/mol.

En el Cuadro 13 se presenta los parámetros de cinética de DOBI

Cuadro 13. Parámetros de cinética de DOBI

Índice reacción	K_o (meq O_2 /kg)	E_a (Kcal/mol)
Segundo orden	9,6724	6,7066

4.7. Evaluación del color (Lovibond)

4.7.1. Determinación de los parámetros cinéticos de evaluación de color.

El resultado de la evaluación del color del aceite crudo de palma se muestra en la Figura 16 y el Cuadro 14.

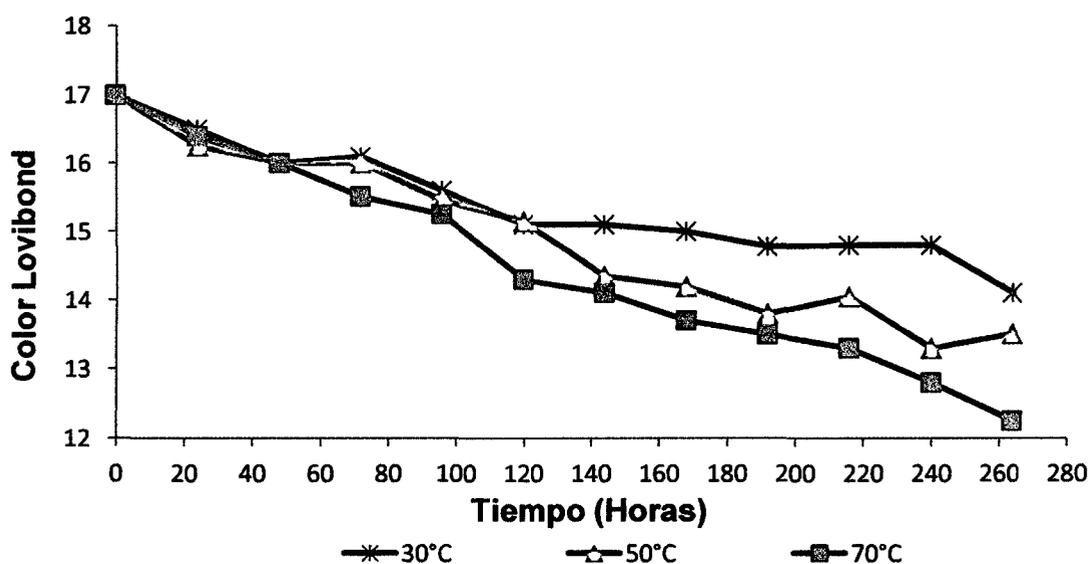


Figura 16. El color del aceite crudo de palma en almacenamiento a diferentes temperaturas.

Cuadro 14. El color del aceite crudo de palma en almacenamiento a diferentes temperaturas.

Tiempo (horas)	Color (Lovibond)		
	30°C	50°C	70°C
0	17,0000	17,0000	17,0000
24	16,5000	16,2500	16,4000
48	16,0000	16,0000	16,0000
72	16,1000	16,0000	15,5100
96	15,6000	15,4500	15,2500
120	15,1000	15,1500	14,3000
144	15,1000	14,3500	14,1000
168	15,0000	14,2000	13,7000
192	14,7800	13,8000	13,5000
216	14,8000	14,0500	13,3000
240	14,8000	13,3000	12,8000
264	14,1000	13,5100	12,2500

Según ZAVALA y CASTILLO (2008), la mayor parte el color característico de las grasas y aceites es, predominante, una mezcla de amarillo y rojo. En las muestras obtenidas, el aceite crudo de palma presentó color rojo, la temperatura y almacenamiento fue degradándolo el color. Los datos del Cuadro 13, se ajustaron a los modelos de cinética de orden 0, 1 y 2, el resultado de los valores de velocidad de reacción (k) para las diferentes temperaturas y orden de reacción se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Constante de velocidad de reacción (K) de la evaluación del Color, del aceite crudo de palma.

Temperatura. T °C	Orden Cero		Orden Uno		Orden Dos	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
30	0,00932401	0,9188	0,00060127	0,9244	0,00003885	0,9284
50	0,01371503	0,9547	0,00091598	0,9575	0,00006138	0,9585
70	0,01725670	0,9841	0,00118859	0,9881	0,00008236	0,9880

El orden de reacción para la evaluación del color es de orden dos.

Con los valores K corresponden al orden dos se ajusta a la ecuación de Arrhenius, el cual se muestra en la Figura 17.

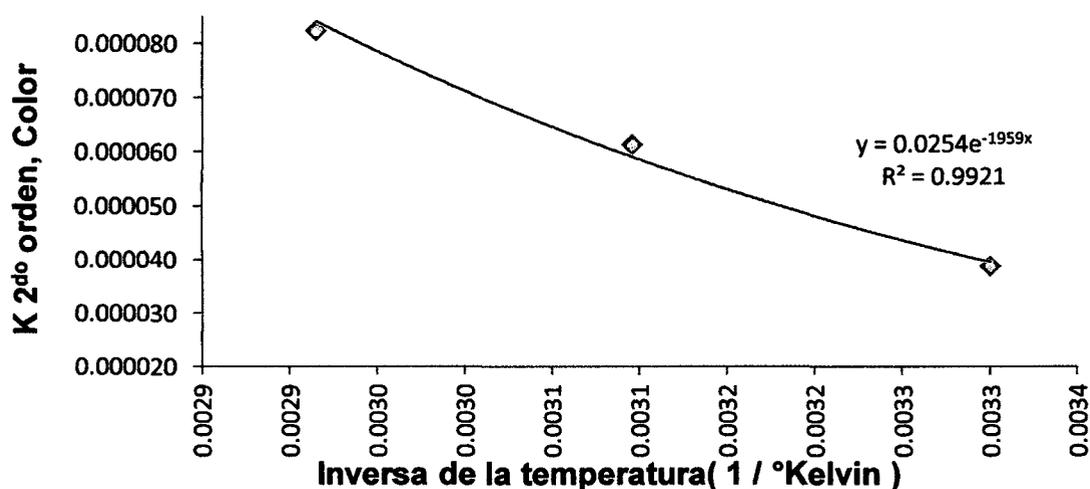


Figura 17. Constante de velocidad de reacción (K) de formación del color, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Con la ecuación regresionada de la Figura 17, se determinó la Energía de activación $E_a = 3,8928$ Kcal/mol.

En el Cuadro 16, se presentan los parámetros de cinética de DOBI

Cuadro 16. Parámetros de cinética de DOBI

índice reacción	Ko (meq O₂/kg)	Ea (Kcal/mol)
Segundo orden	0,0254	3,8928

V. CONCLUSIONES

- La parámetros de cinética de deterioro del aceite crudo de palma son; para el índice de peróxido: orden de reacción 1 con $R^2=0,9673$, $K_0=0,0796$, $E_a=1,5782$ Kcal/mol; para el DOBI: orden de reacción 2 con $R^2=0,9400$, $K_0=9,6724$, $E_a =6,7066$ Kcal/mol y para el color: orden de reacción 2 con $R^2=0,9583$, $K_0=0,0254$, $E_a =3,8928$ Kcal/mol.
- Los valores de la constante de velocidad de reacción de formación de peróxidos del aceite crudo de palma, simulados fueron: $K_{30^\circ\text{C}}=0,005788609$ meq O_2 /hora, para $K_{50^\circ\text{C}}=0,006808628$ meq O_2 /hora y para $K_{70^\circ\text{C}}=0,007858236$ meq O_2 /hora.
- El tiempo simulado para llegar aproximadamente a 15 meq O_2 /kg que es la norma establecido por la AOAC y el Codex Stan 210-1999, para aceites y grasas vírgenes, es: a 10°C , 432 horas (IP = 14,4175), para 30°C , 360 horas (IP=14,5053), para 50°C , 312 horas (IP=15,1032), para 70°C , 264 horas (IP=14,3707) y para 80°C , 240 horas (IP=13,5238).

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre la reducción de aire y efecto de la luz, en el aceite crudo de palma antes y después de someterlos a diferentes temperaturas de almacenamiento.
- Evaluar la viscosidad del aceite crudo de palma antes y después de someterlo a diferentes temperaturas.
- A la empresa Industria del Shanusi, usar los parámetros de cinética para predecir la formación de peróxidos, DOBI y color a las temperaturas de almacenamiento y comercialización.
- Realizar estudios sobre el grado de oxidación de la cantidad de catalizadores de oxidación (metales pesados) durante la extracción del aceite crudo de palma.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADACHI, S.; ISHIGURO, T.; MATSUNO, R. 1995. Autoxidation kinetics for fatty acids and their esters. *Journal of American Oil Chemistry Society.*, 72, 547-551
- AOAC. 1995 Official Methods of analysis of the association of official analytical chemists. EEUU. 1: 41 – 53.
- AMATLLER, G.; DAVILA, A. 2000. Procesamiento de aceite rojo de palma africana (*elaeis guineensis jacq*) para consumo humano en frituras. Tesis Ing. Agrónomo. Guacimo, Costa Rica. p 21-29.
- APARICIO, R.; HARWOOD, J. 2003. Manual de aceite de oliva. 1era edición. AMV Ediciones. Mundi Prensa. Madrid – España.
- AYAR, A. 2001. Estabilidad de la grasa y efecto en los extractos de soya, Rosemary y orégano.
- ALVARADO, J. 1996. Principios de ingeniería a alimentos. Secretaria general de la OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y tecnológico. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- ARBELOA, P. 2004 Arquitectura de redes, sistemas y servicios, Universidad Pública de Navarra.
- BARRERA, D. 1998. Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. p 55-63.

- BARRERO, J. 2006. Estimación de la huella hídrica de un cultivo de palma aceitera para la producción de biodiesel en el municipio de Codazzi. Tesis Ing. Agroindustrial. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. p 19.
- BELTRAN, C. 1991. Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite. Revista palmas, número especial. p. 102-107.
- BOCKISCH, M. 2008. Composición, estructura, datos físicos y reacciones químicas de las grasas y los aceites, sus derivados y productos asociados. A&G. 70(2): 152 – 165
- FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acibia S.A. Zaragoza. Impreso en España.
- GARCIA, C.; MOLINA, M. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. Costa rica
- GUARDIOLA, F. 2002. Cholesterol and phytosteroloxidationproducts: analysis, occurrence, and biological effects. AOCS. Londres, Inglaterra. p.70.
- GIRAUDIO, M.; ALDERETE, J; MONTESANO, J.; GARCIA, D. y MENENDEZ, J. 2008. Integrantes de emulsiones alimenticias. Aceites y grasas. A&G. Colombia. 74(2): 100 – 124
- HUNTER LAB.2001. Principios básicos de medida y percepción de color información técnica HUNTER LAB.
- LABUZA, T. 2000. Accelerated shelf life testing of foods technology. 39 (9): 57.
- LABUZA, T. ; RIBOH, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to prediction of nutrient losses in food. FoodTechnology. 36(10): 66.

- LUNA, G. 2007. Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (*crescentialatahbk*) proveniente de las regiones de estanzuela, zacapa y san agustinacasaguastlán, el progreso. Tesis de Ingeniero Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. p 70 - 72.
- MAYCOCK, J. 1995. Manejo de la calidad del aceite de palma en las plantas extractoras de Malasia. Desarrollo de aceite de palma. v.16. p. 9-12.
- MORENO, A. 2002. Determinación de la estabilidad del aceite crudo y semi-refinado de la semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sometido a temperaturas variables de almacenamiento. Tesis en Industrias Alimentarias. Molina, Lima. Universidad Nacional Agraria la Molina. p.109.
- NUÑEZ, L.; RAMIREZ, O. 2004. Aplicación y evaluación de los efectos de campos magnéticos en el rendimiento de la extracción de aceite crudo de palma. Tesis de Ingeniero Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. p 15.
- PATTERSON, H. 1989. Handling and storage of oilseeds, oils, fats and meal. Editorial Elsevier. Nueva York, U.S.A. 394 p.
- PEIXOTO, H. 1986. 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. Ed FAO. Valledupar. Colombia. 213 p.
- POTTER, N. 1973. La ciencia de los alimentos. Ed. EDUTEX. México D.F. México. 749 p.

- QUESADA, H. 2000. Cultivo e industria de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). El Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. [En línea] http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_palma.pdf
- QUESADA, G. 1998. Cultivo e industria de la palma aceitera (*elaeis guineensis*). Ed. Infoagro. San Jose, Costa Rica. p 67.
- RINCÓN, S.; MARTINEZ, D. 2009. Analisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. Revista palmas. V.30, n.2. p. 11-24.
- RUEDA, R. 2011. Evaluación del tiempo postcosecha sobre la actividad lipásica del mesocarpio del fruto de la palma de aceite y la calidad del aceite. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. p 30.
- SALAZAR, E. 2007. Cinética de deterioro del aceite de la semilla de la palma coroba (*attaleamaripa*). Ciencias básicas y tecnología. Venezuela. 19 (2).
- SALAZAR, E.; BELEN, D. 2004. Características fisicoquímicas del aceite de la semilla de la coroba (*jessenia polycarpa karst*). Universidad de oriente. v.55. p. 423-427
- SAGUY, I.; KAREL, M. 1985. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. Food Technology. 34(2): 78.
- TAN, Y.; AINIC, K.; SLEW, W.; MOHTAR, Y.; CHONG, C. 2000. Estudio del PORIM sobre el aceite crudo de palma crudo 97/98. Característica de calidad e identidad. PORIM Technology. V.21 n4. p. 39-56
- TARIFA, E. 2000. Teoría de modelos y simulación, Universidad Nacional de Jujuy.

- TORRES, J. 2003. Determinación de la estabilidad del aceite de girasol coloreado con achiote mediante pruebas aceleradas. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Lima – Perú.
- TORRES, A.; GUERRA, M.; ROSQUETE, Y. 2001. Estimación de la vida útil de una fórmula dietética en función de la disminución de lisina disponible. *Ciencia y Tecnología de Alimentos, Brasil*, 21(2).
- URUETA, C. 2007. Implementación del DOBI como parámetro de calidad en extractoras de aceite de palma. *Revista Palmas*. V.28. p.143-148.
- VELÁZQUEZ, J.; GÓMEZ. 2010. Palma Africana en Tabasco. Resultados de investigación. Tabasco, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. p 13.
- ZAPATA, A. 2013, Potencial nutracéutico del aceite de la almendra de choibá o almendro de montaña (*Dipteryx oleifera* Benth.). *Revista cubana de plantas medicinales*. v.18 n.3. p. 368-380.
- ZAVALA, F.; CASTILLO, F. 2008. Obtención del aceite virgen de la semilla de ajonjolí. Tesis de Ingeniero químico. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. P. 1-122.
- ZILLER, S. 1996. *Grasas y aceites alimentarios*. Acribia. Zaragoza, España. p 71.

ANEXO

ANEXO 1

Análisis de varianza del efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la formación de peróxidos, en el aceite crudo de palma.

Fuente	S.C	GI	C.M	Razón-F	P_{valor}
Efectos Principales					
A:Tiempo	558,738	11	50,7944	41	0,0000
B:Temperatura	120,622	2	60,311	48,68	0,0000
Residuos	71,8509	58	1,23881		
Total (corregido)	751,211	71			

ANEXO 2

Índice de Deterioro de la Capacidad de Blanqueo (DOBI), por el método de Tirtiaux.

Definición

DOBI es el análisis que determina el deterioro a la blanqueabilidad del aceite crudo, el cual será sometido al proceso de blanqueo y refinación.

Fundamento

Esta propiedad determina el grado de oxidación de un aceite debida al exceso de temperatura y oxígeno. Los aceites oxidados son difíciles de blanquear (o no son blanqueables dependiendo el estado de la oxidación), ya que los carotenos y los tocoferoles se han degradado y el aceite toma un color marrón opaco. El DOBI se define como el radio de absorbancia entre 446nm y 269nm.

Materiales: reactivo y equipo

Se realiza en un espectrofotómetro, usando celdas de 10 mm de espesor e Isooctano (C_8H_{18}).

Procedimiento

- Pesar en una fiola de 25 mL entre 0,08 y 0,15 g de muestra, con una precisión hasta la cuarta cifra decimal en la balanza analítica
- Disolver el aceite en Isooctano y aforar

- Llenar una de las celdas con la disolución del aceite y la otra con el Isooctano.
- Realizar lecturas de absorción en el Espectrofotómetro a longitudes de onda 446 nm. y 269 nm.

Cálculos

$$D = A_{446} / A_{269}$$

Dónde:

$$D = \text{Dobi}$$

$$A = \text{Lecturas de absorción a 446 y 269}$$

Los resultados de DOBI se pueden interpretar de la siguiente forma:

De 4 a 3 Bueno

De 3 a 2 Regular

De 2 a 1 Malo

Menores a 1 Muy malo

Precauciones con el reactivo

- El Isooctano es altamente inflamable por lo que se debe trabajar en ambientes con ventilación natural o forzada y lejos de las fuentes de calor.
- El Isooctano es altamente volátil, evitar respirar los vapores y el contacto con la piel y los ojos.

ANEXO 3

Determinación del color del aceite crudo de palma (Lovibond).

Definición

El aceite crudo de palma exhibe un intenso color rojo – naranja debido a su alto contenido de carotenos (0.05-0.2 %), que son poderosos antioxidantes.

Materiales y equipo

- Lovibond electrónico automático
- Celda de ½ "

Procedimiento y cálculo

Para este análisis se utiliza un equipo electrónico automático el cual tiene grabado los rangos de colores. Así se determina el color igualando con el color de luz transmitida a través de una profundidad específica de aceite y grasas líquidas, con el color de la luz que se origina en la misma fuente, transmitida a través de los estándares de color Lovibond. Usar celda de ½ " para aceite crudo.