



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



**“ESTABILIDAD OXIDATIVA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL  
ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum usitatissimum*)  
PROCEDENTES DE CORONGO Y OTUZCO, EXTRAÍDO POR  
PRENSADO EN FRÍO”**

**TESIS PRA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES:**

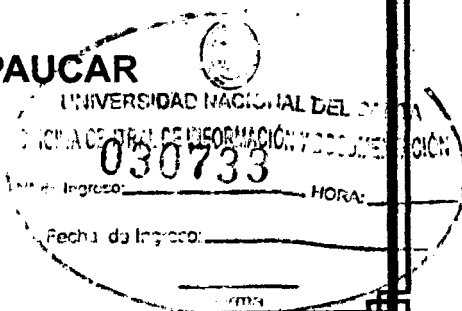
**Br. JOHN OSCAR ARIAS NUÑUVERO**  
**Br. NELLY AURORA LÓPEZ CARRANZA**

**ASESOR:**

**Dr. GILBERT NILO RODRIGUEZ PAUCAR**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**

**2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AGROINDUSTRIAL**



**“ESTABILIDAD OXIDATIVA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL  
ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum usitatissimum*)  
PROCEDENTES DE CORONGO Y OTUZCO, EXTRAÍDO POR  
PRENSADO EN FRÍO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**REVISADO POR:**

---

**Dr. GILBERT NILO RODRIGUEZ PAUCAR**  
**ASESOR**


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AGROINDUSTRIAL



**“ESTABILIDAD OXIDATIVA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL  
ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum usitatissimum*)  
PROCEDENTES DE CORONGO Y OTUZCO, EXTRAÍDO POR  
PRENSADO EN FRÍO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:  
EL 17 DE MARZO DEL 2015



---

**Dr. LUZ PAUCAR MENACHO**  
**PRESIDENTE**



---

**Dr. GILBERT RODRIGUEZ PAUCAR**  
**INTEGRANTE**



---

**ING. VICENTE CARRANZA VARAS**  
**SECRETARIO**

# **DEDICATORIA**

## **A Dios**

Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más y permitirme lograr mis objetivos.

## **A mis Padres**

Por su apoyo incondicional en cada uno de los momentos de mi vida, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad

## **A mis Hermanos**

Por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y por el apoyo que me brindaste para culminar mi carrera profesional.

## **A mis maestros**

Por los conocimientos brindados y la orientación, pues sin el apoyo de ellos no hubiera sido posible culminar la investigación.

## **A mis amigos**

Darwin, Jesús, Enrique, Eudes por su apoyo, orientación, paciencia, sus consejos.

**JOHN OSCAR**

### **A Dios**

Quien me dio la fe, fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo y regalarme cada maravilloso día para cumplir cada una de mis metas.

### **A mis Padres**

Leoncio y Tomasa, pilares fundamentales en mi vida, quienes han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

### **A mis Hermanos**

Denis, Atilio, Rosa, por su apoyo incondicional y gracias por los consejos que me ha permitido ser una persona de bien y por el apoyo que me brindan para culminar mi carrera profesional.

### **A mis sobrinos**

Matias, Luana y Cecilia a quienes adoro y llenan mi vida de alegrías.

### **A mis maestros**

A quienes les debo gran parte de mis conocimientos, que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional; gracias por su paciencia y enseñanza.

### **A mis amigos**

Quienes de una u otra forma han contribuido y participado para alcanzar la meta trazada, ya que con su ayuda esta se hizo más fácil.

**NELLY AURORA**

## **AGRADECIMIENTO**

Me complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la **Universidad Nacional del Santa**, en la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesto de manifiesto en las aulas enrumban a cada uno de los que acudimos con sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

Al **DR. DAMIAN MANAYAY SANCHEZ**, por sus orientaciones, motivación, colaboración y conocimiento impartidos durante la primera parte del proceso de la presente tesis; dedicación y empeño al realizar su trabajo, y porque al ver ese ejemplo nosotros nos sentimos motivados para seguir esa línea profesional.

Al **Dr. Gilbert Rodríguez Paucar**, por su confianza, colaboración y conocimiento impartidos durante el proceso de la presente tesis; por toda su paciencia y labor realizada durante nuestra formación profesional y por el tiempo brindado para que se haga posible la presente tesis.

Al **Mg. Augusto Castillo Calderón**, por su dedicación y empeño al realizar su trabajo, y brindarnos una enseñanza de calidad para la innovación y la mejora continua, por cada momento inolvidable y entrañable que vivimos en las aulas.

A nuestros padres que nos acompañaron en esta aventura, de forma incondicional, entendiendo nuestras ausencias y malos momentos.

Gracias a todos.

**JOHN Y NELLY**

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. SEMILLA DE LINO	3
2.1.1. Tipos de Semilla de Lino	3
2.1.2. Historia y Procedencia	4
2.1.3. Producción	4
2.1.4. Composición Química de la Semilla de Lino	4
2.1.4.1. Ácidos grasos	5
2.1.4.2. Lípidos	7
2.1.4.3. Fibra Dietética	7
2.1.4.4. Fibra Soluble e Insoluble de la Semilla de Lino	9
2.1.4.5. Lignanos	9
2.1.4.6. Proteínas	10
2.1.4.7. Hidratos de Carbono	10
2.1.4.8. Compuestos Bioactivos de la Linaza y Beneficios de su Consumo	10
2.1.5. Beneficios para la Salud	13
2.2. ACEITES	14
2.3. ACEITES COMESTIBLES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS	14
2.4. COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES	15
2.4.1. Componentes Mayoritarios	16



	Pág.
2.4.1.1. Ácidos grasos	17
2.4.2. Componentes Minoritarios	19
2.4.2.1. Isoprenoides	19
2.4.3. Compuestos Fenólicos	24
2.4.3.1. Flavonoides	25
2.4.3.2. Pigmentos	28
2.4.4. Componentes Volátiles	29
2.5. ACEITE DE SEMILLA DE LINO	30
2.5.1. Composición Química	30
2.5.1.1. Ácidos Grasos	30
2.6. PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE ACEITES VEGETALES	32
2.7. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DE LOS COMPONENTES MENORES DE ACEITES VEGETALES VÍRGENES	33
2.8. METODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS OLEAGINOSAS	34
2.8.1. Digestión Mecánica o por prensado	34
2.8.2. Extracción por Solventes	36
2.9. ACEITES VEGETALES VÍRGENES VS ACEITES VEGETALES REFINADOS	39
2.10. CINÉTICA DEL DETERIORO DE LOS ALIMENTOS Y PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL	40
2.10.1. Reacción de Orden Cero	42
2.10.2. Reacción de Primer Orden	43
2.10.3. Efecto de la Temperatura	43
2.11. CINÉTICA DEL DETERIORO DE LOS ACEITES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS	45
2.11.1. Radicales Libres	46
2.11.1.1. Fuente de los Radicales Libres	47
2.11.1.2. Toxicidad de los Radicales Libres	47
2.11.2. Oxidación de Aceites Vegetales Vírgenes	48
2.11.3. Proceso de Oxidación de Lípidos	50
2.11.4. Mecanismos de Oxidación de Lípidos: Tradicional Cadena de los Radicales Libres	51

	Pág.
2.11.4.1. Iniciación (LH→L*)	51
2.11.4.2. Propagación y Ramificación	52
2.11.4.3. Terminación del Proceso	61
2.12. ESTABILIDAD OXIDATIVA	75
2.12.1. Relación empírica entre el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) y la temperatura	75
2.13. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE AUTOOXIDACIÓN LIPÍDICA	77
2.14. METODOS PARA DETERMINAR EL PROGRESO DE LA OXIDACIÓN Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DE UN ACEITE VEGETAL	79
2.15. LA IMPORTANCIA DE LAS GRASAS Y ACEITES	84
2.16. MERCADO MUNDIAL DE ACEITES	84
III. MATERIALES Y METODOS	86
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	86
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	86
3.2.1. Materia Prima	86
3.2.2. Reactivos	86
3.2.3. Material de Laboratorio	87
3.2.4. Equipos	88
3.3. METODOLOGÍA DE ANALISIS	89
3.3.1. Análisis Físicos y Químicos de las Semillas de Lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	89
3.3.2. Extracción del Aceite Virgen por Prensado en Frio	91
3.3.2.1. Materia Prima	91
3.3.2.2. Limpieza	91
3.3.2.3. Pesado	92
3.3.2.4. Prensado	92
3.3.2.5. Centrifugación del Aceite Virgen Extraído	94
3.3.2.6. Almacenamiento del Aceite Clarificado	95
3.3.3. Análisis Físicos y Químicos del Aceite de Semillas de Lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	97

	Pág.
3.3.4. Estabilidad Oxidativa	99
3.3.4.1. Índice de Estabilidad Oxidativa	99
3.3.4.2. Determinación de la Vida Útil	100
3.3.5. Composición de Ácidos Grasos	100
3.4. Diseño Experimental	104
3.4.1. Análisis Físicos y Químicos de Semillas y Aceites de Lino (Linum Usitatissimum)	105
3.4.2. Estabilidad Oxidativa	105
3.4.3. Composición de Ácidos Grasos	108
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	109
4.1. ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum)	109
4.2. ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum)	112
4.2.1. Efecto sobre el Color	115
4.3. COMPOSICION DE ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum)	117
4.4. COMPORTAMIENTO DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum) EN LA PRUEBA RANCIMAT	123
4.5. TENDENCIA DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y DEL FLUJO DE AIRE	131
4.6. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL	134
4.7. ANALISIS DEL PERFIL LIPIDICO DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum) DESPUÉS DEL TEST RANCIMAT	139
4.7.1. PERFIL LIPIDICO DEL ACEITE DE LINO DE CORONGO DESPUÉS DEL TEST RANCIMAT	140
4.7.2. PERFIL LIPIDICO DEL ACEITE DE LINO DE OTUZCO DESPUÉS DEL TEST RANCIMAT	141
V. CONCLUSIONES	143
VI. RECOMENDACIONES	145
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
VIII. ANEXOS	152

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Semillas de Lino amarilla y café oscuro	3
Figura 02. TAG=triacilglicérido	16
Figura 03. Estructura molecular de un ácido graso	17
Figura 04. Estructura molecular del ácido graso oleico	18
Figura 05. Ácido linoleico y linolénico	19
Figura 06. Estructura molecular de los tocoferoles	21
Figura 07. Estructura molecular de los tocotrienoles	21
Figura 08. Estructura química de algunos fitoesteroles y fitoestanoles	23
Figura 09. Estructura del isopreno	24
Figura 10. Estructura básica de una molécula de flavonoides	26
Figura 11. Biosíntesis de flavonoides	27
Figura 12. Esquema de un proceso típico para la extracción de aceites por prensado	35
Figura 13. Esquema de un proceso típico para la extracción con disolventes	37
Figura 14. Oxidación de Lípidos Limitada	52
Figura 15. Reacción Clásica en cadena de los radicales libres de la oxidación de lípidos	54
Figura 16. Expansión de la reacción en cadena de la oxidación de lípidos por ramificación de cadena	55
Figura 17. Hidrólisis Concertada del Enlace de Hidrógeno de los Hidroperóxidos	56
Figura 18. Reacción de un Radical y un Hidroperóxido	57
Figura 19. Enlaces de C-H y -CH <sub>2</sub> -	58
Figura 20. Sistema de Resonancia Estabilizado de Doble Enlace	59
Figura 21. Distribuciones de electrones de resonancia y ubicaciones correspondientes de hidroperóxidos	60
Figura 22. Extracción de Hidrógeno	61
Figura 23. Algunas de las recombinaciones más importantes responsables de los principales productos de la oxidación de lípidos	63
Figura 24. Reacciones de escisión de LO*	65

Figura 25. Efectos de oxígeno y la temperatura en los procesos de terminación en la oxidación de lípidos	66
Figura 26. Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación de ácido linolénico y mayores	67
Figura 27. Vías de escisión para el ácido oleico	70
Figura 28. Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación de ácido oleico	70
Figura 29. Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación con enlaces dobles conjugados	70
Figura 30. Vías de escisión para el ácido linoleico	71
Figura 31. Hidrógenos extraíbles de los grupos amino de la cadena lateral	72
Figura 32. Hidrógenos extraíbles de los grupos tiol	72
Figura 33. Vías de escisión para el ácido linolénico	73
Figura 34. Producto desaturado con un doble enlace adicional	74
Figura 35. Dimensiones Características de las semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> ) de la Provincia de: a) Corongo    b) Otuzco	89
Figura 36. Semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> ) de la Provincia de Otuzco	91
Figura 37. Pesado de las Semillas de lino	92
Figura 38. Extracción del aceite de Semillas de lino con un sensor de Temperatura	93
Figura 39. Obtención de la Torta Residual	93
Figura 40. Centrifugación del aceite virgen extraído	94
Figura 41. Frascos de vidrio con aceite de semillas de lino	95
Figura 42. Refrigerador (lugar de almacenamiento)	95
Figura 43. Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Aceite de semilla de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	96
Figura 44. Diagrama de flujo Determinación De Ácidos Grasos	103
Figura 45. Diagrama de flujo del proceso experimental para la determinación del Índice de Estabilidad Oxidativa y Perfil de Ácidos Grasos del Aceite semilla de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	104
Figura 46. Ácidos Grasos del Aceite de Semilla de Lino procedentes de	

	Pág.
Corongo y Otuzco	118
Figura 47. Cromatografía de gases análisis del aceite de semilla de lino (Linum Usitatissimum) de Corongo	119
Figura 48. Cromatografía de gases análisis del aceite de semilla de lino (Linum Usitatissimum) de Otuzco	119
Figura 49. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 90°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de Semilla de Lino procedente de Corongo,	125
Figura 50. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 110°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de Semilla de Lino procedente de Corongo	126
Figura 51. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 130°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de Semilla de Lino procedente de Corongo	127
Figura 52. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 90°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de Semilla de Lino procedente de Otuzco,	128
Figura 53. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 110°C y a flujo de aire de 15 y 20, Semilla de Lino procedente de Otuzco,	129
Figura 54. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 130°C y a flujo de aire de 15 y 20, Semilla de Lino procedente de Otuzco,	130
Figura 55. Gráfico de OSI vs Temperatura - Flujo de aire	131
Figura 56. Gráfico de OSI vs Temperatura – Procedencia de la semilla	131
Figura 57. Interacción del índice de estabilidad oxidativa	132
Figura 58. Efectos Principales para el Índice de Estabilidad Oxidativa	132
Figura 59. Gráficos de Regresión Lineal Logaritmo OSI y Temperatura (Corongo) a)15 L/H b) 20 L/H	135
Figura 60. Gráficos de Regresión Lineal Logaritmo OSI y Temperatura (Otuzco) a) 5 L/H b) 20 L/H	136
Figura 61. Análisis del Perfil Lípidico del Aceite de Lino de Corongo, después del Test Rancimat	140

	Pág.
Figura 62. Análisis del Perfil Lípidico del Aceite de Lino de Corongo, antes y después del Test Rancimat	140
Figura 63. Análisis del Perfil Lípidico del Aceite de Lino de Otuzco, después del Test Rancimat	141
Figura 64. Análisis del Perfil Lípidico del Aceite de Lino de Otuzco, antes y después del Test Rancimat	141

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Tipos de Ácidos Grasos	6
Tabla 02. Composición Aproximada de Semilla de Lino Basada en Medidas Comunes	12
Tabla 03. Composición Acídica de los principales aceites vegetales	15
Tabla 04. Composición Aproximada del Aceite de Semilla de Lino	32
Tabla 05. Composición Típica del Aceite de Semilla de Lino	36
Tabla 06. Reacciones de pérdida de calidad que siguen cinéticas de orden cero y primer orden	42
Tabla 07. Parámetros para el Análisis en la Cromatografía	102
Tabla 08. Experimento factorial DCA para la estabilidad oxidativa	106
Tabla 09. Experimento factorial DCA	107
Tabla 10. Experimento factorial DCA para el perfil de ácidos grasos	108
Tabla 11. Análisis Fisicoquímico de la semilla de Lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	110
Tabla 12. Análisis de Color de semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	110
Tabla 13. Análisis Fisicoquímico del aceite de semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	112
Tabla 14. Análisis del color del aceite de semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	115
Tabla 15. Composición de Ácidos Grasos de los Aceites de semillas de lino de Corongo y Otuzco	117
Tabla 16. Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) de Aceite de semillas de lino ( <i>Linum Usitatissimum</i> )	123
Tabla 17. Valores de regresión lineal A y B, sometidos al test Rancimat	134
Tabla 18. Valores de extrapolación de OSI a 25°C	137
Tabla 19. Análisis de Varianza (ANOVA)	138
Tabla 20. Análisis del Perfil Lipídico de Aceite de Lino después de del Test Rancimat	139



## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) Y Perfil de Ácidos Grasos en aceite virgen de semillas de *Linum Usitatissimum* (linaza) procedentes de las Provincias de Corongo y Otuzco (Perú), previamente extraído por presión en frío, clarificado por centrifugación y almacenado bajo atmósfera de nitrógeno, y en refrigeración. El OSI se determinó mediante la prueba acelerada de Rancimat, para ello se utilizaron  $3.0 \pm 0.1$  g de muestra, parámetros de temperatura (90, 110 y 130 °C) y flujo de aire (15, 20 L/h). Al aplicar el test de Rancimat, se pudo comprobar mediante el ANOVA ( $p < 0.05$ ) que la influencia de la temperatura y la procedencia de la semilla en el OSI fue altamente significativa, al igual que el flujo de aire que fue significativa.

Mediante el método de extrapolación, se calcularon los valores de OSI a temperaturas usuales de almacenamiento de aceites (25°C) obteniéndose tiempos de estabilidad de 159 y 134 días (Corongo) y 124 y 100 días (Otuzco).

La composición de ácidos grasos de los aceites estudiados se analizó mediante cromatografía de gases de acuerdo con las normas de AOAC. Se estudió dos procedencias de semilla Corongo y Otuzco, se pudo comprobar mediante el ANOVA ( $p < 0.05$ ) que la procedencia de la semilla en la composición de ácidos grasos no es significativa. Obteniéndose los siguientes valores para cada ácido graso: Linolénico ( $72.27 \pm 0.86$  % y  $73.30 \pm 0.40$  %), Linoleico ( $12.76 \pm 0.69$  % y  $13.61 \pm 0.43$  %), Oleico ( $9.29 \pm 1.71$  % y  $6.78 \pm 0.15$  %), Palmítico ( $3.41 \pm 0.32$  % y  $3.68 \pm 0.06$ ) y Esteárico ( $2.26 \pm 0.22$  % y  $2.13 \pm 0.03$  %); en aceite de semilla de lino procedentes de Corongo y Otuzco respectivamente.

Los análisis fisicoquímicos realizados fueron: índice de peróxido ( $0.05 \pm 0.01$  meqO<sub>2</sub>/kg y  $0.68 \pm 0.14$  meqO<sub>2</sub>/kg), acidez libre ( $0.36 \pm 0.04$ % y  $0.53 \pm 0.02$ %), índice de refracción ( $1.48 \pm 0.01$  y  $1.49 \pm 0.01$ ), índice de yodo ( $196.02 \pm 1.1$  g I<sub>2</sub>/kg y  $195.07 \pm 1.0$  g I<sub>2</sub>/kg), densidad ( $0.944 \pm 0.00$  g/cm<sup>3</sup> y  $0.943 \pm 0.00$  g/cm<sup>3</sup>), punto de fusión ( $107 \pm 0.00$  °C y  $107 \pm 0.00$  °C); en aceite de aceite de semilla de lino procedente de Corongo Y Otuzco respectivamente.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the oxidative stability index (OSI) and Fatty Acid Profile in virgin oil seed *Linum usitatissimum* (linseed) from the Provinces of Corongo and Otuzco (Peru), previously extracted by cold pressing, clarified by centrifugation and stored under nitrogen atmosphere and cooling. OSI was determined by the accelerated Rancimat test, for this  $3.0 \pm 0.1$  g of sample, temperature parameters (90, 110 and 130°C) and air flow (15, 20 L/h) were used. Applying the Rancimat test, it was found by ANOVA ( $p < 0.05$ ) than the influence of temperature and the source of the seed in the OSI was highly significant, as the air flow was significant. By extrapolation method, OSI values were calculated usual oil storage temperatures (25°C) to give 159 times stability and 134 days (Corongo) and 124 and 100 days (Otuzco).

The composition fatty acid of the oils studied was analyzed by gas chromatography according to method AOAC standards. Corongo seed from two sources and Otuzco, was studied it was found by ANOVA ( $p < 0.05$ ) than the origin of the seed in the composition fatty acid is not significant. Obtaining the following values for each fatty acid: Linolenic ( $72.27 \pm 0.86\%$  and  $73.30 \pm 0.40\%$ ), linoleic ( $12.76 \pm 0.69\%$  and  $13.61 \pm 0.43\%$ ), oleic ( $9.29 \pm 1.71\%$  and  $6.78 \pm 0.15\%$ ), palmitic ( $3.41 \pm 0.32$  and  $3.68 \pm 0.06\%$ ) and Stearic ( $2.26 \pm 0.22\%$  and  $2.13 \pm 0.03\%$ ); in linseed oil from Otuzco Corongo respectively.

The physicochemical analyzes were: peroxide ( $0.05 \pm 0.01$  meqO<sub>2</sub> / kg and  $0.68 \pm 0.14$  meqO<sub>2</sub> / kg), free acidity ( $0.36 \pm 0.04\%$  and  $0.53 \pm 0.02\%$ ), refractive index ( $1.48 \pm 0.01$  and  $1.49 \pm 0.01$ ), iodine ( $196.02 \pm 1.1$  I<sub>2</sub>g / kg and  $195.07 \pm 1.0$  I<sub>2</sub>g / kg), density ( $0.944 \pm 0.00$  g / cm<sup>3</sup> and  $0.943 \pm 0.00$  g / cm<sup>3</sup>), melting point ( $107 \pm 0.00^\circ\text{C}$  and  $107 \pm 0.00^\circ\text{C}$ ); in oil, linseed oil from Corongo and Otuzco respectively.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

La semilla de lino o más conocida como linaza, de la planta *Linum usitatissimum*, es usada para consumo humano, ya sea en infusiones, bebidas refrescantes así como también en la industria cosmética, láctica y en la dilución para pintura de las telas. En los últimos años ha surgido un gran interés por esta semilla debido al reconocimiento de algunos de sus componentes que ofrecen potenciales beneficios para la mantención de la salud y la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles. Siendo al aceite de lino (linaza) una fuente rica en ácidos grasos insaturados como: ácido oleico (C18, 16 -24%), ácido linoleico (C18, 18-24%) y linolénico (C18, 36-60%); que son pretendidos para inducir una variedad de beneficios para la salud; estos beneficios para la salud incluyen, reducción del riesgo de enfermedades coronarias del corazón y la prevención de cáncer de mama y de próstata. Sin embargo, la aplicación del método prensado en frío en la extracción de aceite de semilla de lino, es un método económico para la industria, y a la vez garantiza que el aceite extraído conserve su identidad original tanto en macromoléculas como en micro moléculas. Los aceites obtenidos a partir del prensado en frío están disponibles comercialmente, porque los consumidores prefieren productos naturales y seguros. Por ello se busca evaluar la estabilidad oxidativa y el perfil de los ácidos grasos del aceite de semilla de lino, mediante la aplicación del método de prensado en frío de diferente procedencia de cultivo de las semillas Corongo y Otuzco, Perú. La obtención de aceites con un buen contenido de nutrientes se ha convertido en uno de los estudios con gran trascendencia, pues se pretende lograr la elaboración de aceites aptos para mantener una buena salud. Los aceites se pueden utilizar para diversos usos, siendo uno de los más consumidos en el mundo, y es un alimento básico en la alimentación humana; el Perú es un país deficitario de materias primas oleaginosas, por lo que se ve en la necesidad de importar materia prima o aceite crudo. Por tal motivo es nuestra preocupación analizar el aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum* L.), debido a que las semillas de lino contiene alrededor de 36 a 40% de aceite y una buena cantidad de ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA), que contribuirá significativamente a la valorización de la

semilla de lino como aceite virgen y aditivo alimentario, procurando potenciar su uso en cosmética, farmacéutica y las industrias de alimentos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

## II. MARCO TEÓRICO

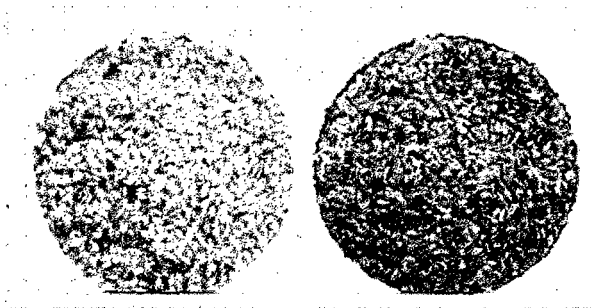
### 2.1. SEMILLA DE LINO

El nombre botánico de la linaza es *Linum usitatissimum* de la familia Linaceae.

La semilla tiene dos cotiledones aplanados, que constituyen la mayor proporción del embrión; este último está rodeado por las cubiertas de la semilla y por una delgada capa de endosperma. La testa tiene una capa exterior que contiene la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. Desde un punto de vista estructural, la testa, endosperma y cotiledones representan el 22, 21 y 57 %, respectivamente. Semilla, de 4 - 6 mm de longitud, ovoide, puntiaguda en un extremo, de exterior liso y brillante, de tallo erecto y liso que puede alcanzar hasta de 70 cm de alto, ramificándose en el ápice. Flores terminales de color azul pálido, (Báez, 2003).

#### 2.1.1. Tipos de Semilla de Lino:

Pueden variar de color desde café-oscuro hasta amarillo claro. El color de la semilla se determina a través de la cantidad de pigmento en la cubierta exterior de la semilla – entre más pigmentación, más oscura es la semilla. El



**Figura 1.** Semillas de Lino amarilla y café oscuro, (Navas, 2010)

color de la semilla se modifica fácilmente a través de técnicas simples de cultivo, (Navas, 2010).

La semilla de lino de color café que es rica en ácido alfa-linolénico (AAL), el cual es un ácido graso omega-3, (Navas, 2010).

La semilla de lino de color amarillo puede ser de dos tipos. El primer tipo, es una variedad desarrollada en los EE.UU. denominada

Omega, la cual es tan rica en AAL como la linaza café. El segundo tipo es una variedad de lino totalmente diferente denominada solin, la cual es baja en AAL, **(Navas, 2010)**.

#### **2.1.2. Historia y Procedencia:**

El lino ha sido cultivado desde los inicios de la civilización. Señala que la linaza es un cultivo antiguo. Los humanos han consumido linaza por miles de años. Es probable que la linaza haya comenzado su cultivo hace 8000 a 10000 años aproximadamente en la Mesopotamia, **(López y Loreto, 2010)**.

#### **2.1.3. Producción:**

Los principales países productores de linaza, en orden decreciente de importancia son Canadá, India, China y Estados Unidos, los que en conjunto y para el año 2003, concentraban el 73,7% del total del área sembrada y el 79,1% de la producción. Argentina, que a comienzos de la década del 90, contaba con una superficie sembrada con lino equivalente al 14,7% del área total mundial, redujo su participación en el año 2003 a tan solo un 0,6%, **(López y Loreto, 2010)**.

La linaza tiene una producción anual de 2,5 millones de toneladas en los últimos cinco años, siendo esto, menos del 1% del total de la producción de oleaginosas a nivel mundial. Canadá es el productor de lino más grande del mundo, con alrededor de un tercio del total de la producción mundial y la mayor parte del comercio de exportación, **(López y Loreto, 2010)**.

A su vez, señala que el lino es un cultivo de semillas oleaginosas de gran importancia económica, especialmente en Canadá, ya que produce alrededor del 40% de todo el mundo, siendo el mayor exportador a nivel mundial, lo que representa alrededor del 75% del comercio mundial de lino, **(López y Loreto, 2010)**.

#### **2.1.4. Composición Química de la Semilla de Lino:**

La linaza es rica en grasa, proteína y fibra dietética. En promedio, la linaza contiene 41% de grasa, 20% de proteína, 28% de fibra dietética



total, 7.7% de humedad y 3.4% de ceniza. La composición de la linaza puede variar dependiendo de la genética, el medio ambiente, el procesamiento de la semilla y el método de análisis utilizado. El contenido de proteína de la semilla se reduce en la medida que se incrementa el contenido de aceite. El contenido de aceite de la linaza puede ser alterado a través de métodos de cultivo tradicionales, y también es afectado por la geografía de la zona de producción, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **2.1.4.1. Ácidos grasos**

La semilla de lino es una semilla oleaginosa, fuente importante de ácidos grasos omega 3, especialmente  $\alpha$  linolénico (ALA) que puede constituir hasta el 52% del total de ácidos grasos; de compuestos fenólicos conocidos como lignanos; de una goma coloidal y de proteína de buena calidad. Estos compuestos, aunque están ubicados en diferentes partes de la semilla, interactúan entre sí durante la extracción y el procesamiento, lo que plantea grandes desafíos para su utilización, **(Ixtaina, 2010)**.

Históricamente la linaza ha sido valorada por su abundancia de grasas, la cual provee una mezcla única de ácidos grasos. Los ácidos grasos son componentes orgánicos que se encuentran en prácticamente todos los alimentos. En la Tabla 1 se describen los ácidos grasos más comunes, **(Ixtaina, 2010)**.

- La semilla de lino tiene un alto contenido de AAL, generalmente constituye entre el 50-62% del total de los ácidos grasos, **(Báez, 2003)**.

**Tabla 1.** Tipos de Ácidos Grasos que se encuentran en los Alimentos

<b>Ácido Graso</b>	<b>Números de Dobles Enlaces</b>	<b>Saturación</b>	<b>Nombre de la Familia</b>	<b>Fuentes Alimenticias</b>
Ácido Estearico	0	Saturada	-	La mayoría de las grasas animales, chocolate
Ácido Oleico	1	Monoinsaturada	Omega-9 ( $\omega$ -9)	Aceite de oliva, canola
Ácido Palmítico	1	Monoinsaturada	Omega-7 ( $\omega$ -7)	Sebo de res, manteca
Ácido Linoléico	2	Poliinsaturada	Omega-6 ( $\omega$ -6)	Aceites girasol, maíz,
Ácido $\alpha$ -linolénico	3	Poliinsaturada	Omega-3 ( $\omega$ -3)	cártamo, linaza, canola, nuez, nogal, cerdo,

**Fuente: Morris, (2010)**

#### **2.1.4.2. Lípidos**

El aceite, que constituye el componente principal de la linaza (35 a 43 g/100g base materia seca) ha sido por años el objetivo principal del procesamiento de esta semilla. La torta remanente de la extracción de aceite (55%), todavía se considera en algunas partes como un subproducto de bajo valor. Los cotiledones son el principal tejido de almacenamiento de aceite, el que está constituido principalmente (98%) por triacilgliceroles y se encuentra en glóbulos de aceite de 1,3  $\mu\text{m}$  de diámetro. También en la fracción lipídica se encuentra un 0,9 % de fosfolípidos y un 0,1% de ácidos grasos libres, **(Estévez, Muñoz y Figuerola., 2008).**

Aunque la cáscara es relativamente pobre en lípidos (22%), su aceite es rico en ácido palmítico. En los cotiledones predomina los ácidos  $\alpha$  linolénico, linoleico y oleico, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008).**

#### **2.1.4.3. Fibra Dietética:**

La fibra dietética está constituida por diferentes polisacáridos que incluyen a la celulosa, hemicelulosas, pectinas,  $\beta$ -glucanos y gomas. Su consumo juega un importante papel en la salud humana y las dietas ricas en ella se han asociado a la prevención, reducción y tratamiento de algunas enfermedades como diverticulosis, cáncer de colon y enfermedades coronarias, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008).**

Los efectos fisiológicos de la fibra dietética se relacionan con sus propiedades fisicoquímicas y tecnológicas, como capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento, viscosidad, formación de gel, capacidad de ligazón de sales biliares, las que son más útiles en la comprensión del efecto de la fibra dietética que la composición química por si sola. Estas propiedades dependen de su relación fibra insoluble / fibra soluble, tamaño de

partícula, condiciones de extracción y fuente vegetal de origen, **(Morris, 2010)**.

La linaza tiene, en las capas externas de la semilla, una gran cantidad de fibra dietética (28% de su peso), con una relación de 75% de fibra insoluble y 25 % de fibra soluble o mucílago. La alta viscosidad de esta fibra promueve la evacuación, reduce el riesgo de cáncer de colon y recto, ayuda a reducir el colesterol sérico y la obesidad y puede afectar la secreción de insulina y el mecanismo de mantención de la glucosa en el plasma. Los beneficios de la fibra dietética están bien documentados y en los últimos años los consumidores están más conscientes del importante papel que ella desempeña en la dieta de los seres humanos, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

Dados los beneficios que tiene la fibra dietética soluble y el potencial uso del mucílago de la linaza como goma alimenticia, esta porción ha recibido más atención que la fibra insoluble de la linaza. El mucílago está compuesto por dos polisacáridos, uno neutro (aproximadamente 75%) y otro ácido. El polímero neutro está formado por una cadena central de  $\beta$ -D-xilosa unidas con enlaces 1-4, que tiene cadenas laterales de arabinosa y galactosa en posición 2 y 3. El polímero ácido está formado por una cadena principal de residuos de (1 $\rightarrow$ 2)-  $\alpha$ -L ramnopiranosil y de ácido (1 $\rightarrow$ 4)- D-galactopiranosilurónico, con cadenas laterales de fucosa y galactosa. El componente principal del polímero neutro es la xilosa (62,8%) y el del polímero ácido es la ramnosa (54,5%), por lo que la relación ramnosa/xilosa se usa frecuentemente para estimar la relación entre polisacáridos ácidos/neutros. Esta relación fluctúa entre 0,3 y 2,2. Los estudios realizados acerca de la composición del mucílago de linaza indican que la composición de monosacáridos del mucílago varía significativamente entre diferentes cultivares de linaza. Los cultivares con mayor contenido de polisacáridos neutros muestran mayor viscosidad aparente y formación de geles más firmes.

Pero, el mucílago de la linaza es un hidrocoloide complejo polidisperso y los diferentes comportamientos reológicos observados en los cultivares está causado tanto por las diferencias en la proporción entre polímeros neutros y ácidos como por el peso molecular y la conformación estructural de los polisacáridos, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

La fibra total representa alrededor del 28% del peso de las semillas de linaza sin desgrasar, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

#### **2.1.4.4. Fibra Soluble e Insoluble de la Semilla de Linaza:**

La linaza contiene tanto fibra dietética soluble como insoluble. La fibra dietética actúa como un agente esponjante en el intestino. Dicha fibra incrementa el peso fecal y la viscosidad del material digerido, mientras que reduce el tiempo de tránsito del material a través del intestino. De esta manera, la fibra dietética ayuda a controlar el apetito y la glucosa en la sangre, promueve la laxación y reduce los lípidos de la sangre. Las dietas ricas en fibra dietética pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades del corazón, diabetes, el cáncer colorectal, la obesidad e inflamación (28-31). El contenido de fibra dietética soluble e insoluble de la linaza varía como se muestra a continuación, dependiendo del método de extracción de fibra y análisis químico, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

#### **2.1.4.5. Lignanos**

La linaza es una fuente rica de un lignano denominado secoisolariciresinol diglicosido (SDG), el cual se encuentra en cantidades dentro de un rango de 1 mg/g de semilla a cerca de 26 mg/g de semilla. El amplio rango de contenido de SDG refleja las diferencias en los cultivos de la linaza, las regiones de producción y el método de análisis, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

#### **2.1.4.6. Proteínas**

El contenido de proteínas de la mayoría de los cultivares de linaza fluctúa entre 22,5 y 31,6 g/100 g. Las condiciones de procesamiento (descascarado o desgrasado) afectan el contenido de proteínas del producto derivado de la linaza. La cáscara tiene menores contenidos de proteína, por lo que, la harina sin cáscara y desgrasada tiene un alto contenido proteico. Como en muchas otras semillas, el contenido de globulinas es mayoritario, llegando al 77% de la proteína presente, en tanto que el contenido de albúminas representa al 27% de la proteína total. La proteína de linaza es relativamente rica en arginina, ácido aspártico y ácido glutámico; los aminoácidos limitantes son lisina, metionina y cisteína, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

#### **2.1.4.7. Hidratos de Carbono**

La linaza contiene muy pequeñas cantidades de azúcares solubles (1 a 2 g/100g). La mayoría de los hidratos de carbono presentes en esta especie, pertenecen al grupo de la fibra dietética. Se destaca entre otros granos por ser una excelente fuente de fibra dietética soluble e insoluble, la que en total puede llegar hasta 28% del peso seco de la semilla. La relación entre fibra soluble e insoluble fluctúa entre 20:80 y 40:60. En la fracción soluble, se encuentra un hidrocólide conocido como mucílago (8% del peso de la semilla). Existe muy poca información de la variación del contenido de fibra dietética entre variedades y según las condiciones de cultivo, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

#### **2.1.4.8. Compuestos Bioactivos de la Linaza y Beneficios de su Consumo**

La semilla de linaza contiene diversos compuestos que pueden ofrecer beneficios para la salud tales como reducción del riesgo de desarrollo de enfermedades cardiovasculares, mitigación de los efectos de la diabetes, patologías renales, obesidad, cáncer de colon y recto, reducción del nivel de colesterol sérico y promoción de la evacuación intestinal. Entre ellos, es importante

destacar a la fibra dietética, los lignanos, el aceite y las proteínas. La localización dentro de la semilla, su complejidad y las posibles interacciones de los diversos componentes que poseen actividad biológica son un gran desafío para el procesamiento de este ingrediente alimentario, **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

**Tabla 2.** Composición Aproximada de Semilla de Lino Basada en Medidas Comunes

<b>Tipo de Linaza</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Medida Común</b>	<b>Energía (Kcal.)</b>	<b>Grasa Total (g)</b>	<b>AAL (g)</b>	<b>Protina (g)</b>	<b>CHO *Total (g)</b>	<b>Fibra Dietética Total (g)</b>
<b>Análisis aproximado</b>	100	-	450	41	23	20	29	28
	180	1 taza	810	74	41	36	52	50
<b>Semilla Entera</b>	11	1 cuchara sopera	50	4.5	2.5	2.2	3	3
	4	1 cucharadita	18	1.6	0.9	0.8	1.2	1.1
<b>Semilla Molida</b>	130	1 taza	585	53	30	26	38	36
	8	1 cuchara sopera	36	3.3	1.8	1.6	2.3	2.2
	2.7	1 cucharadita	12	1.1	0.6	0.5	0.8	0.8

**Fuente: Morris, (2010)**

AAL= Acido alfa-linolénico, el ácido graso esencial Omega-3.

CHO= Carbohidrato.

\*El carbohidrato total incluye carbohidratos como azúcares y almidones (1 g) y fibra dietética total (28 g) por cada 100g de semilla de linaza.



### **2.1.5. Beneficios para la Salud de la semilla de lino**

Es ampliamente aceptado que una dieta adecuada puede cambiar significativamente la salud y la calidad de vida. Los consumidores están más interesados en los factores que benefician la salud en los productos alimenticios, para prevenir enfermedades y promover una buena nutrición, para incrementar la salud general del ser humano. La ingesta de ácidos grasos n-3 proporciona beneficios para la salud en la prevención de cáncer, enfermedades del corazón, hipertensión y desórdenes autoinmunes. Los ácidos grasos n-3 más comunes son AAL (18:3 n-3), ácido eicosapentaenoico (cis-5, 8, 11, 14,17-20:5, AEP, n-3) y el ácido docosahexaenoico (cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-22:6, ADH, n-3). Entre éstos ácidos el AAL es un ácido graso esencial, que los humanos no pueden sintetizar en el cuerpo y tienen que obtenerlo a través de la dieta; mientras que el AEP y ADH pueden ser biosintetizados a partir del AAL provenientes de una fuente animal o vegetal. Cuando los PUFA son ingeridos por el humano, una parte es incorporada en los lípidos (sin sufrir cambios), un poco es oxidado y el resto es metabolizado por una serie de desaturaciones y elongaciones (introducción de grupos metileno) por la acción de enzimas como la ciclooxigenasa y lipoxigenasa, para hacer cadenas más grandes de los PUFA como es el AEP y el ADH los cuales elevan las concentraciones de glóbulos rojos y blancos en la sangre; se han demostrado beneficios potenciales en el tratamiento de artritis reumatoide, entre muchas otras aplicaciones, **(Báez, 2003)**.

Los PUFA son susceptibles a la oxidación lo que limita su empleo directo como aditivo alimentario. Además, los productos de la oxidación de los ácidos grasos no sólo dan origen a la ranciedad del aceite sino que son nocivos para la salud, **(Báez, 2003)**.

## **2.2. ACEITES**

Es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas. Algunos no son aptos para consumo humano, como el de castor o algodón. Como todas las grasas está constituido por glicerina y tres ácidos grasos, **(DESCA, 2010)**.

El aceite vegetal puede provenir de varios frutos o semillas, entre ellos: aceituna (fruto del olivo), soya, palma (tanto del fruto como de la almendra), sésamo, girasol, arroz, maíz, lino, cáñamo, almendra, nuez, avellana, pepitas de uva, semillas de amapola, semillas de calabaza, (Programa Desarrollo Económico Sostenible en Centroamérica, **(DESCA, 2010)**).

## **2.3. ACEITES COMESTIBLES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS**

El principal uso del aceite en la cocina es la fritura, donde funciona como medio transmisor de calor y aporta sabor y textura a los alimentos. Uno de los requisitos del aceite de cocina es que sea estable en las condiciones verdaderamente extremas de fritura por inmersión, esto es, altas temperaturas y humedad. En general, en la fritura el aceite debe mantenerse a una temperatura máxima de 180 °C. Si se fríen los alimentos a una temperatura demasiado baja, éstos atrapan más grasa. El agua, que es aportada por los alimentos que se fríen en el aceite, aumenta la disociación de los ácidos grasos que se produce durante el calentamiento. La hidrólisis genera un aceite de baja calidad con un punto de humo más bajo, un color más oscuro y un sabor alterado. Durante el calentamiento, los aceites también polimerizan, generando un aceite viscoso que se absorbe fácilmente por los alimentos y que genera un producto grasiento. Cuanto más saturados (sólidos) sean los aceites, más estables son frente a la disociación oxidativa e hidrolítica, y menos fácil es que polimericen, **(FAO, 1997)**.

Los aceites ricos en ácido linolénico, como el de soja y el de canola, son particularmente susceptibles de sufrir estos cambios indeseables. Cuando el aceite de soja se hidrogena parcialmente a fin de reducir el ácido linolénico desde aproximadamente un 8 por ciento hasta valores inferiores al 3 por ciento, se genera un aceite de freír relativamente estable, que se utiliza en alimentos fritos elaborados, frituras en sartén y a la parrilla, y en salsas. La estabilidad puede aumentarse utilizando aceite de semilla de algodón, aceite de maíz,

aceite de palma o palmoleína, o con un aceite de soja más hidrogenado, (FAO, 1997).

Los alimentos que se fríen y almacenan antes de comerlos, como por ejemplo los aperitivos, requieren un aceite aún más estable. Los aceites más saturados mejoran la estabilidad, pero si la grasa de freír es sólida a temperatura ambiente se generará una desagradable superficie dura, indeseable en algunos productos fritos. Cuando los aceites se usan continuamente, como en los restaurantes, se necesita una grasa de freír que sea muy resistente. En estos casos se emplean mantecas más sólidas que maximicen la estabilidad de la grasa durante muchas horas de fritura. Los aceites de fritura obtenidos a partir del girasol y de cártamo presentan menor estabilidad dado su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados y su bajo contenido de  $\beta$ -tocoferol; sin embargo, los aceites de cártamo y de girasol de plantas mejoradas genéticamente, con un alto contenido de ácido oleico, son aceites adecuados para freír, (FAO, 1997).

**Tabla 3.** Composición Acídica de los principales aceites vegetales

Aceite Vegetal	Cantidades Relativas de Ácidos Grasos (%)				
	Saturados	Oleico	Linoleico	$\alpha$ -linolénico	Otros
<b>Girasol</b>	12,3	18,6	68,2	0,5	0,4
<b>Girasol Alto Oleico</b>	8	87	5	0	0
<b>Oliva</b>	17,4	71,1	10	0,6	0,9
<b>Soja</b>	15,2	23,4	53,2	7,8	0,4
<b>Maíz</b>	14,5	27,5	57	0,9	0,1
<b>Canola</b>	6	64,1	18,7	9,2	2
<b>Lino</b>	9,4	19,9	15,9	52,7	2

Fuente: Ixtaina, (2010)

#### 2.4. COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES

Los componentes de las grasas y aceites se clasifican en mayoritarios y minoritarios. Entre los primeros se encuentran los acilgliceroles, exclusivamente, y todos los restantes podrían agruparse en el segundo grupo, (Graciani, 2006).

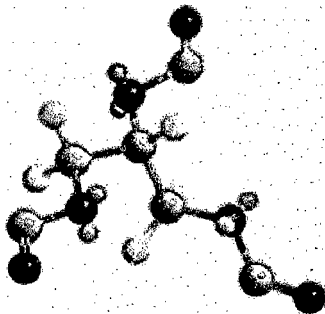
### 2.4.1. Componentes Mayoritarios

Los acilglicéridos o acilglicerolés son ésteres de ácidos grasos con glicerol, formados mediante una reacción de condensación llamada esterificación. Una molécula de glicerol (glicerina) puede reaccionar con hasta tres moléculas de ácidos grasos, puesto que tiene tres grupos hidroxilo, **(Navas, 2010)**.

Las cadenas carbonadas de los ácidos que reaccionan con el glicerol, pueden ser saturados o insaturados. Si son saturadas, no hay ningún doble enlace carbono-carbono, y se dice que está "saturada". (Navas P., 2010)

Según el número de ácidos grasos que se unan a la molécula de glicerina, existen tres tipos de acilglicerolés, **(Navas, 2010)**:

- **Monoacilglicéridos.** Sólo existe un ácido graso unido a la molécula de glicerina y son los precursores de los siguientes, **(Navas, 2010)**.
- **Diacilglicéridos.** La molécula de glicerina se une a dos ácidos grasos; son los precursores de los triglicéridos, **(Navas, 2010)**.
- **Triacilglicéridos.** También se llaman triglicéridos, puesto que la glicerina está unida a tres ácidos grasos (figura 2). Su principal función es la reserva energética. Existen una gran variedad de ácidos grasos y, en consecuencia, de triglicéridos, **(Navas, 2010)**.



**Figura 2.** TAG = triacilglicérido, **(Navas, 2010)**

### 2.4.1.1. Ácidos Grasos

Los ácidos grasos son los componentes más importantes de los aceites y las grasas, son moléculas lineales, químicamente formadas por una larga cadena de átomos de carbono y de hidrógeno y en un extremo un grupo carboxilo (figura 3). Generalmente, suelen tener un número par de átomos de carbono pero existen ácidos grasos con número impar, el ácido margárico de 17 átomos de carbonos es uno de ellos, (Graciani, 2006).

Cada átomo de carbono se une al siguiente y al precedente por medio de un enlace covalente sencillo o doble. Su fórmula química es  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ , (n indica la cantidad de átomos de carbono que forman la cadena hidrocarbonada). Los ácidos grasos difieren entre sí por su longitud y por el número y posiciones de enlaces doble entre carbonos consecutivos (C=C). Esto permite clasificarlos en saturado, monoinsaturados y poliinsaturados, (Navas, 2010).

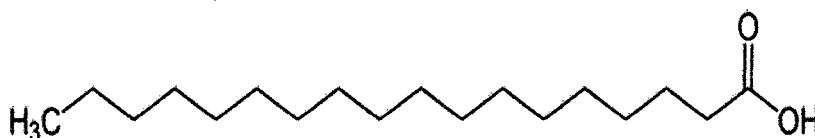


Figura 3. Estructura molecular de un ácido graso, (Navas, 2010)

#### A) Ácidos Grasos Saturados

Los ácidos grasos saturados poseen un enlace simple entre cada par de átomos de carbonos (C-C-C-C), y todos los átomos de carbono (menos el terminal) están unidos a dos átomos de hidrógeno, es decir, que están "saturados" de hidrógeno. Son ejemplos el esteárico, butírico, palmítico, entre otros. Están presentes en las grasas animales, y en aceites vegetales de cacao, palma, coco y otros, (Navas, 2010).

Dentro de éstos ácidos grasos se pueden agrupar en, (Navas, 2010):

**Ácidos grasos de cadena corta (volátiles):**

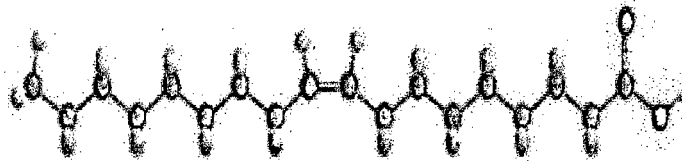
- Ácido butírico (ácido butanoico), (Navas, 2010).
- Ácido isobutírico (ácido 2-metilpropiónico), (Navas, 2010).
- Ácido valérico (ácido pentanoico), (Navas, 2010).
- Ácido isovalérico (ácido 3-metilbutanoico), (Navas, 2010).

**Ácidos grasos de cadena larga:**

- Ácido mirístico, 14:0 (ácido tetradecanoico), (Navas, 2010).
- Ácido palmítico, 16:0 (ácido hexadecanoico), (Navas, 2010).
- Ácido esteárico, 18:0 (ácido octadecanoico), (Navas, 2010).

**B) Ácidos Grasos Monoinsaturados**

Los ácidos grasos monoinsaturados son aquellos ácidos grasos de cadena carbonada par que poseen una sola insaturación en su estructura, es decir, poseen un solo doble enlace carbono-carbono ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ ). Un ejemplo de este tipo de ácidos es el ácido oleico (figura 4) presente en casi todas las grasas naturales, llamado comúnmente omega 9, (Navas, 2010).



**Figura 4.** Estructura molecular del ácido oleico, (Navas, 2010)

### C) Ácidos Grasos Poliinsaturados

Los ácidos grasos poliinsaturados (polyunsaturated fatty acids, PUFA), poseen un grupo polar carboxilo unido a una cadena hidrocarbonada de 16 a 20 carbonos con doble enlaces en dos o más pares de carbonos (C=C). Al ser "insaturados" son capaces de fijar más hidrógeno. Los ácidos grasos octadecanoídeos (18 carbonos) como el ácido linoleico y el  $\alpha$ -linolénico son los miembros básicos de los PUFA de la serie n-3 y n-6, respectivamente (figura 5), (Navas, 2010).

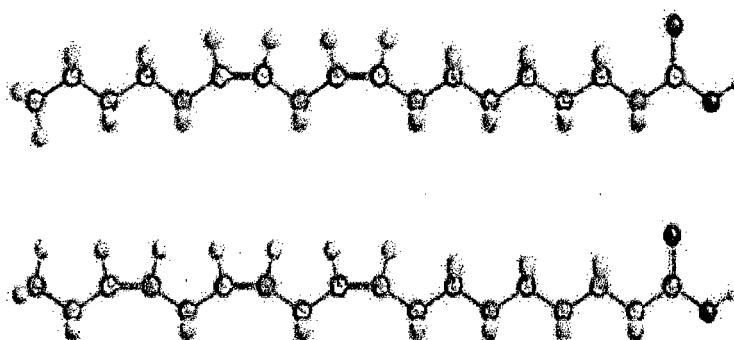


Figura 5. Ácido linoleico y linolénico, (Navas, 2010)

#### 2.4.2. Componentes Minoritarios

Un aceite virgen conserva una serie de componentes minoritarios, de gran beneficio para la salud por su actividad antioxidante como son los polifenoles, tocoferoles y los fitoesteroles, (Fernández y Cabral, 2007).

##### 2.4.2.1. Isoprenoides

Diversas clases de lípidos que pertenecen a este grupo se caracterizan por estar formados por unidades respectivas de isopropeno, (Stuchlí et al., 2002). Clasifica a los isoprenoides en: isoprenoides mixtos, esteroides y terpenos.

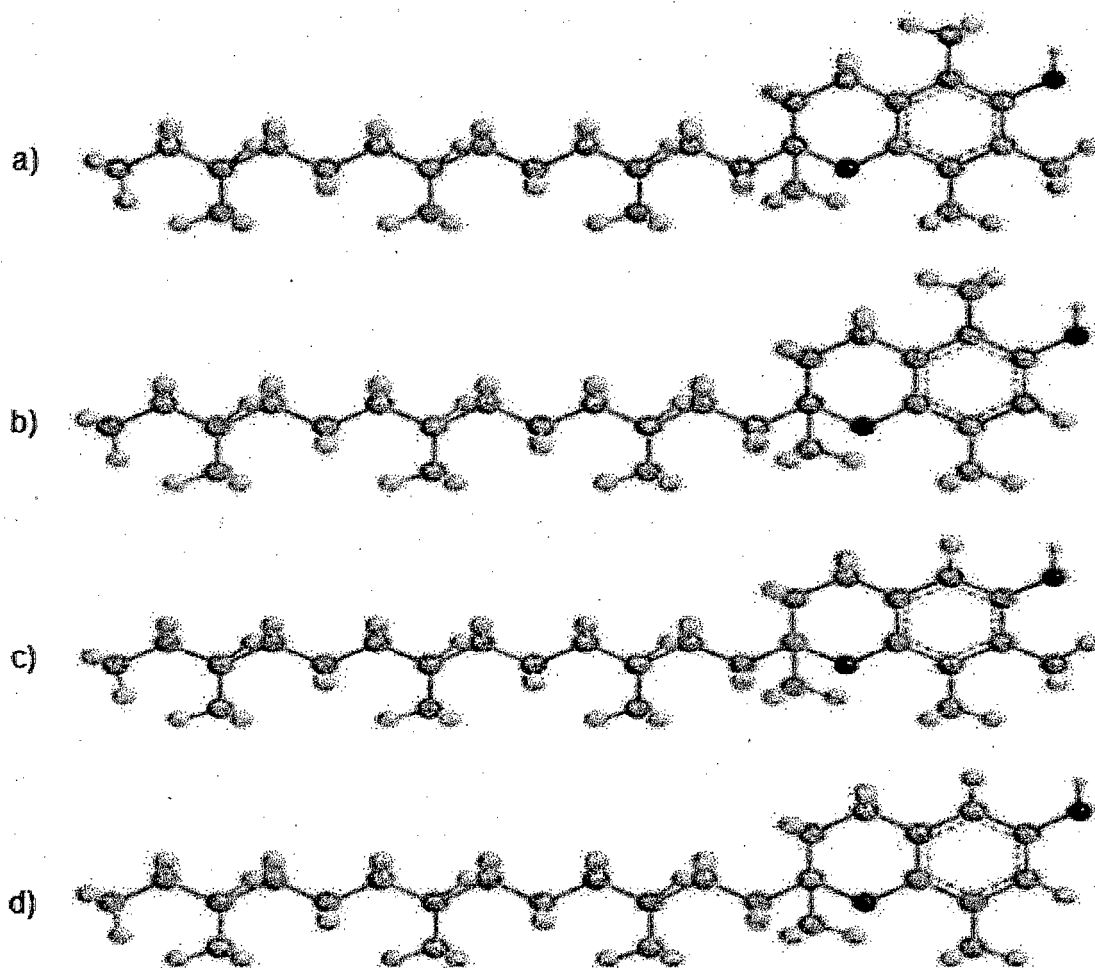
### **A) Isoprenoides Mixtos**

Los isoprenoides mixtos contienen una cadena lateral formada de unidades de isopreno unida a un anillo cromanol no terpenoide denominada fitil. A este grupo pertenecen los submiembros de la vitamina E, como los tocoferoles y tocotrienoles, **(Navas, 2010)**.

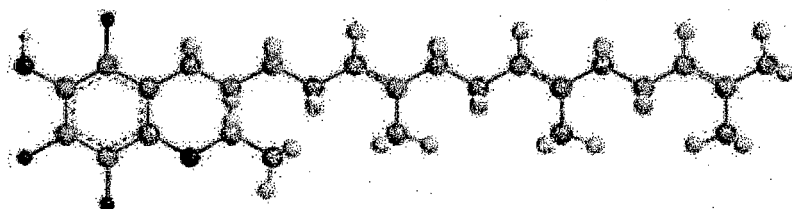
Los tocoferoles derivados de la vitamina E, son antioxidantes naturales solubles en lípidos que solo son producidos por las plantas. El termino general "Vitamina E" se utiliza para designar a un grupo de ocho especies naturales de tocoferoles y tocotrienoles ( $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ ). Junto con las vitaminas A, D y K constituyen el grupo de las vitaminas liposolubles, caracterizadas por ser derivados del núcleo isoprenoide, solubles en lípidos y disolventes orgánicos. Son compuestos esenciales, puesto que el organismo no puede sintetizarlas, por lo que su aporte se realiza a través de la dieta en pequeñas cantidades. Para una eficiente absorción por el organismo requieren de la presencia de ácidos grasos, de la bilis y de enzimas lipolíticas del páncreas y mucosa intestinal, **(Sayago. Marín, Aparicio, Morales, 2007)**.

La estructura química de la vitamina E consta de dos partes primaria: un anillo complejo cromano y una larga cadena lateral. Estos ocho cromóforos se dividen en dos grupos fundamentales: cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles (figura 7) que se diferencian en la saturación de la cadena lateral; los tocoferoles tienen una cadena saturada y los tocotrienoles una insaturada con tres dobles enlaces en los carbonos 3, 7 y 11. Dentro de cada grupo, los cromóforos difieren en el número y posición de los grupos metilo en el anillo cromano, designándose como  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  (figura 6), **(Navas, 2010)**.





**Figura 6.** Estructura molecular de los tocoferoles. a)  $\alpha$ -Tocoferol b)  $\beta$ -Tocoferol c)  $\gamma$ -Tocoferol d)  $\delta$ -Tocoferol, (Navas, 2010)



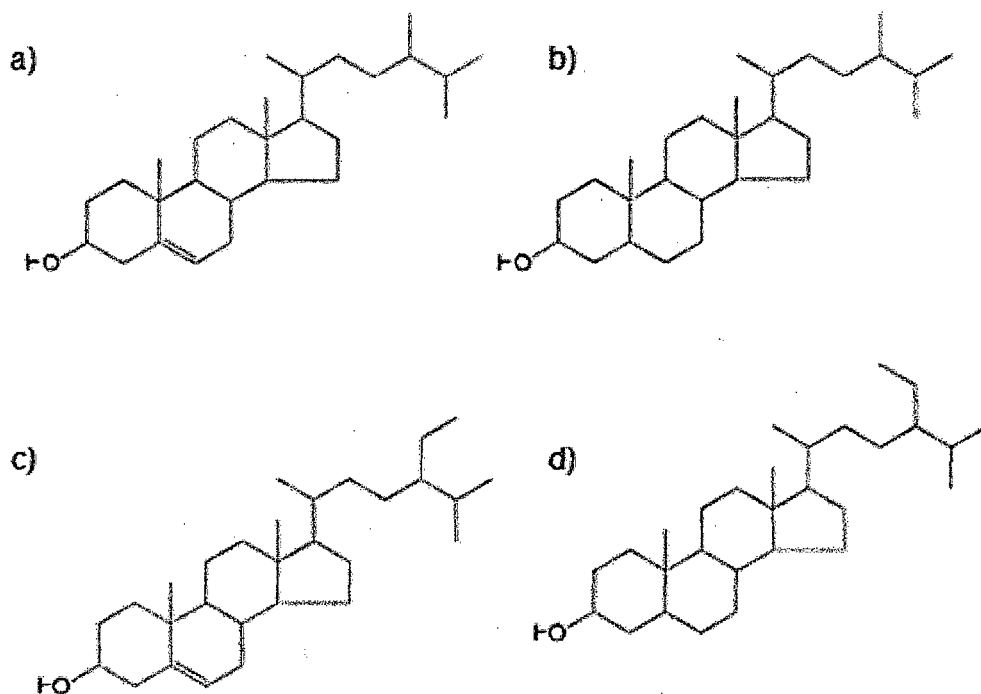
**Figura 7.** Estructura molecular de los tocotrienoles, (Navas, 2010).

El  $\alpha$ -tocoferol que es la principal forma de la vitamina E actúa rompiendo las reacciones en cadena durante la peroxidación de los lípidos, también actúa en la neutralización de especies de oxígeno reactivo como por ejemplo el oxígeno singlete. Se considera que sirve como la primera línea de defensa de la peroxidación de los lípidos. Por otro lado, este compuesto también exhibe una acción antiinflamatoria por inhibición de la producción de radicales libre o superóxidos en los neutrófilos activados, **(Liebler, 1993)**.

## **B) Esteroles**

Los fitoesteroles y fitoestanoles son los miembros más importantes de este grupo cuya estructura es semejante al colesterol de origen animal, pero este último presenta una cadena lateral de 8 átomos de carbono, mientras que en la mayoría de los fitoesteroles la cadena es de 9 o más átomos de carbono. Estas moléculas no son sintetizadas por el ser humano, derivan exclusivamente de productos de origen vegetal. Los fitoesteroles son particularmente abundantes en el reino vegetal: están presentes en los frutos, semillas, hojas y tallos de prácticamente todos los vegetales conocidos, así como también en aceite de germen de maíz y trigo, girasol, soja, nueces y otros, **(Navas, 2010)**.

Los fitoesteroles son triterpenos insaturados con uno o dos dobles enlaces entre carbono y carbono; más de 100 tipos diferentes de fitoesteroles han sido encontrados en las plantas, siendo los más abundantes el  $\beta$ -sitosterol, estigmasterol y campesterol (figura 8), mientras que en menor proporción está el brasicasterol, campestanol y el Avenasterol, **(Fernández y Cabral, 2007)**.



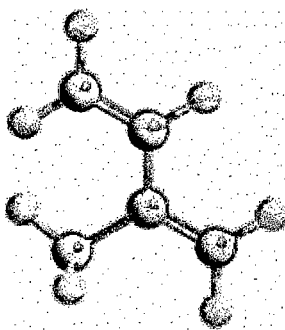
**Figura 8.** Estructura química de algunos fitoesteroles y fitoestanoles. a) Campesterol b) Campestanol c)  $\beta$ -Sitosterol d) Sitostanol, **(Fernández y Cabral, 2007)**

Los fitoesteroles pueden formar ésteres con ácidos grasos, ácidos fenólicos o hexosas (glucosas). A diferencia de los fitoesteroles, los fitoestanoles son triterpenos saturados ya que no contienen dobles enlaces C-C y son menos abundantes en la naturaleza, **(Moreau et al., 2002)**

### **C) Terpenos**

Son moléculas lineales formadas de unidades poliméricas de isopreno con propiedades antioxidantes que protegen a lípidos y compuestos celulares del ataque de agentes oxidantes como radicales libres de oxígeno, superóxido y grupos hidroxilo reactivos, **(Drago, López y Sainz, 2006).**

Se consideran, lípidos insaponificables e insolubles en agua, formados por dos o ms unidades de isopreno o 2-metil-1,3-butadieno (figura 9), pudiendo ser moléculas lineales o cíclicas, y en algunos casos contienen estructuras de ambos tipos. Las sucesivas unidades de isopreno se hallan enlazadas por lo común mediante enlaces cabeza-cola, aunque también existen enlaces tipo cola-cola. Los terpenos que contienen dos unidades de isopreno, son denominados monoterpenos; aquellos que contienen tres unidades se conocen como sesquiterpenos y los que contienen cuatro, seis u ocho unidades reciben el nombre de diterpenos, triperpenos y tetraterpenos, (Ávalos y Pérez, 2009)



**Figura 9.** Estructura del isopreno, (Ávalos y Pérez, 2009)

### **2.4.3. Compuestos Fenólicos**

Los biofenoles son un grupo de sustancias químicas que se encuentran en las plantas y se caracterizan por la presencia de más de un grupo fenólico por molécula. Las investigaciones sugieren que los polifenoles son antioxidantes naturales que incluyen a los fenoles ácidos y flavonoides. En términos generales, los fenoles ácidos se caracterizan por tener un anillo aromático central como en el caso del ácido cinámico y otros derivados, (Mattila y Kumpulainen, 2002).

Existen muchas familias de polifenoles presentes en los aceites vírgenes, dentro de los más citados se encuentran los ácidos fenólicos como el

ácido cafeico, el ácido clorogénico, el ácido ferulico, el ácido cumarico y ácido gálico, **(Slavin, Cheng, Luther, Kenworthy y Yu, 2009)**.

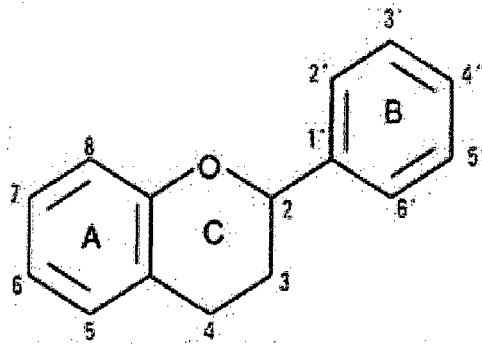
El daño por el estrés oxidativo es el desequilibrio entre los compuestos oxidantes y antioxidantes en el organismo. Los compuestos oxidantes, llamados "radicales libres" se compensan con los antioxidantes, y por eso tienen un papel fundamental aquellos que nos proporciona la dieta. Los polifenoles son sustancias de origen vegetal que están presentes en el aceite virgen de oliva y otras fuentes de semillas. Su estructura química les confiere extraordinarias características antioxidantes, atrapando a los radicales libres. Estos radicales libres son sustancias que tienen un electrón no apareado que busca el equilibrio atrapando el electrón que le falta de otras sustancias y así oxidándolas. Si hay más compuestos oxidantes que antioxidantes (estrés oxidativo), estos contribuyen al desarrollo de enfermedades como el cáncer, la arteriosclerosis, envejecimiento y proceso neurodegenerativos como la enfermedad del alzheimer, **(Valente et al., 2009)**.

#### **2.4.3.1. Flavonoides**

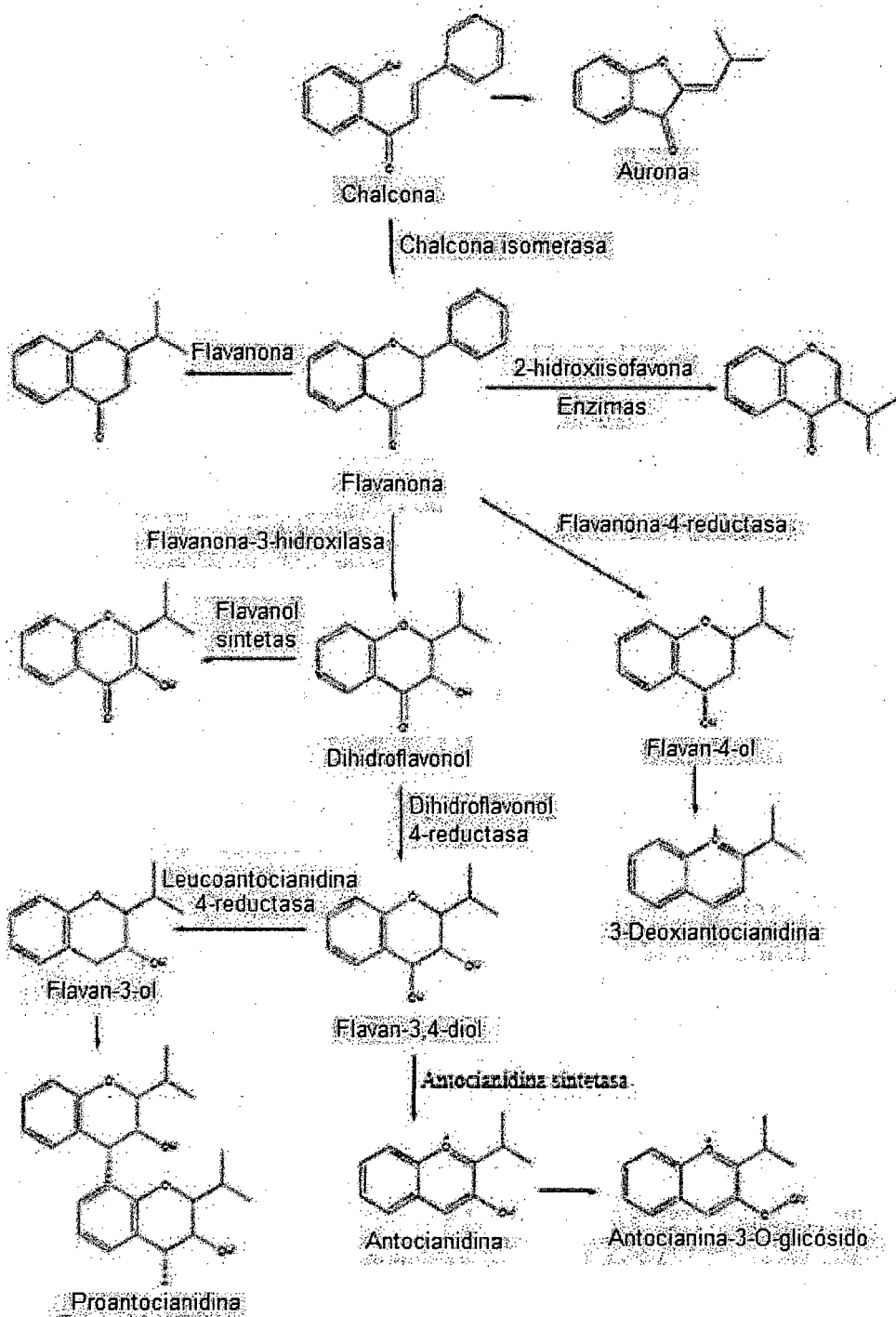
Los flavonoides son compuestos fenólicos de la familia de los fitoquímicos, derivados de los vegetales y con potencial beneficioso sobre la salud, se encuentran tanto en estado libre como en estado glicosidado, constituyen el grupo más amplio de los fenoles naturales. La amplia gama de efectos atribuidos a los flavonoides constituye la expresión de la funcionalidad de su grupo químico, incluyendo propiedades redox, mutagénicas, anticarcinogénicas, y citotóxicas, **(Young y Woodside, 2006)**.

Los flavonoides son metabolitos secundarios de origen biosintético mixto, son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C6-C3-C6), compuesto por dos anillos de fenilos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico) (Figura 10). El anillo A (meta-oxigenado) proviene de la ruta de la malonilcoenzima A y el anillo B (orto-oxigenado) y la cadena C3 proviene de la ruta del ácido

shikímico. Un tricétido se cicliza y se condensa con una molécula de ácido p-cumárico. La enolización del ciclo proveniente de la ruta de la malonilCoAdá origen al anillo aromático A: en las chalconas y flavanonas; estas a su vez son las precursoras de los demás clases de flavonoides (figura 11), (Amarowicz et al., 2009).



**Figura 10.** Estructura básica de una molécula de flavonoides, (Amarowicz et al., 2009)



**Figura 11. Biosíntesis de flavonoides, (Amarowicz et al., 2009)**

Los flavonoides se sintetizan en las plantas y participan en la fase dependiente de luz de la fotosíntesis, durante la cual catalizan el transporte de electrones. Su formación tiene lugar a partir de los aminoácidos aromáticos fenilalanina y tirosina y también de unidades de acetato. La fenilalanina y la tirosina dan lugar al ácido cinámico y al ácido parahidroxicinámico, que al condensarse con unidades de acetato, originan la estructura cinamol de los flavonoides. Posteriormente se forman los derivados glicosilados o sulfatados, **(Martínez, Gonzales, Culebras y Tunon, 2002)**.

#### **2.4.3.2. Pigmentos**

Los pigmentos vegetales se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, dos liposolubles: clorofilas y carotenoides, y dos hidrosolubles: las betalainas y los flavonoides. Las Clorofilas son compuestas del tipo tetrapirrol, al mismo grupo pertenecen las ficocianinas y las ficoeritrinas (pigmentos accesorios en algas azules y rojas). Constan de cuatro anillos de pirrol unidos por medio de puentes de metilo ( $--CH=$ ) lo que constituye una porfirina. El tetrapirrol es el cuerpo básico de las porfirinas, dentro de las cuales se incluyen además de las clorofilas, las hemoglobinas y los citocromos. La característica cromófora de la clorofila se debe justamente al sistema de dobles enlaces conjugados generados por la unión de los anillos de pirrol mediante los grupos metilo. En el centro del sistema de anillos se halla un átomo metálico, para las clorofilas es el magnesio, señal que las clorofilas son consideradas compuestos indispensables para la vida, fundamentalmente debido a las funciones que llevan a cabo en relación con la fotosíntesis (captación de luz, fotoprotección, disipación de excesos de energía, desactivación de oxígeno singlete, **(Kishimoto, Maola, Nakayama y Ohmiya, 2004)**).



Los carotenoides son compuestos con sistema de dobles enlaces conjugados, están formados exclusivamente por átomos de carbono, ocho unidades isoprenoides unidas de forma que la secuencia se invierte en el centro de la molécula, es decir la unidad de dichas unidades es cabeza-cola, excepto en el centro de la molécula donde es cabeza-cabeza. Debido a ello, los dos grupos metilo centrales de la cadena polienica están separadas por seis átomos de carbono mientras que el resto están separados por cinco, **(Meléndez, Vicario y Heredia, 2007)**.

#### **2.4.4. Componentes Volátiles**

El flavor y aroma de los aceites vegetales son generados por una serie de compuestos volátiles que presentan las características de poseer una masa molecular relativamente baja, moléculas de carácter polar, liposolubles y estar presente en concentraciones extremadamente baja, **(Navas, 2010)**.

El desarrollo de componentes volátiles está favorecido por la actividad enzimática y la calidad de la materia prima, por lo que es necesario proceder con cuidado durante y después de la cosecha de frutos y semillas oleaginosas. La humedad de las semillas durante el almacenamiento influyen en gran medida en la calidad del aceite extraído; semillas con contenidos elevados de humedad favorecen el desarrollo y crecimiento de microorganismos, lo que produce elevados niveles de ácidos grasos libres y características organolépticas pobres o desagradables, **(Navas, 2010)**.

En los aceites vírgenes de semillas se han detectado compuestos orgánicos saturados, insaturados, aromáticos e hidrocarburos terpénicos, así como también alcoholes, aldehídos, esterres y éteres, **(Cert, 2000)**.

## **2.5. ACEITE DE SEMILLA DE LINO**

La semilla de lino es una semilla aceitosa que contiene entre el 38-45% de aceite. El ácido alfa linolénico (AAL) está contenido en el aceite con cerca del 52%, también contiene el 20% de proteína y el 28% de fibra dietética, **(Báez, 2003)**.

### **2.5.1. Composición Química**

La composición proximal varía considerablemente entre las variedades y de acuerdo a las condiciones ambientales en las que haya crecido la planta. En los cotiledones se encuentra el 87% de los lípidos, en tanto que en el endosperma está sólo el 17% de los lípidos, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **2.5.1.1. Ácidos Grasos**

Los ácidos grasos son los componentes más importantes de los aceites y las grasas, son moléculas lineales, químicamente formadas por una larga cadena de átomos de carbono y de hidrógeno y en un extremo un grupo carboxilo. Generalmente, suelen tener un número par de átomos de carbono pero existen ácidos grasos con número impar, el ácido margárico de 17 átomos de carbonos es uno de ellos, **(Ixtaina, 2010)**.

Cada átomo de carbono se une al siguiente y al precedente por medio de un enlace covalente sencillo o doble. Su fórmula química es  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ , (n indica la cantidad de átomos de carbono que forman la cadena hidrocarbonada). Los ácidos grasos difieren entre sí por su longitud y por el número y posiciones de enlaces doble entre carbonos consecutivos (C=C). Esto permite clasificarlos en saturado, monoinsaturados y poliinsaturados, **(Navas, 2010)**.

El aceite de linaza es una rica fuente de los siguientes ácidos grasos insaturados: ácido oleico (C18, 16-24 %), ácido linoleico (C18, 18-24 %) y linolénico (C18, 36-50 %), **(Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008)**.

## A) Ácidos Grasos Poliinsaturados

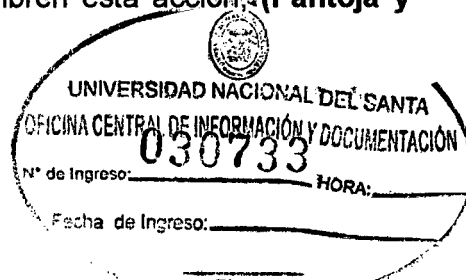
Los ácidos grasos poliinsaturados (polyunsaturated fatty acids, PUFA), poseen un grupo polar carboxilo unido a una cadena hidrocarbonada de 16 a 20 carbonos con doble enlaces en dos o más pares de carbonos (C=C). Al ser "insaturados" son capaces de fijar más hidrógeno. Los ácidos grasos octadecanoides (18 carbonos) como el ácido linoleico y el  $\alpha$ -linolénico son los miembros básicos de los PUFA de la serie n-3 y n-6, respectivamente (figura 4), (Navas, 2010).

### a) Ácido alfa linolénico (ALA)

La linaza es una de las principales fuentes de ácido alfa linolénico, un ácido graso omega 3 ubicado principalmente en los cotiledones de la semilla, que ha demostrado reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares; por esta razón, la linaza es una valiosa fuente de lípidos para mejorar la relación entre ácidos grasos n-6 y n-3. Sin embargo, la opinión de los expertos respecto del valor del consumo de ALA está dividida, dado que la conversión de ALA en ácido eicosapentaenoico (EPA) y en ácido docosahexaenoico (DHA) en los seres humanos es baja (0,2 a 6%), (Estévez, Muñoz y Figuerola, 2008).

### b) Ácido linoléico (C 18:2, $\omega$ -6)

El ácido linoléico (C 18:2,  $\omega$ -6) es un ácido graso poliinsaturado esencial de 18 átomos de carbono con 2 insaturaciones o doble enlaces; su primer doble enlace empieza en el C6. Este ácido es útil para varias actividades esenciales como son: cumplir funciones energéticas y de reserva metabólica, y formar la estructura básica de algunas hormonas y de las sales biliares, (Pantoja y Maldonado, 2008). Este ácido compite con el  $\omega$ -3 por las mismas enzimas por lo que se deben consumir en diferentes proporciones que equilibren esta acción. (Pantoja y Maldonado 2012).



### c) **Ácido oleico** (C 18:1, $\omega$ -9)

El ácido oléico (C 18:1,  $\omega$ -9) es un ácido graso monoinsaturado. Esta denominación proviene del único enlace doble en el C9. No es un ácido graso esencial ya que nuestro organismo puede sintetizarlo. Su consumo baja los niveles de colesterol total, de colesterol LDL (colesterol malo) y de triglicéridos, mejoran el perfil de ácidos grasos y disminuyen el riesgo de enfermedad cardiovascular, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

**Tabla 4.** Composición Aproximada del Aceite de Semilla de Lino

Peso (g)	Medida Común	Energía (Kcal.)	Grasa Total (g)	AAL (g)
100	-	884	100	57
14	1 cuchara sopera	124	14	8
5	1 cucharadita	44	5	2.8

**Fuente: Morris, (2010)**

AAL= Acido alfa-linolénico, el ácido graso esencial Omega-3.

## 2.6. PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE ACEITES VEGETALES

En la producción de alimentos cada día se tiene más en cuenta la satisfacción del cliente; así el concepto de calidad ha evolucionado desde ser "una adaptación a las especificaciones internas" a "la capacidad de una organización de satisfacer las necesidades, explícitas e implícitas, que el cliente demande", **(Ferratto, 2003)**.

Los atributos sensoriales que se perciben en un alimento que son determinantes de la calidad y preferencia de los consumidores son el color, la apariencia, textura forma, viscosidad, sensaciones táctiles y kinestésicas, el olor y el sabor, además de sensaciones quimioestésicas como una respuesta combinada de la sensación cutánea, térmica y de los estímulos dolorosos producidos por determinadas sustancias químicas irritantes, **(Angesroa, 2000)**.

El conjunto de sensaciones olfativas y gustativas de un alimento, complementadas por las sensaciones táctiles y kinestésicas percibidas por los

receptores táctiles y olfativos alojados en la boca, recibe la denominación de "flavor", **(Reineccius, 1993)**.

En estudios de consumidores y usos de aceites comestibles se desprende que dos tipos de aceite son usados, el primero es el aceite refinado, que es muy versátil y con muchas aplicaciones en la cocina debido a su sabor neutro y estabilidad a altas temperaturas. Al contrario los aceites vírgenes que por sus sabores típicos y colores intensos son usados para aderezos de alimentos y ensaladas. Las características del flavor están directamente relacionadas con el valor del aceite para el consumidor y determinan el éxito o fracaso del producto sobre el mercado, por lo que es necesario evaluar las cualidades sensoriales de aceites vírgenes, **(Bruhl y Matthaus, 2008)**.

## **2.7. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DE LOS COMPONENTES MENORES DE ACEITES VEGETALES VÍRGENES.**

La actividad antioxidante de los tocoferoles, polifenoles y otros compuestos de los aceites vegetales, presenta un creciente interés desde que fueron relacionados con su carácter protector frente a enfermedades degenerativas crónicas como enfermedades coronarias, complicaciones cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y estrés oxidativo, **(Varela, 2009)**.

Los radicales libres son especies químicas que poseen uno o más electrones desapareados, por lo que son muy inestables y reaccionan rápidamente con otras moléculas. Los radicales libres se pueden formar por la acción del ozono, los pesticidas, las reacciones fotoquímicas, las radiaciones ionizantes o el estrés, **(Tur, 2004)**.

Los antioxidantes son moléculas capaces de bloquear el inicio de la cadena de reacciones de oxidación causadas por los radicales libres inhibiendo su capacidad oxidante, **(Young y Woodside, 2001)**.

La teoría de envejecimiento por radicales libres sostiene que la causa del envejecimiento celular es debida a la producción de radicales libres cerca de las mitocondrias, con la consecuente lesión del ADN mitocondrial y la pérdida de la capacidad de regeneración, **(Mayne, 2003)**.

En cuanto a los aceites vegetales; entre los principales compuestos antioxidantes se encuentran los tocoferoles y tocotrienoles, los carotenoides y los compuestos fenólicos. Los polifenoles presentes en los aceite vírgenes, específicamente los contenidos en el aceite de oliva son los co-responsables de la reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares, asociado a la composición y efecto antioxidante del perfil lipídico, lo que constituye una fuente de protección contra el daño oxidativo, **(Varela, 2009)**.

Los tocoferoles y tocotrienoles, actúan coordinados con otras moléculas y enzimas para la defensa de las células (especialmente glóbulos rojos, células musculares y células nerviosas) frente a los efectos nocivos producidos por los radicales libres, considerados hoy día importantes antioxidantes con potenciales beneficiosos a la salud, **(Sayago, Marin, Aparicio y Morales, 2007)**.

## **2.8. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS OLEAGINOSAS**

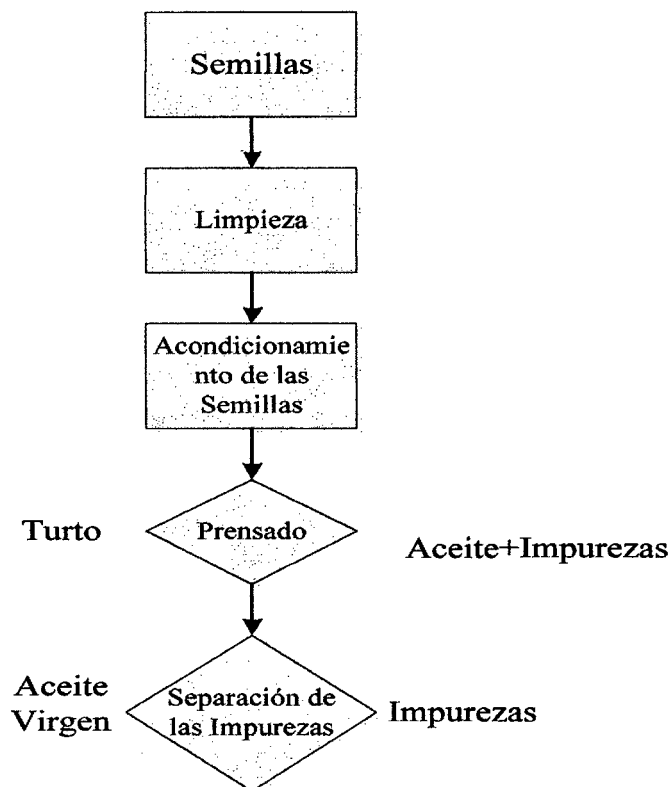
En principio se distinguen dos sistemas de extracción del aceite de semillas oleaginosas, **(Navas, 2010)**:

- **Extracción mecánica o por prensado**
- **Extracción con disolventes**

En ambas metodologías, las semillas oleaginosas deben ser limpiadas y descascarilladas previamente. Después son troceadas y molidas antes de la extracción de su aceite por cualquiera de los dos sistemas citados, **(Navas, 2010)**.

### **2.8.1. Digestión Mecánica o por prensado**

En la extracción mecánica o por prensado (figura 12), las semillas molidas o no, pasan a un acondicionador para obtener un producto homogéneo que luego va a la prensa donde a elevadas presiones y en un solo paso se procede a la separación del aceite de la torta proteínica residual, denominada generalmente turto, pellets o torta residual, **(Navas, 2010)**.



**Figura 12.** Esquema de un proceso típico para la extracción de aceites por prensado, (Navas, 2010).

En esta extracción es necesaria una fase previa de acondicionamiento en la cual se establecen las condiciones óptimas de humedad inicial de las semillas, de manera de favorecer la ruptura de las células ricas en aceite, facilitando la expulsión para alcanzar los mejores rendimientos, (Navas, 2010).

El aceite más impurezas pasan a la siguiente etapa donde se separan las impurezas gruesas a través de un tamiz vibratorio y las más finas por medio de un proceso de centrifugación. Gracias al sistema de vibraciones no es necesario limpiar el tamiz ya que las impurezas no se pegan a la superficie del tamizado. El abrillantamiento y limpieza final del aceite se llevan a cabo en el filtro, con lo que se logra así un aceite crudo filtrado, (Báez, 2010).

La torta proteínica separada en la prensa después de la extracción del aceite, es descargada en un tornillo sinfín que alimenta una estación de pesado y ensacado, o a unos rodillos trituradores de la torta proteínica. Esta torta proteínica puede ser desgrasada aún más en una planta de extracción por disolventes. También puede ser utilizada directamente como alimento para animales o si ha sido tratada higiénicamente, puede pasar a una instalación para obtención de proteínas para la alimentación humana, **(Báez, 2010)**.

Los aceites obtenidos a partir del prensado en frío están disponibles comercialmente, porque los consumidores prefieren productos naturales y seguros. El procedimiento de prensado en frío no utiliza calor y la materia prima pasa a través de una prensa de tornillo para disminuir los efectos perjudiciales debido a que no se utilizan los disolventes orgánicos, obteniéndose un producto libre de contaminantes químicos. El prensado en frío de una semilla rica en AAL podría ser una excelente fuente de PUFA pertenecientes al grupo n-3, **(Báez, 2010)**.

**Tabla 5.** Composición Típica del Aceite de Semilla de Lino

Aceite	Ácidos Grasos (%Total)				
	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Linaza	4-10	2-8	10-24	12-19	48-60

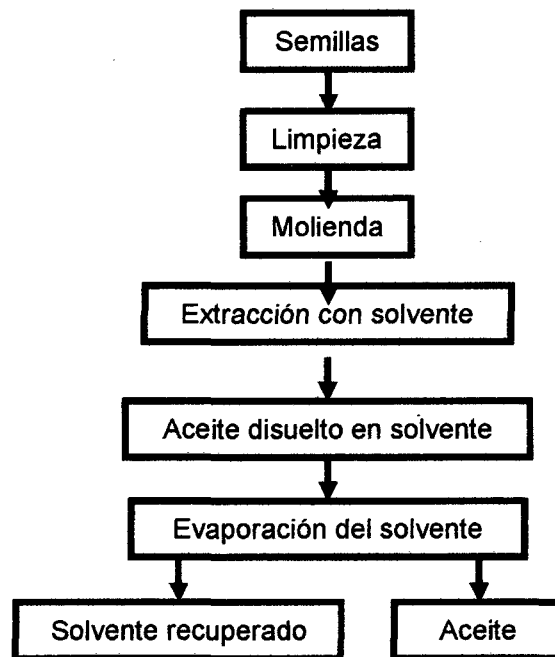
**Fuente: Ixtaina, (2010)**

### **2.8.2. Extracción por Solventes**

En este tipo de extracción (figura 13), se requiere moler las semillas con el propósito de incrementar el área superficial de contacto entre el solvente y el material sólido, así como también para provocar la ruptura de las células donde el aceite se almacena. Entre los solventes más utilizados está el hexano. Entre las ventajas de este procedimiento se puede mencionar por un lado, un gran poder de extracción, con rendimientos elevados y la obtención de un aceite libre de impurezas sólidas por lo que la fase de limpieza del aceite crudo no es necesaria. Mientras que por otra parte, al separar el disolvente por destilación, éste es recuperado para ser



nuevamente utilizado. Sin embargo, el uso de un disolvente inflamable y la acumulación de trazas del mismo en el aceite final, constituyen las principales limitaciones de este proceso tecnológico. Los aceites obtenidos directamente de la extracción se denominan aceites crudos o brutos, contienen pequeñas cantidades de compuestos naturales que no son glicéridos y que son eliminados posteriormente a lo largo de una serie de fases de procesado, obteniéndose un aceite refinado totalmente cristalino, (Ziller, 1996).



**Figura 13.** Esquema de un proceso típico para la extracción con disolventes, (Navas, 2010).

❖ **Extractor Soxhlet:**

Se utiliza el sistema Soxhlet, que tiene el mismo principio de los equipos industriales (Bollman y Smet). Como se dijo anteriormente, la muestra (semillas de sachá inchi y canola) debe ser previamente molida, para permitir mayor área de contacto entre esta y el solvente. El rendimiento obtenido del aceite es alto (45-48%), (Pantoja y Maldonado, 2012).

Este es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceites vegetales, puede dejar un residuo aproximado del aceite de

menos del 1%, mientras que la extracción por prensado deja un residuo aproximado del 6%. A la extracción por solventes debe preceder la limpieza y trituración de la semilla, esta trituración tiene por finalidad abrir las células y facilitar la salida del aceite. Luego de la limpieza y trituración, se utiliza un pre-tratamiento, la cocción de las semillas en condiciones controladas. Es claro que las grasas líquidas o aceites abandonan más fácilmente la masa, si se calientan, porque disminuye su viscosidad. Por otra parte, si se calienta el aceite aumenta el poder disolvente para los cuerpos que le dan olor, sabor y color y que están contenidos en las semillas, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

La extracción por solventes es una típica operación de transferencia de masa, en donde el solvente penetra el sólido y el aceite contenido en él se hace miscible con el solvente. Después de la extracción se debe separar el solvente del aceite, ya sea por separación mecánica o mediante destilación. Como se menciona anteriormente, para la extracción por solventes, se utiliza el equipo Soxhlet, que por lo general trabaja con disolventes como el hexano. El tiempo estimado de la duración del proceso es de aproximadamente 6 horas, dependiendo de la capacidad del equipo Soxhlet utilizado y el tipo de semillas a analizar. (Aravena, 2000). El equipo Soxhlet está compuesto por tres piezas de vidrio a saber: cámara de condensación que va en la parte superior del soxhlet, recipiente que contiene el dedal (sifón) que va en la parte intermedia y el balón de destilación o matraz que va en la base del Soxhlet, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

En la extracción por solventes, el matraz inferior se calienta y evapora el disolvente, que pasa a través del equipo Soxhlet al condensador. Cuando el disolvente se condensa, cae gota a gota en el depósito interior, donde se encuentra la muestra de la que se está haciendo la extracción. El disolvente caliente se pone en contacto con la muestra y empieza a producirse la transferencia de masa. El disolvente condensado se acumula y continúa destilándose, mientras que el matraz inferior continúa

calentándose. Repitiéndose así el proceso durante el tiempo necesario (5-6 horas). Una vez terminado el proceso se procede a evaporar el disolvente por destilación a 80°C con 250 mililitros del solvente (generalmente hexano) y posteriormente a pesar, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

## **2.9. ACEITES VEGETALES VÍRGENES VS ACEITES VEGETALES REFINADOS**

Pueden distinguirse dos tipos de aceite: los vírgenes y los refinados. Los primeros son los extraídos mediante "prensado en frío", a temperaturas no mayores a 27 °C, presentan la característica que conservan el sabor de la fruta o semilla de la que son extraídos. Otro método consiste en la "extracción en frío", mediante un proceso de centrifugación y filtración a no más de 27 °C. Posteriormente por medios físicos, como la decantación (durante días) se separan los residuos más finos. Por ambos métodos se obtiene un aceite virgen, de sabor intenso y colores variables dependiendo de la materia prima de donde son extraídos, con valores de acidez entre 1° y 1,5° por la presencia de ácidos grasos libres, **(Ziller, 1996)**.

El prensado de semillas y nueces para extraer aceites se remota a épocas de miles de años atrás. La civilización egipcia utilizó aceites comestibles para la cocina, extraídos de semillas y frutos, de igual forma los romanos, los griegos y los incas. Los aceites no refinados han sido siempre la piedra angular de dietas de pueblos ancestrales. Estos aceites eran ricos en nutrientes y tenían un sabor propio particular, color, viscosidad y por supuesto aromas singulares. Todas estas características se han perdido por la refinación industrial, que han reducido las características de los aceites a la suavidad, produciendo aceites sin color, insípidos y de una calidad nutricional inferior. Sin embargo, en muchos lugares alrededor del mundo, se han mantenido métodos tradicionales que producen aceites no refinados ricos en nutrientes, de alta calidad, con un sabor particular, son los llamados "aceites vírgenes", **(Navas, 2010)**.

Los aceites refinados son aquéllos que se someten a procesos químicos (clarificación y desodorización) que permite obtener un aceite que responde a ciertos criterios: organolépticamente son de un sabor neutro, visualmente limpios y con un color adecuado, y además permite una mejor conservación.

Los aceites vírgenes se distinguen de los refinados por sus especificidades en características y cualidades nutricionales. Cada uno tiene un color, un sabor y un aroma distinto dependiendo de la materia prima del que proviene, contrariamente, los refinados parecen iguales. Un aceite virgen prensado conserva la integridad estructural en cuanto a su composición, mientras que durante el refinado, la matriz lipídica puede sufrir una isomerización CIS-TRAS con la consecuencia de pérdida de la integridad química y valor nutricional, **(Navas, 2010)**.

## **2.10. CINÉTICA DEL DETERIORO DE LOS ALIMENTOS Y PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL**

Los alimentos son sistemas fisicoquímicos y biológicamente activos, por lo tanto la calidad de los alimentos es un estado dinámico que se mueve continuamente hacia niveles más bajos. Así pues, para cada alimento particular, hay un periodo de tiempo determinado, después de su producción, durante el cual mantiene el nivel requerido de sus cualidades organolépticas y de seguridad, bajo determinadas condiciones de conservación. Este periodo se define como vida útil del alimento, **(Casp y Abril, 1999)**.

La vida útil de un producto no debe ser considerado sólo en términos legales acerca de su durabilidad mínima sino que también la define como el periodo de tiempo durante el cual el alimento puede: (1) permanecer seguro; (2) mantener las características físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas deseadas; (3) cumplir con cualquier reglamento nutricional, **(Wilbey, 1997)**.

Además es importante considerar que la vida útil de un producto es función de la calidad microbiológica de las materias primas, empaque y condiciones en que fue almacenado, **(Tortorello, Best, Batt, Woolf y Bender, 1991)**. Igualmente importantes son la higiene de la planta y el personal, el tiempo y la temperatura de mantención, distribución y la composición del alimento, **(Campbell, 1989)**.

La estabilidad de los productos alimenticios depende tanto de factores intrínsecos y extrínsecos, entre los primeros se cuentan calidad del material crudo, características físicas, pH y actividad de agua, mientras que las

condiciones de procesamiento, higiene, empaque y condiciones de almacenamiento, especialmente temperatura son factores extrínsecos. Estos factores pueden interactuar aditiva o antagónicamente y algunas veces sinérgicamente, un efecto es cuando dos o más factores son usados para inhibir el crecimiento microbiano. Finalmente, se debe considerar que el análisis sensorial es de suma importancia por cuanto, junto a los métodos instrumentales, contribuye a minimizar el riesgo a la salud pública. Las técnicas generalmente usadas en la evaluación sensorial son: i) test de discriminación, ii) test de aceptación, iii) análisis descriptivo, **(Wilbey, 1997)**.

Durante el almacenamiento y distribución, los alimentos están expuestos a un amplio rango de condiciones ambientales, factores tales como temperatura, humedad, oxígeno y luz, los cuales pueden desencadenar mecanismos de reacción que conducen a su degradación. Como consecuencia de estos mecanismos los alimentos se alteran hasta ser rechazados por el consumidor. Es necesario por tanto, conocer las diferentes reacciones que causan esta degradación de los alimentos para desarrollar procedimientos específicos para su vida útil, **(Casp y Abril, 1999)**.

La cinética de deterioro de los alimentos se puede expresar matemáticamente por medio de ecuaciones de relación. Aplicando los principios fundamentales de la cinética química, los cambios en la calidad de los alimentos pueden, en general, expresarse como una función de la composición de los mismos y de los factores ambientales, **(Casp y Abril, 1999)**:

$$\frac{dQ}{dt} = F(C_i, E_j) \quad (1)$$

Donde  $C_i$ , son factores de composición, tales como composición de algunos compuestos de reacción, enzimas, pH, actividad de agua, así como población microbiana y  $E_j$  son factores ambientales tales como temperatura, humedad relativa, presión total y parcial de diferentes gases, luz, etc. La mayoría de las reacciones estudiadas en los alimentos, se han caracterizado como de orden cero o de primer orden, **(Casp y Abril, 1999)**.

En la tabla 6 se indican algunos ejemplos significativos de reacciones de pérdida de calidad en alimentos.

**Tabla 6.** Reacciones de pérdida de calidad que siguen cinéticas de orden cero y primer orden.

<b>Orden Cero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad global de alimentos congelados.</li> <li>• Pardeamiento no enzimático.</li> </ul>
<b>Primer orden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de vitaminas.</li> <li>• Muerte / desarrollo microbiano.</li> <li>• Pérdida de color por oxidación.</li> <li>• Pérdida de textura en tratamientos térmicos.</li> </ul>

**Fuente:** Cas y Abril, (1999).

### 2.10.1. Reacción de Orden Cero

Una característica de las reacciones de orden cero es la relación lineal entre el atributo de calidad, Q y el tiempo de la reacción, t, **(Toledo, 1991)**.

Una disminución lineal del atributo implica que su variación con respecto al tiempo es constante, y que, por lo tanto, la pérdida de dicho atributo no depende de su concentración. El empleo de una ecuación de orden cero es útil en la descripción de procesos tales como la degradación enzimática, el pardeamiento no enzimático y la oxidación de lípidos que lleva al desarrollo de olores rancios, **(Casp y Abril, 1999)**.

Técnicamente, el mayor problema en pruebas de vida de anaquel es para verificar que realmente  $n = 0$ . Basado en un trabajo anterior, algunas de las formas de deterioro son aplicables directamente para las cinéticas de orden cero. Estos incluyen: (1) Degradación enzimática (Frutas y Vegetales frescos, algunos alimentos congelados, algunas pastas refrigeradas); (2) Pardeamiento no enzimático (Cereales secos, productos lácteos deshidratados, alimentos secos para mascotas, pérdidas del valor nutricional proteico); (3) oxidación de lípidos (Desarrollo de rancidez en partes, alimentos secos, alimentos para mascotas, alimentos congelados), **(Monje, 2003)**.

### 2.10.2. Reacción de Primer Orden

La reacción es caracterizada por la disminución en forma exponencial del atributo de calidad, Q, durante el periodo de almacenamiento, **(Casp y Abril, 1999; Heldman y Lund, 1992)**. El ritmo de pérdidas del atributo de calidad depende de la cantidad que queda del mismo, y esto implica que a medida que el tiempo avanza y el atributo de calidad disminuye la velocidad de reacción es cada vez menor, **(Casp y Abril, 1999)**.

### 2.10.3. Efecto de la Temperatura

Las reacciones químicas son acompañadas por efectos de calor y si éstos son bastante grandes, pueden causar un cambio significativo en la temperatura de la reacción, por lo tanto estos efectos deben ser también tomados en cuenta, **(Heldman y Lund, 1992)**. Generalmente la constante de velocidad de reacción acrecienta con un incremento de la temperatura. (Labuza T., 2000 citado por Monje M., 2003) La temperatura, aparte de afectar fuertemente a las constantes de velocidad de las reacciones, es el único factor que, la mayoría de las veces, le es impuesto externamente al alimento y no puede ser controlado por un envase apropiado, **(Casp y Abril, 1999)**.

La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción en un proceso elemental, se puede describir utilizando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius, en 1889, **(Casp y Abril, 1999)**:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2)$$

Donde,  $k_0$  es el factor pre exponencial o factor de colisión ( $s^{-1}$ ),  $E_a$  es la energía de activación ( $kJ.mol^{-1}$ ),  $R$  es la constante de los gases ideales ( $kJ.mol^{-1}.K^{-1}$ ) y  $T$  es la temperatura absoluta (K), **(Casp y Abril, 1999; Heldman y Lund, 1992; Toledo, 1991)**

Si se aplica logaritmo a la ecuación anterior se obtiene:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \ln k_0 + \frac{1}{T} \quad (3)$$

Donde existe una relación lineal entre el logaritmo de la constante de velocidad y la inversa de la temperatura absoluta. La pendiente será el cociente de la energía de activación y la constante de los gases perfectos, **(Casp y Abril, 1999)**.

Para describir la relación entre la temperatura y la constante de velocidad de reacción se emplea un parámetro llamado: valor  $Q_{10}$ , el cual se define como el número de tiempos que cambia la velocidad de reacción con un cambio en temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ , **(Monje, 2003)**. Si la velocidad de reacción se duplica con un cambio de  $10^{\circ}\text{C}$  en la temperatura, entonces el valor de  $Q_{10}$  será de 2. Para reacciones tales como color inducido enzimáticamente o cambio de sabor en alimentos, degradación natural de pigmentos, oscurecimiento no enzimático, y la velocidad de crecimiento microbiano, el  $Q_{10}$  normalmente estará alrededor de 2, **(Toledo, 1991)**. Matemáticamente, **(Casp y Abril, 1999)**; lo demuestran de la siguiente manera:

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} \quad (4)$$

Donde:

$k_T$  = constante de velocidad de reacción a la temperatura T

$k_{T+10}$  = constante de velocidad de reacción a la temperatura T+10

Entre el valor  $Q_{10}$  y la energía de activación EA existe una relación, como se demuestra a continuación, **(Casp y Abril, 1999)**:

$$k_{T+10} = k_0 e^{-\left[\frac{Ea}{R(T+10)}\right]} \quad (5)$$

$$k_T = k_0 e^{-\left[\frac{Ea}{RT}\right]} \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} = \frac{k_0 e^{-\left[\frac{Ea}{R(T+10)}\right]}}{k_0 e^{-\left[\frac{Ea}{RT}\right]}} = e^{\left[\frac{Ea}{RT}\right] - \left[\frac{Ea}{R(T+10)}\right]} \quad (7)$$

$$\ln Q_{10} = \left[\frac{Ea}{RT}\right] - \left[\frac{Ea}{R(T+10)}\right] = \frac{Ea}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T+10}\right] \quad (8)$$



$$\ln Q_{10} = \frac{Ea}{R} \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T+10} \right] \quad (9)$$

Para una reacción de orden cero, la vida útil y la constante de velocidad de reacción son inversamente proporcionales, por lo tanto la ecuación (3) se puede escribir, **(Casp y Abril, 1999)**:

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida útil a } T_{ref} (^{\circ}\text{C})}{\text{Vida útil a } T (^{\circ}\text{C})} = \frac{t_0}{t_u} \quad (10)$$

Cuando  $T = T_{ref} + 10^{\circ}\text{C}$

Como se ha observado anteriormente:

$$t_u = t_0 e^{-a(T - T_{ref})} \quad (11)$$

$$\frac{t_0}{t_u} = e^{a(T - T_{ref})} \quad (12)$$

Siendo  $t_0$  = vida útil a  $T_{ref}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $t_u$  = vida útil a  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). En este caso:  $T - T_{ref} = 10^{\circ}\text{C}$ .

Sustituyendo en (5):

$$Q_{10} = e^{10a} \quad \text{o} \quad a = \frac{\ln Q_{10}}{10} \quad (13)$$

Por lo tanto, si se conoce el valor  $Q_{10}$  de la reacción que se está considerando, se podrá calcular la pendiente de la recta y así establecer cuál será la vida útil a cualquier temperatura. Este sistema es interesante cuando se emplean test de vida útil acelerada, trabajando a temperaturas altas para que los tiempos de las experiencias sean más cortos. Una vez obtenidos los valores de vida útil a temperaturas altas, se podrá conocer la vida media a cualquier temperatura, **(Casp y Abril, 1999)**.

### 2.11. Cinética del Deterioro de los Aceites de Semillas Oleaginosas

Los aceites son susceptibles a diferentes reacciones de deterioro que reducen el valor nutritivo del alimento, y además, producen compuestos volátiles que imparten olor y sabor desagradable, esto generalmente se debe a que el enlace ester de los acilglicéridos es susceptible a la hidrólisis química o enzimática (rancidez hidrolítica), y a que los ácidos grasos insaturados son

sensibles a reacciones de oxidación (rancidez oxidativa), **(Salazar, Belén, Marín y Moreno, 2007)**.

Generalmente el estudio de la estabilidad de un aceite comestible, o resistencia al deterioro debido a cualquiera de los tipos de rancidez, se realiza 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, **(Ramos y Tarazona, 2001)**

Luego, se evalúa la velocidad o rapidez de dichas reacciones de deterioro, expresados como cambios de concentración por unidad de tiempo. El orden de la reacción en un alimento se puede calcular en función de la concentración de los reactantes o de los productos. La mayor parte de los datos de vida útil para el cambio de una característica de calidad, basado en una reacción química o crecimiento bacteriano, sigue un modelo de orden cero ( $n = 0$ ) o de primer orden ( $n = 1$ ) y hasta fraccionados, **(Salazar, 2007)**. Al conocer el orden de la reacción, se puede extrapolar basándose en pocas medidas, mediante representaciones gráficas correctas, a los valores máximos permitidos de los índices ensayados al término fijado de su vida útil, **(Salazar, 2007)**.

Uno de los factores que afectan la rapidez de deterioro de las grasas y aceites es la temperatura, observándose que un incremento de la misma aumenta la velocidad de estas reacciones de deterioro, **(Salazar, 2007)**.

### **2.11.1. Radicales Libres**

Se consideran radicales libres (RL) a aquellas moléculas que en su estructura atómica presentan un electrón desapareado o impar en el orbital externo. Esta configuración espacial les hace muy inestable, extraordinariamente reactivos y de vida efímera, con una enorme capacidad para combinarse con la mayoría de las biomoléculas celulares (carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y derivados de cada uno de ellos) provocando un gran daño en ellas y en las membranas celulares, **(Criado y Moya, 2009)**.

El metabolismo normal de cada célula es una fuente importante de RL (cuando se metaboliza el alimento para producir energía), pero además también se producen por influencias externas cuando nuestro organismo recibe el impacto de diversos contaminantes tales como los gases provenientes de los escapes de los automóviles, la contaminación ambiental y el humo del cigarrillo, algunos productos de limpieza, pesticidas, algunos fármacos, el ejercicio físico excesivo o los rayos ultravioleta de sol, **(Criado y Moya, 2009)**.

Los RL cumplen numerosas funciones útiles en el organismo (de hecho, nuestro propio cuerpo los fabrica en cantidades moderadas para luchar, por ejemplo, contra las infecciones), pero en cantidades excesivas tienen el potencial de dañar nuestras células y el material genético allí contenido. La mayor parte del oxígeno utilizado por el organismo humano durante la respiración celular es reducido a agua por acción del complejo citocromo-oxidasa de la cadena respiratoria mitocondrial, **(Criado y Moya, 2009)**.

#### **2.11.1.1. Fuente de los Radicales Libres**

La mitocondria constituye la fuente principal de RL. Otras fuentes son las peroxisomas, y también los leucocitos polimorfonucleares que constituyen una fuente importante, cuando en los procesos inflamatorios se activan por diversas proteínas que actúan específicamente sobre ellos. Los leucocitos poseen en sus membranas la enzima NADPH oxidasa generadora de  $O_2^-$  que en presencia de hierro se transforma en el altamente tóxico  $OH^-$ , **(Criado y Moya, 2009)**.

#### **2.11.1.2. Toxicidad de los Radicales Libres**

Por la alta inestabilidad atómica de los RL colisionan con una biomolécula y le sustraen un electrón, oxidándola, perdiendo de esta manera su función específica en la célula. En el caso de los lípidos (ácidos grasos poliinsaturados), los RL dañan las estructuras ricas en ellos como las membranas celulares y las lipoproteínas. En las primeras se altera la permeabilidad conduciendo al edema y la muerte celular y en la segunda, la

oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), génesis de la placa ateromatosa, **(Criado y Moya, 2009)**.

Durante la oxidación lipídica por los RL, el ácido graso, al oxidarse, se convierte en radical libre de ácido graso con capacidad de oxidar a otra molécula vecina, con lo que se propaga y perpetúa el proceso oxidativo. Este proceso es conocido como peroxidación lipídica, y genera numerosos subproductos, entre ellos el malondialdehído (MDA), cuya determinación en tejidos, plasma u orina es uno de los métodos de evaluar el estrés oxidativo, **(Criado y Moya, 2009)**.

En caso de las proteínas se oxidan preferentemente los aminoácidos (fenilalanina, tirosina, triptófano, histidina y metionina) y como consecuencia se forman entrecruzamientos de cadenas peptídicas, fragmentación de la proteína y formación de grupos carbonilos e impiden el normal desarrollo de sus funciones (transportadores iónicos de membranas, receptores y mensajeros celulares, enzimas que regulan el metabolismo celular, etc.), **(Criado y Moya, 2009)**.

Orta molécula que es dañada por los RL es el ADN; el daño a los ácidos nucleicos produce bases modificadas, lo que tiene serias consecuencias en el desarrollo de mutaciones y carcinogénesis por una parte o la pérdida de expresión por daño al gen específico, **(Criado y Moya, 2009)**.

### **2.11.2. Oxidación de Aceites Vegetales Vírgenes**

La reacción de oxidación es una reacción en cadena, es decir, que una vez iniciada, continúa acelerándose hasta la oxidación de las sustancias sensibles. Con la oxidación, aparecen olores y sabores a rancio, se altera el color y la textura, y descende el valor nutritivo al perderse algunas vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados. Además, los productos formados en la oxidación pueden llegar a ser nocivos para la salud, **(Navas, 2010)**.

Los ácidos grasos poliinsaturado, presentes en los alimentos, pueden oxidarse a hidroperóxidos mediante reacciones de oxigenación catalizadas por una lipoxigenasa, por fotooxidación o por autooxidación química. La lipoxidasa, cataliza la oxidación de los lípidos principalmente insaturados. Las peroxidasas transfieren de los peróxidos a un sustrato oxidable. Los peróxidos formados por las lipoxidasas son muy buenos suministradores de oxígeno en reacciones catalizadas por peroxidasas y pueden servir incluso para oxidar nuevas moléculas de ácidos grasos insaturados, siendo, por lo tanto, una nueva fuente de oxidación, **(Navas, 2010)**.

La oxidación de los lípidos, en alimentos, se debe a la reacción del oxígeno con los lípidos insaturados por dos vías: la autooxidación y la oxidación fotosensibilizada, **(Navas, 2010)**.

La autooxidación es una reacción en cadena de radicales libres que consta de 3 etapas: (a) la reacción de iniciación da lugar a la formación de radicales libres a partir de los ácidos grasos poliinsaturados o peróxidos lipídicos, (b) las reacciones de propagación que se caracterizan por acumulación de peróxidos lipídicos, por la acción de oxígeno gaseoso y la presencia de los radicales libres, y (c) las reacciones de paralización y terminación en la que los radicales libres se asocian en productos y componentes no radicales, dando origen a la descomposición de peróxidos en aldehídos, cetonas, alcohol, éter, hidrocarburos, ácidos grasos más cortos, epóxidos etc., estos compuestos son llamados productos secundarios de oxidación y son los responsables del desarrollo de sabores y aromas desagradables, conocido como enranciamiento oxidativo, **(Navas, 2010)**.

Algunos aceites y alimentos grasos resisten esta modificación en un amplio grado mientras que otras son más susceptibles dependiendo del grado de insaturación, de la presencia de agentes antioxidantes y otros factores como la presencia de luz por ejemplo que acelera la oxidación, **(Sayago, 2007)**.

Los peróxidos son en general compuestos tóxicos. Los hidroperóxidos del ácido linoleico son de los peróxidos más tóxicos que se producen en las alteraciones de las grasas, en general, alteran las vitaminas y la hemoglobina, inhiben algunas enzimas, oxidan los grupos –SH y pueden ejercer una acción mutagénica, también pueden producir lesiones patológicas en el aparato digestivo y se creen que sensibilizan la acción de ciertos agentes cancerígenos, **(Sayago, 2007)**.

### **2.11.3. Proceso de Oxidación de Lípidos**

La oxidación de lípidos implica sobre todo la reacción del oxígeno con los ácidos grasos insaturados (ácidos grasos con dobles enlaces), aunque las reacciones secundarias con ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces) no se pueden descartar. La oxidación de lípidos en los alimentos es más comúnmente asociado con las grasas y aceites a granel; en fase oleosa o de emulsiones, y desde luego que es donde la reacción es más evidente para los consumidores. Sin embargo, es importante reconocer que la oxidación se produce allí donde se encuentran los ácidos grasos insaturados, y que significa en, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**:

- Triacilgliceroles: en tejidos adiposos y grasas, **(Ladikos y Lougois, 1990)**, aceites de semillas, aceites esenciales de frutas, el chocolate, **(Rossi-Olson, 2011)**, los aceites a granel **(Schaich K., 2005)**, y las fases de aceite de emulsiones, **(Sun, Wang, Chen y Li, 2011)**.
- Fosfolípidos: en las membranas (en especial alimentos musculares, órganos, verduras), las capas de salvado, yema de huevo, y emulsionantes naturales y sintéticos, **(Porter y Caldwell y Mills, 1995)**.
- Los ácidos grasos libres: productos de hidrólisis de los triacilgliceroles y fosfolípidos derivados de ácidos, bases, calor con y sin agua, y acción de la lipasa, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**, se encuentran sobre todo en los alimentos que se calientan, tienen contaminación microbiana, productos lácteos o lípidos tropicales, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

- Ácidos grasos esterificados a otras moléculas tales como esteroides y alcoholes (como en ceras), **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

Esto significa que la oxidación de lípidos puede ser bastante generalizada en los alimentos, incluso en formulaciones de bajas en lípidos, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

#### **2.11.4. Mecanismos de Oxidación de Lípidos: Tradicional Cadena de los Radicales Libres**

La oxidación de lípidos durante mucho tiempo ha sido reconocido como una reacción en cadena de radicales libres que se produce en tres etapas: Iniciación, propagación y terminación (Figura 15), **(Schaich, 2013)**.

La reacción en cadena de radicales es responsable de varias características cinéticas únicas que presentan desafíos diferentes en la medición y el control de la oxidación de lípidos, y son parte de la razón por la que la oxidación de los lípidos es un problema importante en la estabilidad de almacenamiento de los alimentos, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**:

- La oxidación lipídica es auto-catalítica: una vez iniciada, la reacción se auto-propaga y auto-acelerada.
- Cuántas más moléculas de lípido se oxidan más de un LOOH se forma por la iniciación. Longitudes de cadena de varios cientos de moléculas de lípidos se han medido.
- Cantidades muy pequeñas de pro-oxidantes y antioxidantes provocan grandes tipos de variaciones.
- La reacción produce múltiples productos intermedios y productos que cambian con las condiciones de reacción y el tiempo.

##### **2.11.4.1. Iniciación (LH→L\*)**

Debido a que la oxidación de lípidos ocurre tan fácilmente y se encuentra de manera ubicua, se refiere a menudo como un

proceso espontáneo. Sin embargo, la oxidación de lípidos no es termodinámicamente espontánea, es decir, que no puede suceder por sí sola. El oxígeno normal es un estado de espín triplete (electrones impares paralelo), mientras que los dobles enlaces están en estados de espín singlete (electrones con espín opuesto), por lo que el oxígeno atmosférico no puede reaccionar directamente con enlaces dobles de lípidos. (Figura 14), (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).



**Figura 14.** Oxidación de Lípidos Limitada, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).

Por lo tanto, la oxidación de lípidos siempre requiere de un iniciador o catalizador para quitar un electrón ya sea del lípido o del oxígeno, para la creación de radicales, o para cambiar el espín del electrón del oxígeno de manera que se puede añadir directamente al doble enlace para formar hidroperóxidos que se descomponen a radicales. Cualquiera que sea el iniciador, el resultado final es la formación de radicales alquilo de lípidos iniciales que reaccionan con el oxígeno para iniciar el proceso de oxidación, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).

#### 2.11.4.2. Propagación y Ramificación

##### A) Reacciones Básicas

La propagación es el corazón del proceso de oxidación. En ella, el oxígeno se suma a las tasas de difusión controlada (casi instantáneamente) a radicales alquilo de lípidos relativamente no reactivos, L\*, convirtiéndolos a radicales peroxilo reactivos, LOO\* (Reacción b en la Figura 15), que establecen la cadena de los radicales libres y mantienen el funcionamiento. Los radicales peroxilo extraen hidrógenos a partir de moléculas de



lípidos adyacentes para formar hidroperóxidos, LOOH, y generan nuevos radicales L\* en el proceso (Reacción c, figura 15). Cada nuevo L\* radical a su vez agrega oxígeno, forma un radical peroxilo, extrae un hidrógeno de otro lípido, forma otro hidroperóxido, y genera un nuevo radical L\* para proporcionar la fuerza motriz de la reacción en cadena (Reacción d, Figura 15). El proceso continúa indefinidamente hasta que no hay ninguna fuente de hidrógeno disponible o la cadena es interceptada, **(Schaich K., 2005)**.

Los radicales peroxilo son los principales portadores de la cadena en la oxidación temprana. Sus extracciones son bastante lentas y específicas ( $k = 36 - 62 \text{ l / mol / s}$ ), **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**, lo que contribuye a un período inicial lento en el que la oxidación de lípidos puede o no pueden ser detectados.

La cadena continúa una extracción cada vez desde el punto de iniciación. Sin fuerzas que descomponen los hidroperóxidos, este proceso puede continuar indefinidamente a una velocidad lenta. Sin embargo, las reacciones se aceleran cuando los hidroperóxidos se acumulan y luego se descomponen a radicales alcoxi, radicales peroxilo, radicales hidroxilo por metales, el calor y la radiación ultravioleta (UV) (reacciones e, f, y g en la Figura 15). Una distinción importante en descomposiciones de hidroperóxido es que las reacciones de metal son heterolíticas, produciendo un radical y un ion, mientras que el calor y la luz UV induce la escisión homolítica que genera dos radicales, alcoxilo (LO\*) y hidroxilo (HO\*), los cuales reaccionan mucho más rápidamente y más generalmente que el LOO\*. Una vez formados, estos radicales aumentan en gran medida la tasa de reciclaje en la reacción en cadena, y atacan a más sitios sobre los lípidos, **(Schaich, 2005)**.

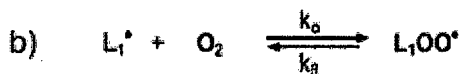
## Reacción Clásica en Cadena de los Radicales Libres de la Oxidación de Lípidos

**Iniciación** (formación de radicales libres a partir de lípidos)

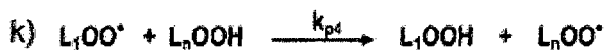
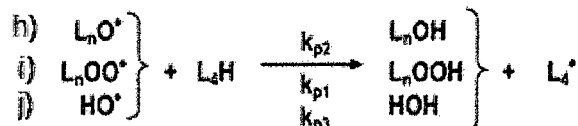


### Propagación

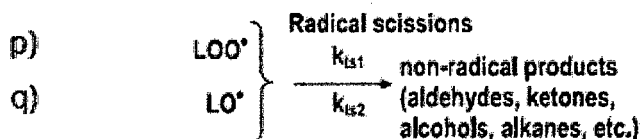
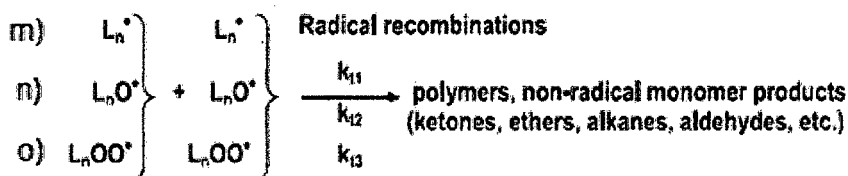
Reacción en cadena de los radicales libres establecida



La ramificación de cadena de los radicales libres (inicio de nuevas cadenas)



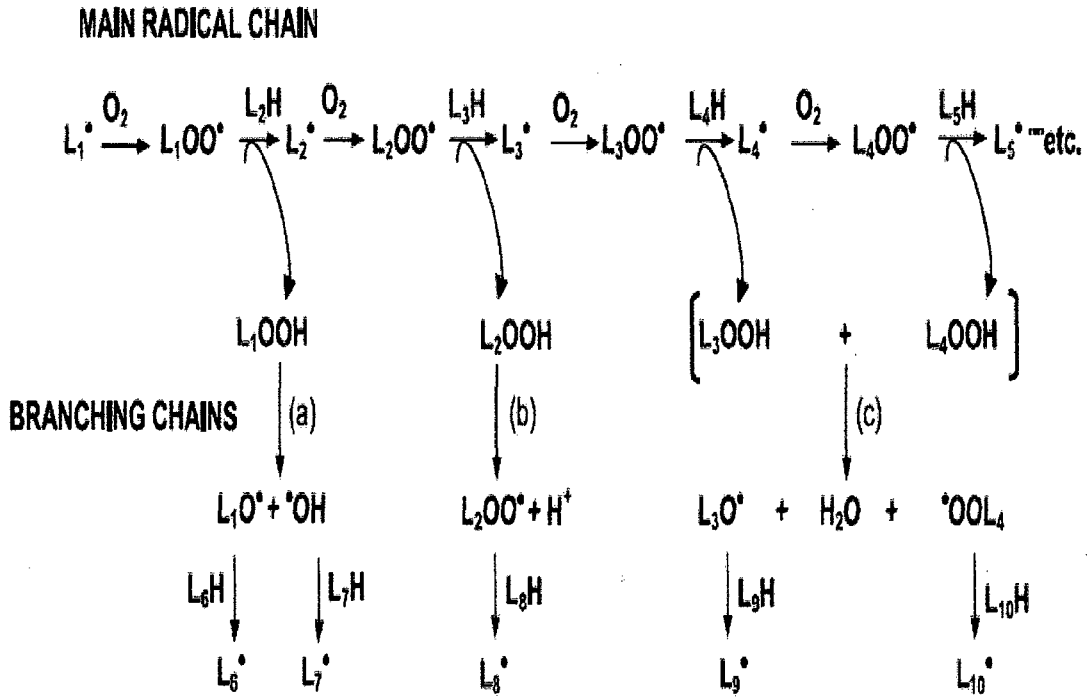
**Terminación** (formación de productos no radicales)



**i-iniciación; o-oxigenación; β-O<sub>2</sub> escisión; p-propagación; d-disociación; t-terminación; ts-terminación/escisión**

**Figura 15.** Reacción Clásica en cadena de los radicales libres de la oxidación de lípidos (Schaich K., 2005).

### Cadena de Radicales Principal



### Ramificación de Cadenas

**Figura 16.** Expansión de la reacción en cadena de la oxidación de lípidos por ramificación de cadena, (Schaich K., 2005).

La propagación extiende la cadena original del primer radical por extracción de hidrógeno (cadena arriba). La ramificación de cadena se produce cuando los productos de hidroperóxido de la cadena original, se descomponen por (a) la reducción, (b) la oxidación, o (c) dismutación bimolecular a múltiples radical y todos inician nuevas cadenas. Las tasas de propagación son más rápidas en las cadenas con  $LO^\bullet$  como el portador de la cadena, (Schaich K., 2005).

El cambio en la velocidad de propagación y la extracción específica clasifica la progresión en una segunda etapa de propagación llamada ramificación, en el que la reacción en cadena de radicales se expande, estableciendo nuevas

cadena a velocidades más rápidas. El efecto de la ramificación se muestra esquemáticamente en la figura 16. La oxidación de lípidos reúne vapor, el aumento en la velocidad y el grado en el que LO\* se convierte en el dominante, y el más rápido portador de cadena ( $k = 106-107 \text{ l / mol / s}$ ), **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**; las cadenas secundarias se amplifican y la difusión de la oxidación de lípidos es manera espectacular más allá de la cadena de radicales inicial. De esta manera, un solo suceso iniciador puede conducir a la oxidación secuencial de, literalmente, cientos de moléculas en la cadena principal y en las cadenas de ramificación secundaria, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**

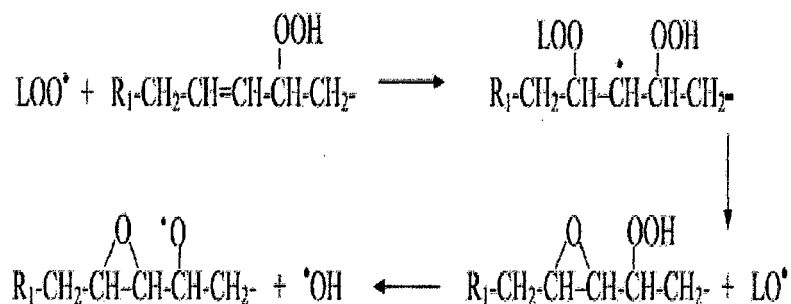
Un punto final acerca de la propagación se debe hacer antes de continuar. En las primeras etapas de la oxidación de lípidos cuando los hidroperóxidos están en bajas concentraciones, las descomposiciones de los hidroperóxidos se producen monomolecularmente (de uno en uno) como se muestra en las reacciones de e, f, y g de la Figura 15. Sin embargo, como la oxidación progresa y los hidroperóxidos se acumulan, la descomposición se desplaza a mecanismos bimoleculares en los que dos hidroperóxidos interactúan para inducir la descomposición, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**

La explicación tradicional propone que el enlace de hidrógeno de los hidroperóxidos se somete a hidrólisis concertada para producir dos radicales (Figura 17), los cuales van a iniciar reacciones de ramificación y aceleran la velocidad de oxidación, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**:



**Figura 17.** Hidrólisis Concertada del Enlace de Hidrógeno de los Hidroperóxidos, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**

Una explicación alternativa sugiere que el dramático aumento de la oxidación es cinéticamente más probable cuando un radical reacciona lentamente con un hidroperóxido y no se propaga para generar una poderosa cascada de tres radicales (Figura 18) muy reactivos:  $LO^*$ , epoxi- $LO^*$  y  $^*OH$ , (**Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013**):



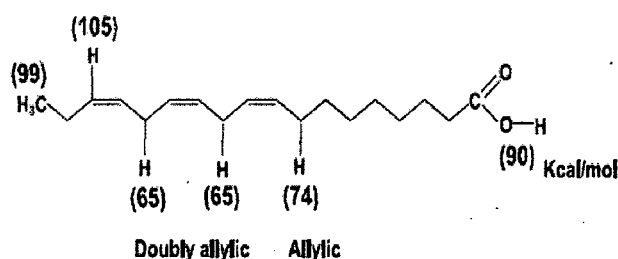
**Figura 18.** Reacción de un Radical y un Hidroperóxido, (**Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013**)

Cualquiera que sea el mecanismo es operativo, el efecto inicial de la descomposición bimolecular es acelerar drásticamente la oxidación de lípidos. Sin embargo, como la oxidación avanza, con el tiempo los desgloses de hidroperóxidos y las reacciones de terminación, tales como la recombinación radical alcoxilo o la escisión radical, se vuelven más rápidas que el inicio de nuevas cadenas. La oxidación continúa y luego desacelera formando productos secundarios estables, malos sabores y olores que se hacen detectables, (**Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013**)

#### **B) Los sitios de la extracción de hidrógeno y $L^*/ LOOH$ Formación en ácidos grasos insaturados**

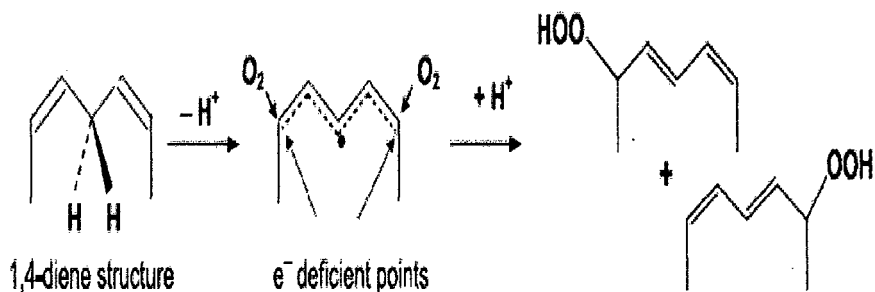
Durante la propagación, los radicales libres oxilo de lípidos extraen hidrógenos a partir de las posiciones de carbono con la unión más débil. Las energías más bajas de los enlaces de C-H en los ácidos grasos insaturados son los hidrógenos alílicos (al lado de enlaces dobles) por lo que estos se convierten en

los sitios preferidos para el retiro H y la formación de un radical libre. Los grupos  $-\text{CH}_2-$  entre dos enlaces dobles en los lípidos (llamadas doblemente alílico) están doblemente activados de modo que las energías de los enlaces C-H caen enormemente (Figura 19), (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).



**Figura 19.** Enlaces de C-H y  $-\text{CH}_2-$ , (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

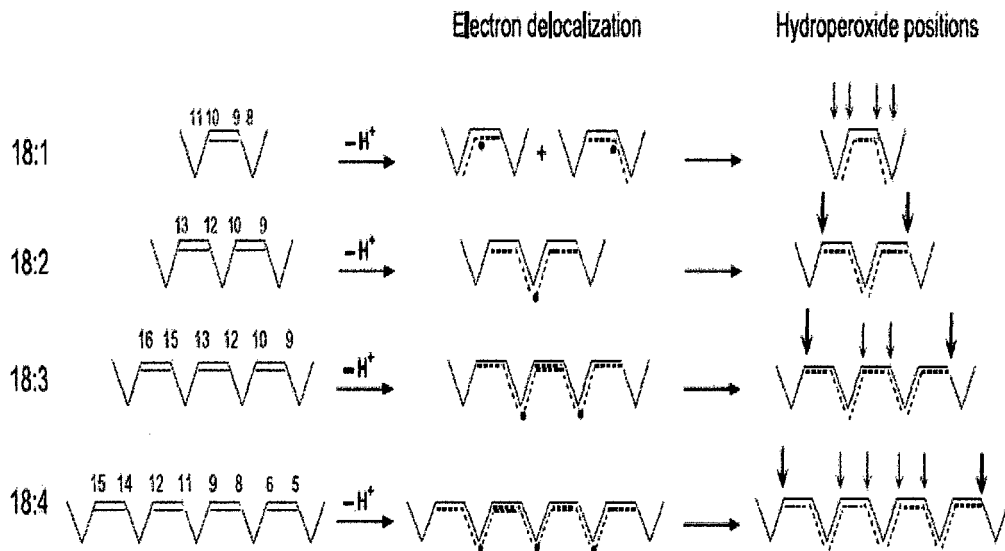
Por lo tanto, el orden de preferencia por las extracciones de hidrógeno en ácidos grasos es H entre dos dobles enlaces (lo que explica en parte por qué oxidabilidad de ácidos grasos aumenta con el número de enlaces dobles) > solo los H alílico junto a los dobles enlaces >> H adyacente al grupo  $-\text{COOH}$  > el H en grupos metileno más abajo en las cadenas de acilo, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013). Cuando un hidrógeno se extrae entre dos enlaces dobles, el electrón libre restante (es decir, el radical) se distribuye a través de un sistema de resonancia estabilizado de doble enlace (Figura 20). La mayor densidad de electrones se concentra en el centro (el enlace más débil C-H), por lo que las posiciones externas se vuelven relativamente deficiente en electrones, proporcionando objetivos mejorados para la adición de oxígeno y la formación de hidroperóxido, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).



**Figura 20.** Sistema de Resonancia Estabilizado de Doble Enlace. (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

Por tanto, el ácido linoleico forma hidroperóxidos casi exclusivamente en las posiciones externas carbonos 9 y 13 durante la autooxidación. En los ácidos grasos poliinsaturados con más de dos enlaces dobles y múltiples estructuras 1,4-dieno, los hidroperóxidos dominantes de la autooxidación de ácidos grasos también se encuentran en las posiciones externas (Figura 21), independientemente del número de dobles enlaces, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).

Dos excepciones notables a esta regla son los siguientes: (1) los hidrógenos se extraen (y se forman hidroperóxidos) igualmente en ambos carbonos de doble enlace y dos carbonos vecinos de enlaces dobles aislados, como en el ácido oleico, y (2) hidroperóxidos internos, por ejemplo, carbonos 10 y 12 en el ácido linoleico, se forman durante la oxidación fotosensibilizada por oxígeno singlete, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)



**Figura 21.** Distribuciones de electrones de resonancia y ubicaciones correspondientes de hidroperóxidos, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

Hidroperóxidos formados cuando los hidrógenos se extraen de los ácidos grasos insaturados. Las flechas gruesas indican las posiciones dominantes en la formación de hidroperóxidos, **(Schaich K., 2005)**.

Otro punto importante a reconocer sobre la oxidación lipídica es que en la extracción de hidrógeno no se rompe los enlaces dobles: cuando se forman los radicales, los dobles enlaces migran al siguiente carbono y se invierten a partir de CIS a TRANS, incluso en dobles enlaces aislados tales como el ácido oleico (Figura 22a). En los sistemas de 1,4-dieno de los ácidos grasos poliinsaturados, la migración del doble enlace genera un dieno conjugado (Figura 22b), **(Porter, Caldwell y Mills, 1995)**.





se determina por el número de cadenas de radicales cuando el proceso ha terminado, **(Schaich K., 2005)**

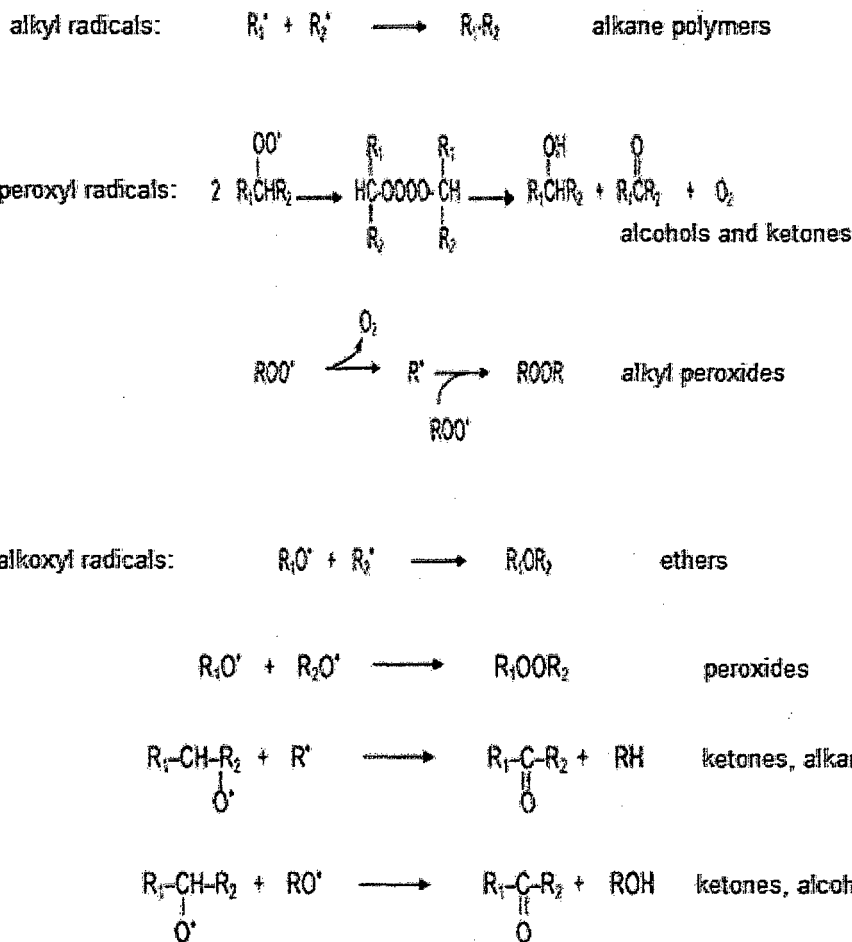
Los radicales libres de lípidos terminan formando productos no radicales por cuatro mecanismos principales (Schaich K., 2005):

- Recombinaciones radicales.
- Reacciones de escisión A y B de radicales alcoxilo cuando las fuentes de protones (por ejemplo, agua) están presentes para estabilizar los productos.
- Co-oxidación de moléculas no lipídicos, tales como proteínas.
- Eliminaciones de grupo o dismutación.

Los mecanismos dominantes en un determinado alimento son influenciados por la naturaleza y concentración de los radicales, la temperatura y la presión de oxígeno, y el disolvente, **(Schaich K., 2005)**.

#### **A) Recombinaciones radicales**

Radicales formados a partir de lípidos oxidantes pueden recombinarse en combinaciones ilimitadas para generar una amplia gama de productos de oxidación. No obstante, las recombinaciones no son al azar, y distintos patrones de recombinaciones favorecidas se han identificado. Algunas de las recombinaciones más importantes responsables de los principales productos de la oxidación de lípidos son (Figura 23), **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**:



**Figura 23.** Algunas de las recombinaciones más importantes responsables de los principales productos de la oxidación de lípidos, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

La temperatura y la presión de oxígeno son determinantes en las vías de recombinación de radicales. Recombinaciones de  $L^{\bullet}$  dominan a bajas presiones de oxígeno ( $p\text{O}_2 = 1$  a aproximadamente 80-100 mmHg) y las altas temperaturas (reducida solubilidad del oxígeno) (Figura 25). (Labuza, (1971) citado por Schaich K. et. al., (2013)) Alto contenido de oxígeno favorece reacciones  $\text{LOO}^{\bullet}$ , pero entonces, los dobles enlaces compiten con la combinación. Las contribuciones de  $\text{LO}^{\bullet}$  a la mezcla de productos dominan en las etapas secundarias de oxidación a temperaturas y presiones de oxígeno moderadas,

cuando LOOH o LOO\* se descomponen son más rápidos que cuando se forman. **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).**

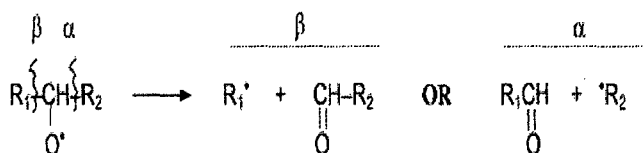
Las recombinaciones de radicales aumentan su importancia en relación con otros productos a medida que aumenta la oxidación y los productos intermedios se acumulan. Por ejemplo, radicales alcoxilo de hydroperoxyepidioxides se calentaron a 40°C y generaron > 90% de dímeros, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).**

Las recombinaciones de radicales son responsables de muchas de las características de los aceites o lípidos oxidados. Las recombinaciones son la difusión y la concentración controlada, **(Tsentalovich, Kulik, Gritsan y Yurkovskaya, 1998)**, por lo que se producen más fácilmente cuando la viscosidad y las concentraciones de radicales son ambas altas, es decir, en aceites puros después de oxidación extensa; las recombinaciones disminuyen con la dilución de lípidos y son probablemente poco importantes en disolventes polares, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).**

Las recombinaciones de radicales Alquilo primario generan los dímeros y polímeros que dan cuenta del aumento de la viscosidad en los aceites oxidados. Tal vez lo más importante, de las recombinaciones de radicales alcoxilo y sus productos de fragmentación (véase más adelante) es que generan bajos niveles de compuestos volátiles y componentes de sabor que aumentan los producidos en las reacciones de escisión y proporcionan los matices y completan los sabores secundarios. **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).** Las cetonas y peróxidos de dialquilo, en particular, dan como resultado únicamente las reacciones de recombinación.

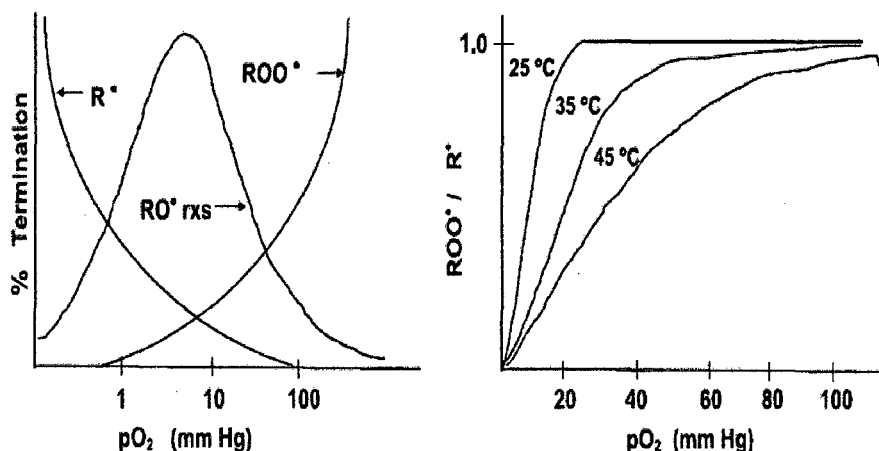
## B) Las reacciones de escisión de LO\*

La escisión de radicales alcoxilo (Figura 24) probablemente tiene las mayores consecuencias prácticas en la oxidación de lípidos debido a que los productos generados son responsables del distintivo volátil, malos olores y malos sabores que son fuertes marcadores de la rancidez. Los radicales alcoxilo de los lípidos se someten a escisión del enlace del C–C sobre cada lado del grupo alcoxilo para dar una mezcla de productos finales de carbonilo (aldehídos y típicamente oxo-ésteres de los radicales alcoxilo iniciales) y libre de radicales alquilo que pueden continuar la reacción en cadena, (**Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013**).



**Figura 24.** Reacciones de escisión de LO\*, (**Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013**).

Fragmentos radicales insaturados se oxidan más y luego se someten a escisiones secundarias para producir carbonilos y alcanos de cadena más corta. En consecuencia, las mezclas de productos que se acumulan en los lípidos oxidados pueden llegar a ser bastante complejo. (Schaich K., 2005)



**Figura 25.** Efectos de oxígeno y la temperatura en los procesos de terminación en la oxidación de lípidos, **(Schaich, 2005)**

Muchos productos oxigenados son favorecidos por los altos contenidos de oxígeno y las bajas temperaturas, las reacciones de alquilo y dimerizaciones son favorecidos por los bajos niveles de oxígeno y temperaturas elevadas, **(Schaich, 2005)**

La escisión de radicales alcoxilo requiere un fuerte donador de protones. Los átomos de hidrógeno y los enlaces de hidrógeno en ambos estados de transición intermedios y productos polares finales de escisión, reducen la energía de activación para la ruptura del enlace; luego el H<sup>+</sup> del disolvente, lo añade inmediatamente a los radicales de escisión para proporcionar la fuerza impulsora para la reacción, **(Tsentlovich, Kulik, Gritsany Yurkovskaya, 1998)**.

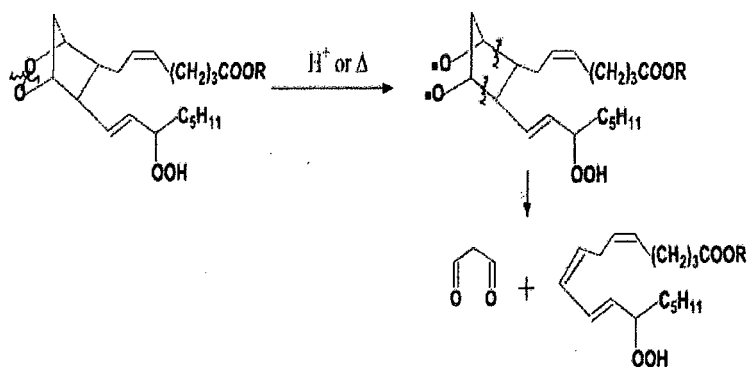
Por lo tanto, las escisiones de los radicales alcoxilo son muy rápidas en presencia de agua (por ejemplo, en emulsiones) y, de hecho representan alrededor de la mitad de las reacciones de radicales alcoxilo en medios polares, especialmente en soluciones diluidas de lípidos donde se reduce la competencia

de extracción de hidrógeno, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

Sin embargo, la mayor contribución de esta terminación (y propagación) de reacción es a temperaturas elevadas porque la escisión de  $LO^*$  tiene una gran  $E_a$  y  $\log A$  (factor de Arrhenius). **(Horner, Choi y Newcomb , 2000)**

El calor acelera las escisiones de los radicales alcoxilo en todos los disolventes, aunque el patrón de escisión puede cambiar a medida que la temperatura aumenta. La escisión es un proceso de menor importancia en lípidos puros a temperatura ambiente, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

La discusión de las reacciones de escisión estaría incompleta sin la mención de malondialdehído (MDA), uno de los productos más conocidos de la oxidación de los lípidos. MDA surge de múltiples escisiones de hidroperóxidos cíclicos internos formados en ácidos grasos con tres o más enlaces dobles (linolénico y mayores) (Figura 26). **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.



**Figura 26.** Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación de ácido linolénico y mayores, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**

El MDA es muy utilizado - y mal utilizado - en ensayos de oxidación de lípidos debido a que puede ser detectado sin la extracción de lípidos. Sin embargo, no es un producto universal y no es apropiado para el ensayo de oxidación de ácidos grasos con menos de tres enlaces dobles. La formación de MDA se facilita en fases lipídicas puras, con lípidos y oxígeno escasos, y por oxidación fotosensibilizada, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**, también requiere calor suave y ácido para la escisión en endoperóxido.

En lípidos autooxidados, los rendimientos de la auténtica MDA son por lo general menos de 0,1%, aunque en ácidos grasos fotosensibilizados donde los hidroperóxidos internos se forman en concentraciones altas las concentraciones de MDA pueden llegar a 5% o más, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**. Por lo tanto, este ensayo no es la mejor opción para el análisis de la oxidación de lípidos en la mayoría de los sistemas alimentarios.

### **C) Co-oxidación de las moléculas no lipídicas**

Si bien se necesita transferencia de hidrógeno para saciar un radical lipídico particular, el átomo de hidrógeno puede venir de cualquier molécula que tenga (mal adheridas) hidrógenos extraíbles y esté situada cerca de los lípidos. En los alimentos y en las células, los lípidos están estrechamente relacionados con las proteínas, carotenoides y otros pigmentos, almidones, antioxidantes y vitaminas, y la transferencia radical a cualquiera de estas moléculas a través de la extracción de hidrógeno o adición de  $LOO^*$  o  $LO^*$  a los enlaces dobles que pueden conducir a la co-oxidación de estas moléculas, **(Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)**.

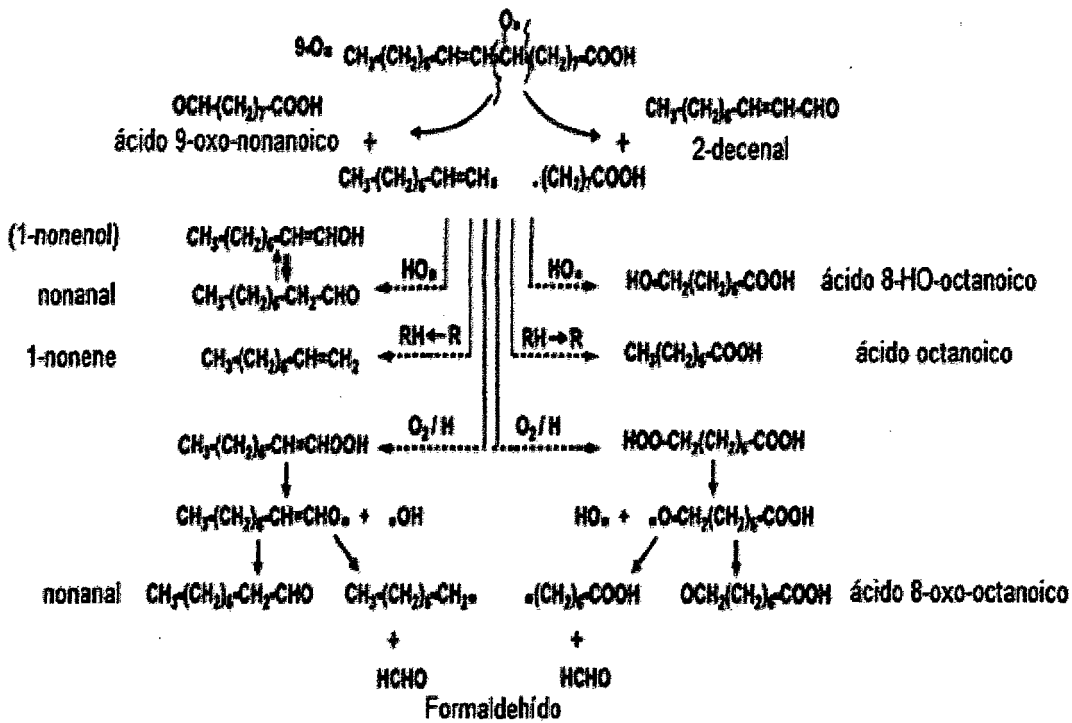


Las Co-oxidaciones son un proceso en el que la interceptación de los radicales libres de lípidos por moléculas de no lipídicas que detienen la propagación y forman productos de lípidos en un lado, durante la transferencia de radicales y la potencial oxidación de proteínas y otras biomoléculas, **(Schaich, 2008)**.

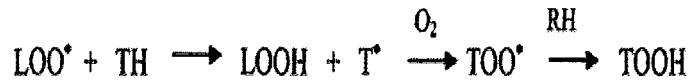
Esta reacción es similar a la de los antioxidantes pero difiere críticamente en que los radicales formados no son estables. La mayor parte de estos radicales no lipídicos añaden oxígeno para formar radicales peroxilo que también extraen H de otras moléculas y conducen a la degradación oxidativa del objetivo molecular. De esta manera, los lípidos sirven para 'difundir' daños de oxidación a otras moléculas que luego proporcionan huellas de la oxidación de lípidos en los alimentos y los sistemas biológicos, **(Schaich, 2008)**.

Las reacciones de co-oxidación son genéricas de moléculas objetivo y se muestran en las figuras 28 y 29. TH es cualquier molécula objetivo y RH es cualquier molécula con un hidrógeno extraíble, ya sea de lípidos o no lípido. Los enlaces dobles conjugados en la figura 29 pueden estar en cualquier molécula, pero son particularmente numerosos en carotenoides, **(Schaich, 2005)**.

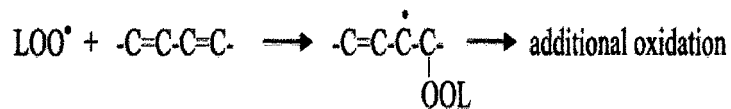
## ÁCIDO OLEICO



**Figura 27.** Vías de escisión para el ácido oleico, (Schaich, 2005)



**Figura 28.** Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación de ácido oleico, (Schaich, 2005)



**Figura 29.** Escisión que se produce con las mezclas complejas de productos en la oxidación con enlaces dobles conjugados, (Schaich, 2005)

Tal vez las co-oxidaciones más notables implican proteínas. Los hidrógenos extraíbles están disponibles en los grupos amino de la cadena lateral (Figura 31) y los grupos tiol (Figura 32), tanto la histidina, lisina, arginina y la cisteína son los principales objetivos para la extracción de hidrógeno a partir de proteínas, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013). Las reacciones de adición de radicales también han sido reportados (figuras 31b y 32b), (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013).

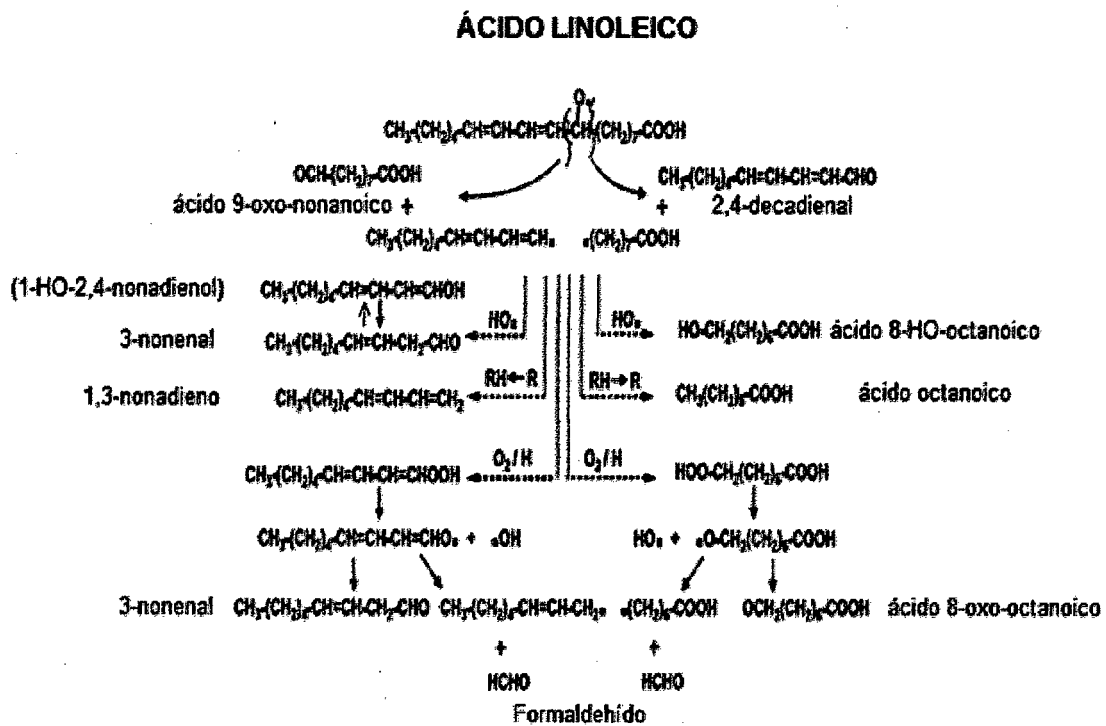
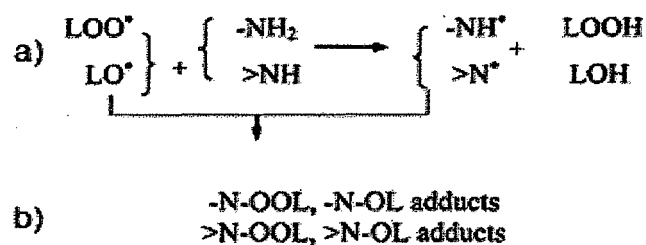
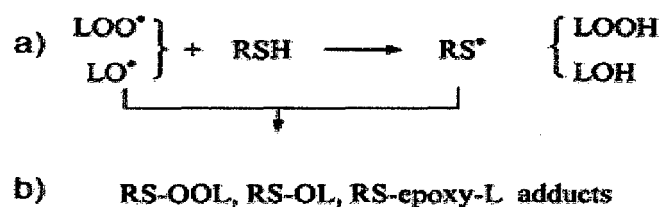


Figura 30. Vías de escisión para el ácido linoleico. (Schaich, 2005)



**Figura 31.** Hidrógenos extraíbles de los grupos amino de la cadena lateral, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)



**Figura 32.** Hidrógenos extraíbles de los grupos tiol, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

Las reacciones de Co-oxidación no deben ser ignoradas en la consideración de la cinética de oxidación de lípidos, los mecanismos y en los efectos globales en los alimentos y los sistemas biológicos. Un problema crítico es que mientras que las reacciones de co-oxidación terminan en las cadenas de oxidación de lípidos estas actúan como antioxidantes, al mismo tiempo, y la oxidación de lípidos por medio de los hidroperóxidos o productos intermedios disminuye, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

Los productos de la Co-oxidación también limitan de extracción de lípidos para el análisis y, a menudo eliminan las corrientes de productos de los lípidos normalmente analizadas. Como resultado de ello, en la oxidación de lípidos en sistemas complejos es probable que siempre sea subestimada - a veces severamente - a menos que los productos de la co-oxidación también se midan. En los alimentos, por ejemplo, significa supervisar al menos la oxidación en las proteínas y el blanqueo de pigmentos. Las moléculas objetivo sensibles deben ser identificados para cada producto alimenticio para adaptar los análisis para considerar totalmente la oxidación de los lípidos, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

### ÁCIDO LINOLÉNICO

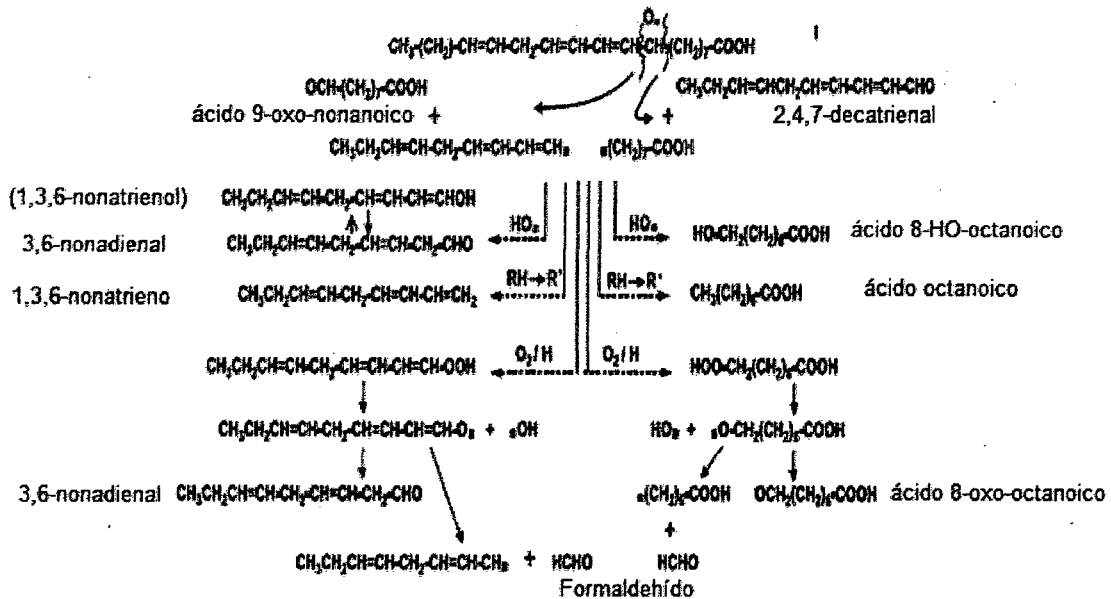
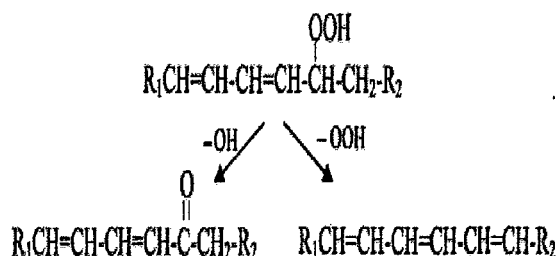


Figura 33. Vías de escisión para el ácido linolénico, (Schaich, 2005)

#### D) Eliminaciones de grupo

Las eliminaciones de grupo son una forma menor de la terminación, pero es importante reconocer la reacción, ya que representa algunos productos de la oxidación de lípidos, que no se forman fácilmente por otros mecanismos. Las eliminaciones más comunes son HO- y HOO-, (a) que pueden eliminar el LOOH, produciendo un carbonilo interno (cetona) y (b) un producto desaturado con un doble enlace adicional (Figura 34), (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013). El producto específico formado está determinado por la posición del hidroperóxido en la cadena de ácido graso.

La formación de la cetona, el producto dominante, evita la descomposición del hidroperóxido para reactivar los radicales alcóxilo. La adición de un doble enlace a un ácido graso poliinsaturado forma un trieno conjugado muy reactivo que es altamente susceptible a la adición de radicales y una variedad de otras oxidaciones secundarias. Por lo tanto, mientras se termina una única cadena de radicales, este producto puede aún contribuir a las cadenas adicionales, añadiendo la complejidad de la oxidación de lípidos, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)



**Figura 34.** Producto desaturado con un doble enlace adicional, (Schaich, Shahidi, Zhong y Eskin, 2013)

## **2.12. ESTABILIDAD OXIDATIVA**

El estado oxidativo del producto, indica su situación oxidativa actual y que depende de las condiciones de manejo, almacenamiento y procesamiento de las materias primas y productos intermediarios y finales, en suma de la historia del producto, más no proporciona ninguna información acerca de su posible estabilidad. Cuando se trata de estabilidad, en realidad estamos queriendo estimar su comportamiento futuro, donde no solamente la historia del producto está implicada, sino también su composición química, es decir la presencia o ausencia de antioxidantes o pro-oxidantes, la cantidad de ácidos grasos insaturados y su tipo, etc., factores de vital importancia en la estabilidad de un aceite o grasa, **(Barrera, 1998)**.

La estabilidad oxidativa se define como la resistencia de una matriz lipídica a la oxidación por efecto de la temperatura, luz, oxígeno, presencia de metales etc., lo que genera el deterioro de un aceite o grasa en un periodo de tiempo razonablemente corto, **(Frankel, 1998)**.

### **2.12.1. Relación empírica entre el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) y la temperatura**

Se estableció una relación matemática entre los valores de OSI y la temperatura utilizada en el equipo Rancimat, tal como lo han señalado para aceites vegetales, **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996)**.

En la ecuación empírica (17), el término A representa el coeficiente de temperatura, que indica que tan susceptible es el aceite virgen al aumento de la temperatura durante el ensayo de oxidación acelerada, dicho valor es calculado a partir de la pendiente de las rectas que se obtienen al representar el logaritmo decimal de OSI en función a la temperatura. El término B corresponde a un valor empírico sin significación física, **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996)**.

$$\text{Log(OSI)} = AT + B \quad (17)$$

La ecuación empírica (17) puede utilizarse para calcular los valores de OSI a temperaturas distintas a aquellas utilizadas en la oxidación acelerada, para lo cual se aplican procedimientos matemáticos de interpolación o extrapolación; en este último caso se extrapolaría a las temperaturas usuales de almacenamiento de los aceites, **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996).**

No obstante, con el propósito de evaluar la capacidad predictiva de la ecuación empírica, se calcularon los valores de OSI para una temperatura de 25°C, **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996).**

También se aplicó el cálculo del error asociado al valor extrapolado aplicando el método de propagación de errores. En primer lugar se hizo la transformación de la ecuación empírica (17) para obtener la ecuación (18) **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996):**

$$\text{OSI} = 10^{AT+B} \quad (18)$$

Para obtener el error de la extrapolación se usó la ecuación diferencial (19) en la cual el diferencial total viene dado por la suma de las derivadas parciales de cada uno de los términos, **(Nakatani, Tachibana y Kikuzaki, 2001; Méndez, Sanhueza, Speisky y Valenzuela, 1996):**

$$\delta \text{OSI} = \left( \frac{\partial \text{OSI}}{\partial T} \right)_{A,B} \delta T + \left( \frac{\partial \text{OSI}}{\partial A} \right)_{T,B} \delta A + \left( \frac{\partial \text{OSI}}{\partial B} \right)_{T,A} \delta B \quad (19)$$



## **2.13. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE AUTOOXIDACIÓN LIPÍDICA**

Diversos factores relacionados con los ácidos grasos presentes, las características físicas y químicas del alimento así como también con la presencia de otros componentes, tienen efecto sobre el proceso de oxidación lipídica. A continuación se enumeran y describen los principales factores involucrados, **(Ixtaina, 2010)**:

### **a) Composición de los ácidos grasos**

El número, posición y geometría de los dobles enlaces afecta la velocidad de oxidación. Las menores energías de disociación para hidrógenos unidos a carbonos se encuentran entre dobles enlaces adyacentes, **(Nawar, 1996)**. Por lo tanto, éstos son los sitios más favorecidos termodinámicamente para ser atacados por los radicales peroxilos, por ello a mayor grado de insaturación la velocidad de oxidación es mayor. Por otra parte, los isómeros cis se oxidan más rápidamente que los trans, la longitud de la cadena del ácido graso no tiene efecto aparente en la velocidad o extensión de la formación de radicales y los ácidos grasos libres se oxidan a mayor velocidad que los esterificados, **(Ixtaina, 2010)**.

### **b) Concentración de oxígeno**

En condiciones de alta concentración de oxígeno (condiciones atmosféricas), la velocidad de oxidación es independiente de la misma; pero a muy bajas concentraciones, la velocidad es aproximadamente proporcional a esta variable, **(Ixtaina, 2010)**.

### **c) Temperatura**

La velocidad de las reacciones asociadas con la oxidación lipídica aumenta en función del aumento de la temperatura. La temperatura ejerce un efecto sobre la presión parcial de oxígeno así como también actúa disminuyendo la solubilidad del oxígeno, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **d) Área superficial**

La velocidad de oxidación se incrementa proporcionalmente al área superficial expuesta de los lípidos, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **e) Humedad**

En alimentos con muy baja actividad acuosa ( $a_w < 0,1$ ) la oxidación ocurre a alta velocidad. A medida que la  $a_w$  aumenta, hasta aproximadamente 0,3, la velocidad disminuye alcanzando un mínimo, para incrementarse nuevamente a mayores valores de  $a_w$ , **(Ixtaina, 2010)**.

#### **f) Agentes prooxidantes**

La presencia de trazas de metales de transición, como el cobre y el hierro, producen un efecto de catálisis sobre el proceso de oxidación lipídica favoreciendo la formación de radicales libres, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **g) Energía radiante**

Tanto la radiación visible, ultravioleta como gamma son promotoras de la oxidación lipídica, **(Ixtaina, 2010)**.

#### **h) Agentes antioxidantes**

Los antioxidantes son un extenso grupo de compuestos químicos que tienen la capacidad de inhibir o retrasar los procesos de oxidación. Estos compuestos pueden clasificarse en dos grandes grupos: sintéticos y naturales, **(Ixtaina, 2010)**.

Los antioxidantes sintéticos han sido empleados durante muchos años por la industria de alimentos aunque en la actualidad son cuestionados por razones de índole toxicológica. Este hecho ha originado una tendencia de sustitución progresiva de los mismos por antioxidantes naturales, **(Ixtaina, 2010)**.

Los antioxidantes pueden actuar a distintos niveles de la secuencia de reacciones del proceso de oxidación lipídica: 1) disminuyendo la concentración de oxígeno, 2) interceptando al oxígeno singulete, 3) atrapando ("scavenging") radicales libres tales como los radicales hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ), 4)

uniéndose a metales que actúan como agentes prooxidantes, 5) favoreciendo la descomposición de productos primarios a compuestos no radicalarios y 6) por interrupción de la cadena de iniciación o propagación transfiriendo átomos de hidrógeno a los radicales lipídicos (L•) y peroxilos (LOO•), **(Ixtaina, 2010)**.

## **2.14. MÉTODOS PARA DETERMINAR EL PROGRESO DE LA OXIDACIÓN Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DE UN ACEITE VEGETAL**

Un aspecto importante a considerar para el uso de los aceites vírgenes se relaciona con su estabilidad frente a las reacciones lipídicas de oxidación, lo que puede deteriorar su calidad. La presencia de antioxidantes naturales puede contribuir a la estabilidad oxidativa; no obstante, también es posible la presencia de sustancias con efectos pro oxidantes, por lo que se hace necesaria la estabilidad frente a procesos acelerados de oxidación, así como por medio de pruebas en las que se evaluó la capacidad para inactivar los radicales libres responsables de la iniciación de las reacciones de oxidación.

Las predicciones de vida útil en anaquel de aceites vegetales vírgenes o refinados que hayan sido sometidos a oxidación acelerada, han sido tema de estudio de muchas investigaciones, **(Navas., 2010)**.

### **A) Porcentaje de Acidez**

La acidez del aceite de la semilla de lino es 1.88g %, es función del estado sanitario de las semillas de donde procede y fundamentalmente del tratamiento al cual sea sometido, antes de la extracción e incluso durante proceso mismo. (Porrás, 2000). Un elevado valor del índice de acidez en los aceites, será indicativo de su deterioro, es decir, que han iniciado los procesos de enranciamiento. La importancia de este parámetro, se pone de manifiesto en el hecho de que sirve para clasificar la calidad de los diferentes tipos de aceites comerciales, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

El valor de acidez de un aceite, se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se necesitan para neutralizar 1 g de muestra. Este valor mide hasta qué grado el aceite se ha descompuesto por la acción de enzimas. A nivel de laboratorio se utiliza hidróxido de sodio debido a que es

de menor costo y más accesible. Su uso no altera los resultados debido a que tanto el sodio como el potasio tienen la misma valencia química. La acidez es una medida del grado de descomposición de los aceites, esto por acción de las lipasas (enzimas). Es importante mencionar también que la descomposición se acelera por la luz y el calor. La rancidez de los aceites se acompaña, generalmente, por la formación de ácidos grasos libres, esta determinación (% acidez) es usada con frecuencia como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites, **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

## **B) Índice de Peróxido**

El índice de peróxidos, se expresa como la cantidad de microgramos de oxígeno activo en un gramo de sustancia o de muestra de aceite y ofrece información sobre el grado de oxidación de un aceite. Los ácidos grasos insaturados son capaces de tomar oxígeno a la altura de sus dobles enlaces, para dar origen a la formación de peróxidos, los mismos que son altamente reactivos y pueden ser estimados yodométricamente. La metodología se basa en la capacidad del oxígeno peroxídico de oxidar el ión yoduro del yoduro de potasio (KI) produciendo yodo. Las sustancias que oxidan el yoduro de potasio son los peróxidos u otros productos similares de la oxidación de la grasa, **(Fernandez y Cabral, 2007)**.

Como ya se mencionó, el índice de peróxidos evalúa el estado de oxidación inicial de un aceite y permite detectarlo antes de que sea perceptible organolépticamente. Así como también, refleja la capacidad para su conservación. Valores elevados de ese índice señalan bajas temperaturas en la última fase de maduración de las semillas, o la utilización de altas temperaturas en alguna etapa del proceso de elaboración o extracción, **(Fernandez y Cabral, 2007)**.

El índice de peróxido es el punto de enranciamiento, tiende a aumentar cuando aumenta la instauración del aceite y su contenido de antioxidantes. Los aceites expuestos a radiaciones de corta longitud de onda, o almacenados con un limitado acceso de oxígeno, pueden llegar a

enranciarse a valores más bajos. El índice de peróxido del aceite de semilla de lino es de  $3.95 \pm 0.2$  a  $4.50 \pm 0.2$ , **(Pantoja y Maldonado, 2012)**.

### **C) Perfil de Ácidos Grasos**

La composición en ácidos grasos del aceite se expresa como porcentaje de área de sus esteres metílicos. El procedimiento consiste en realizar la hidrólisis de los triglicéridos y la transesterificación de los ácidos grasos obtenidos para dar lugar a los esteres metílicos correspondientes. Posteriormente se procede a la separación de los esteres metílicos formados por cromatografía de gases en columna capilar, **(AOAC 991.39, 1991)**.

El protocolo seguido para la formación de los esteres metílicos en frío es una modificación del método A.O.C.S. Ch 1-91 correspondiente al reciente Reglamento, **(AOAC 991.39, 1991)**.

Europeo EU 796/2002. El procedimiento empleado consiste en pesar 0,5 g de muestra de aceite en un vial con tapón de rosca de 5 ml de capacidad al que se añaden 3 ml de hexano para su completa disolución. A continuación se añaden 0,5 ml de KOH en metanol 2 N, se agita enérgicamente durante 1 minuto y se deja reposar hasta la perfecta separación de las fases. La disolución sobrenadante que contiene los esteres metílicos de los ácidos grasos ya está lista para ser inyectada en el cromatografía de gases. Este método solo es válido cuando en la muestra de aceite hay una cantidad de ácidos grasos libres inferior al 3.3%, **(AOAC 991.39, 1991)**.

Para la separación de los esteres metílicos de los ácidos grasos se ha seguido el método recogido en el Reglamento CEE 2568/91. En la determinación se utilizó un cromatografía de gases Agilent serie 6890 equipado con inyector automático (Agilent 7683) y detector de ionización de llama (FID). La columna capilar empleada en la separación está recubierta interiormente de una película de 0.25 mm de espesor de la fase SGL-1000 (poli etilenglicol acidificado), con una longitud de 50 m y un diámetro interno de 0.25 mm. (Sugelabor, Madrid). Como gas portador se emplea helio con un flujo de 1 mL min<sup>-1</sup>, el volumen de inyección de muestra es de 1 ml y la relación de split es 50:1, **(AOAC 991.39, 1991)**.

Durante el análisis la temperatura del inyector y el detector es de 250 °C y el horno se mantiene a 210 °C, **(AOAC 991.39, 1991)**.

El contenido de cada uno de los esteres metílicos de los ácidos grasos (AGi) se expresa como porcentaje del total, calculándose de acuerdo a la siguiente expresión, **(AOAC 991.39, 1991)**:

$$AGi = \frac{Ai}{At} \times 100$$

En el caso del aceite de semilla de lino, predomina en la composición de ácidos grasos insaturados es el ácido linolénico ( 53,21 % ) , también la categoría de los ácidos grasos insaturados son ácido oleico ( 18,51 % ) y ácido linoleico observado ( 17,25 % ), **(AOAC 991.39, 1991)**.

#### **D) Método Rancimat**

El método rancimat incluido en los estándares nacionales e internacionales (OSI, AOCS Cd 12b-92). Es la prueba automatizada del AOM (Método de oxígeno activo), mide el grado en el que un aceite se oxida cuando se hace burbujear aire a través de él. Los productos de la oxidación, tales como el ácido fórmico, son conducidos hacia el agua destilada que se encuentra en una celda. Por esta razón, se han desarrollado pruebas de oxidación acelerada, siendo el método del Rancimat uno de los más utilizados. Este método se basa en el empleo de un flujo de aire seco que se hace burbujear en una masa de aceite sometida a calentamiento a una temperatura determinada. El monitoreo de la estabilidad se hace automáticamente a través de la medición continua de los cambios de conductividad eléctrica del agua ultra pura, donde se disuelven los componentes volátiles generados durante la oxidación de los lípidos. En la práctica, los ácidos orgánicos volátiles son retenidos en el agua desionizada dando lugar a un aumento de la conductividad. El tiempo que transcurre desde el inicio del ensayo hasta obtener el valor máximo de la conductividad eléctrica es una medida del periodo de inducción de la reacción y se denomina Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI). El periodo de inducción corresponde al punto de inflexión de la curva de la reacción de oxidación y se calcula mediante la intersección de la línea base con la tangente a la curva trazada cuando se produce un aumento brusco de la conductividad eléctrica. El instrumento monitorea en

forma continua la conductividad eléctrica del agua. En el momento en que la conductividad aumenta agudamente indica en forma inmediata el momento final de la prueba. En este método la estabilidad oxidativa se define como el tiempo (en horas) necesario para que la reacción de oxidación alcance el punto de inflexión en la representación gráfica de la conductividad vs. Tiempo, **(Navas, 2010)**.

#### **E) Método de Oxígeno Activo (AOM):**

Método del oxígeno activo (AOM, AOCS Cd 12-57). Mide la estabilidad de oxidación. Consiste en hacer burbujear aire a través del aceite que se encuentra a una temperatura de 97.8°F. Se extraen muestras de aceite a intervalos regulares y se determina el valor de peróxido (VP). El AOM es expresado en horas y es el periodo de tiempo que necesita el VP para alcanzar cierto nivel. El AOM es utilizado como una característica específica de los aceites. Las horas del AOM tienden a aumentar juntamente con el grado de saturación o endurecimiento de la muestra. Aunque es un método popular, está siendo reemplazado por el "Índice de Estabilidad del Aceite", **(Frankel, 1998)**.

#### **Ensayo de almacenamiento a temperatura ambiente:**

Las pruebas de ensayo de almacenamiento a temperatura ambiente permiten determinar la vida útil de un aceite en anaquel. Son pruebas que requieren de mucho tiempo para alcanzar el periodo de inducción, debido a la lentitud del proceso. El periodo de inducción es medido como el tiempo necesario para alcanzar un nivel de rancidez detectable, **(Frankel, 1998)**. Alternativamente el tiempo de inducción se corresponde con el tiempo necesario para que se produzca un cambio brusco en la velocidad de oxidación, **(Frankel, 1998)**.

## **2.15. LA IMPORTANCIA DE LAS GRASAS Y ACEITES**

Las grasas y los aceites alimentarios constituyen una fuente muy importante para la alimentación de los seres humanos y su demanda se ha incrementado en función del tiempo lo cual no es un hecho menor ya que el crecimiento de la población mundial trae aparejado este tipo de necesidades y depara un desafío permanente. La importancia de los aceites vegetales comestibles radica en su alto valor energético, el cual permite el máximo almacenamiento en la menor cantidad posible de sustancia alimenticia. Además, las grasas pueden ser vehículo de las vitaminas liposolubles y fuente de ácidos grasos esenciales, los cuales son indispensables para el organismo. Además, son excelentes portadores de sabor incidiendo en la palatabilidad de los alimentos, **(Bockisch, 1998)**.

Las grasas también proporcionan una consistencia suave y cremosa, la cual se traduce en una agradable sensación bucal. El mejoramiento del sabor es el motivo principal por el cual las grasas y los aceites han sido apreciados durante largo tiempo. Sin embargo, sólo desde el comienzo del siglo XX ha sido posible proveer a la población de cantidades de grasas suficientes a precios razonables, **(Bockisch, 1998)**.

La importancia de las grasas y aceites en la economía global puede observarse claramente al considerar la cantidad de semillas y frutos oleaginosos producidos a nivel mundial, **(Bockisch, 1998)**.

## **2.16. MERCADO MUNDIAL DE ACEITES:**

Actualmente se le cultiva la semilla de lino en alrededor de 50 países, la mayoría de los cuales están en el hemisferio norte. Canadá es el principal productor, seguido por China, Estados Unidos e India. La producción en Chile es muy pequeña y la mayoría de lo que se consume, ya sea como suplemento dietético o como ingrediente para repostería, se importa desde Canadá.

Al cultivo de las especies oleaginosas le corresponde una significativa fracción de la producción agrícola mundial. El área cultivada con esas especies aumenta año tras año, de manera que para el año 2000 había



llegado a cubrir según **(FAO, 2008)** unos 170 millones de hectáreas, es decir aproximadamente un 12% del área total arable. Aceites y grasas son componentes de la dieta humana es por ello que extensas áreas de tierras agrícolas son dedicadas al cultivo de especies oleaginosas. Estos cultivos representan una de las principales fuentes energética que necesita el ser humano para su mantenimiento, además de otros componentes de interés para la salud, **(FAO, 2008)**.

Dentro de las especies oleaginosas que actualmente son cultivadas como plantas oleaginosas importantes, de las cuales se obtienen aceites y grasas así como residuos proteicos se pueden mencionar diez especies, siete de ellas son plantas anuales, es decir que su ciclo vital se cumple en menos de un año, al menos bajo las condiciones rutinaria de su cultivo. Las otras tres especies son árboles, una de ellas es la palma aceitera, el cocotero y la otra es el olivo, un árbol longevo cultivado por miles de años en la cuenca del mar mediterráneo, **(FAO, 2008)**.

Con respecto a la producción mundial, la zafra 2008/2009 según datos de la FAS-USDA (2008) fue de 133,71 millones de toneladas. Los datos del cuadro 1, muestran la predominancia actual de la palma aceitera africana como el cultivo oleaginoso, de sus frutos y semillas se obtiene un 36,12% de los aceites que se cultivan en el mundo entero. En el segundo lugar encontramos la soja, la cual aporta un 29% a la producción mundial de aceites y un 56% de las tortas residuales oleaginosas obtenidas mundialmente, la cual se utiliza para la elaboración de proteínas vegetales. Las especies que siguen en importancia a las dos mencionadas, son la colza o nabina y el girasol, cada uno con 15 y 8% respectivamente de la producción mundial de aceites vegetales, **(FAO, 2008)**.

El remanente es obtenido de las especies restantes, cuatro de ellas anuales: el algodón, el maní o cacahuete, el sésamo o ajonjolí y el cártamo o alazor, los otros dos perennes, el cocotero y el olivo, **(FAO, 2008)**.

## **CAPÍTULO III**

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los Laboratorios de la Universidad Nacional del Santa.

- ✓ Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional del Santa.
- ✓ Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional del Santa.
- ✓ Laboratorio de Control de Calidad del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial.

#### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1. MATERIA PRIMA**

Las experiencias se realizaron utilizando semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de diferentes procedencias, siendo:

- ✓ Provincia de Otuzco Departamento La Libertad-Perú; adquiridos en el mercado "La Perla"-Chimbote-Ancash-Perú.
- ✓ Provincia de Corongo-Dpto Ancash-Perú; adquiridos en la misma provincia de Corongo.

##### **3.2.2. REACTIVOS**

- Ioduro de potasio (10 ml)
- Tetracloruro de carbono puro
- Boro trifluoride.-BF<sub>3</sub>, 12% en metanol (60 ml)
- Dicromato de potasio
- Ácido sulfúrico (50 ml)
- Fenofaleína (10 ml)
- Sulfato de sodio anhidro
- Alcohol (4000 ml)
- Sol. de Almidón (10 ml)
- NaOH 0.1N, (500ml)

- Ácido acético (90 ml)
- Cloroformo (90 ml)
- Tiosulfato de sodio (100 ml)
- Metanol grado cromatografico (100 ml)
- Hidróxido de sodio p.a. (500 g)
- Cloruro de sodio p.a (60 g)
- Isooctano p.a, (120ml)

### **3.2.3. MATERIAL DE LABORATORIO**

- Probeta:
  - Volumen: 50, 100 ml
- Vasos Precipitados:
  - Volumen: 50, 500, 1000 ml
- Pipetas
  - Volumen: 1,2, 5, 10 ml
- Espátula:
  - Mango de madera, hoja 15 cm
- Pizeta:
  - Volumen: 500 ml
- Fiolas:
  - Volumen: 100, 250 ml
- Bureta:
  - Volumen: 50 ml
- Tubos de reacción.
- Matraces Erlenmeyer (500 ml)
  - Volumen: 50, 250, 500 ml.
- Viales de 2 ml
- Pera de goma
- Pipeta pauster

### 3.2.4. EQUIPOS

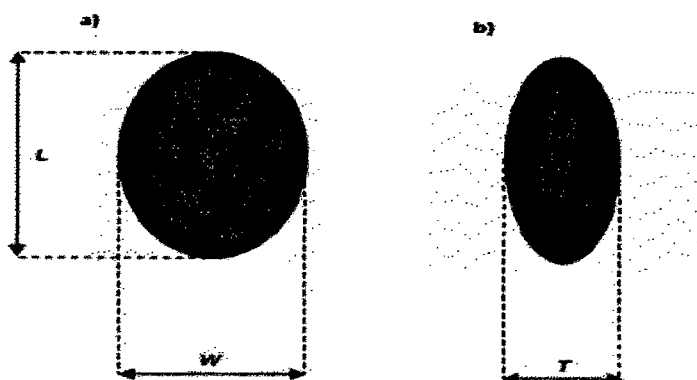
- Cromatógrafo de Gas Shimadzu modelo 2010: Con detector de ionización de flama (GC-FID), equipado con columna capilar de Silice fundida PAG Restek, de carácter multipolar, con las siguientes dimensiones: (30 m de comprimido x 0.25 mm de diámetro interno). Se usara el Helio como gas de arrastre, gas de hidrogeno y aire, todos con alto grado de pureza (99.99 %).
- Rancimat, Marca: Metrohm, Modelo 743.
- Prensa SEW-EURODRIVE, Marca: movimot SEW, Modelo: FA57/G, Velocidad de Giro: 280 - 1400 rpm, Motor: 2.2 Kw.
- Colorimetro CIElab, Marca: Konika Minola, Modelo: cr400.
- Balanza Analítica, Marca: Precisa, Modelo: 220 A, Serie: 321LX, Rango MÁX. 220 gr. MIN. 0,01 gr.e = 0,001 gr.
- Centrífuga, Marca: SIGMA, Modelo: 2 – 16, Velocidad: 15 000 rpm, Motor: 1 HP Eléctrico.
- Balanza, Marca: Precisa, Modelo: 4200 C, Serie: 321LX, Rango MAX. 4200 gr. MIN. 0,5 gr. e = 0,1 gr.
- Estufa, Marca: POL - EKO APARATURA, Modelo: SLW115 TOPT.
- Refractometro Abbe, Marca: Warszawa, Modelo: PZO.
- Termobalanza, Marca: Precisa, Modelo XM50.
- Baño María, modelo N°: 18007 A-1CE, marca Aqua Bath.
- Soxleht, Marca: Adam, Modelo: PW-254.

### 3.3. METODOLOGIA DE ANALISIS

#### 3.3.1. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS SEMILLAS DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

##### A. Tamaño y forma

El tamaño de la semilla se determinó a través de la medición de sus dimensiones características: largo (L), ancho (W) y espesor (T), a partir de 90 semillas procedentes de Corongo y Otuzco. Para ello, se utilizó un vernier, (0,01 mm de precisión), según se indica en la Figura 35.



**Figura 35.** Dimensiones características a) vista frontal, b) vista del perfil.

##### B. Determinación de Color:

Se determina utilizando el espectro colorímetro, CIE-L\*a\*b C, a partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color, tono o matiz ( $h_{ab}^*$ ) y el croma o saturación ( $C_{ab}^*$ ).  $L^*$  es un indicador de la luminosidad,  $a^*$  (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y  $b^*$  (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)).

##### C. Determinación de Humedad:

La humedad de las semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) se determinó por secado y diferencia de pesos de acuerdo al método 934.06 (37.1.10) del

A.O.A.C (1996). El contenido de humedad en la muestra se expresa como el porcentaje en base humedad, usando la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{P_m - (P_f - P_i)}{P_m} \times 100\%$$

**Dónde:**

- **% H:** Humedad en porcentaje de masa
- **P<sub>m</sub>:** Peso de la muestra
- **P<sub>f</sub>:** Peso final de la placa con la muestra
- **P<sub>i</sub>:** Peso de la placa vacía

#### **D. Cenizas**

La ceniza de las semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) obtenida no necesariamente la misma composición que la materia orgánica de la muestra original, ya que puede haber pérdidas por volatización o alguna interacción entre los componentes, según el método de la A.O.A.C 7009, 1984. Según la siguiente ecuación se halla el porcentaje de cenizas:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_2 - P_1}{m} \times 100\%$$

**Dónde:**

- **P<sub>1</sub>:** Masa del crisol vacío (g)
- **P<sub>2</sub>:** Masa del crisol más la muestra (g)
- **m:** Masa de la muestra (g)

#### **E. Rendimiento graso (Método Soxhlet)**

Se determinará el porcentaje de grasa: método Soxhlet, AOAC-925.41, 1998.

#### **F. Proteína:**

El contenido de proteína se determinó por el método Kjeldahl, de acuerdo al método AOAC 7.037, 1984.

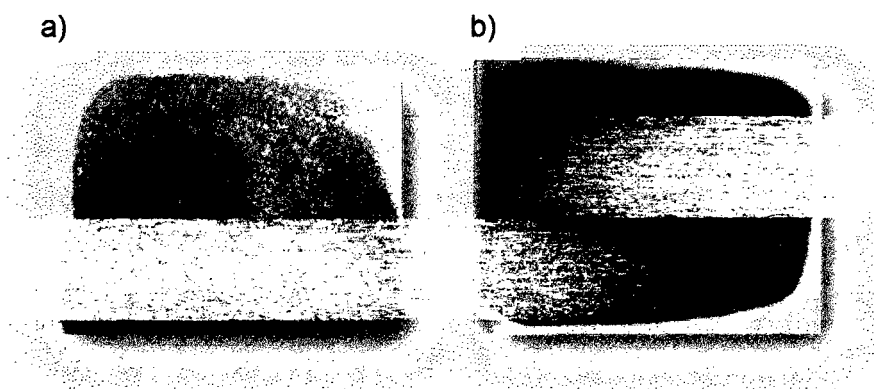
### 3.3.2. EXTRACCIÓN DEL ACEITE VIRGEN POR PENSADO EN FRIO

En la Figura 43, se presenta el diagrama de flujo para obtener aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*)

#### 3.3.2.1. Materia prima

Se utilizó semillas de lino procedentes de cultivos:

- Provincia de Otuzco - Dpto La Libertad-Perú; adquiridos en el mercado "La Perla"- Chimbote-Perú.
- Provincia de Corongo - Dpto Ancash-Perú; adquiridos en la misma provincia de Corongo.



**Figura 36.** Semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de la Provincia de: a) Corongo b)Otuzco

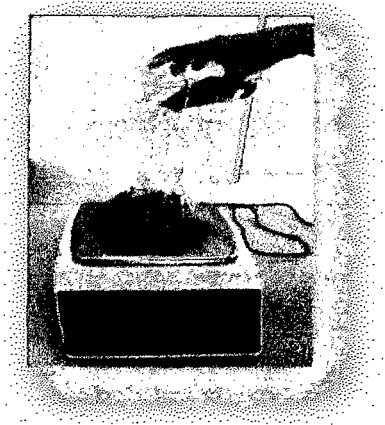
#### 3.2.1.1. Limpieza

Esta etapa consiste en despojar a los granos de partículas indeseables que aún permanezcan en los mismos, entre los cuales se incluyen metales, hojas, pequeñas ramas y otros materiales extraños.



### 3.3.2.2. Pesado

Se procedió a pesar  $5000 \pm 10\text{g}$  de materia prima, se determinó la humedad de las semillas, el cual debe estar dentro de lo recomendado (8%).

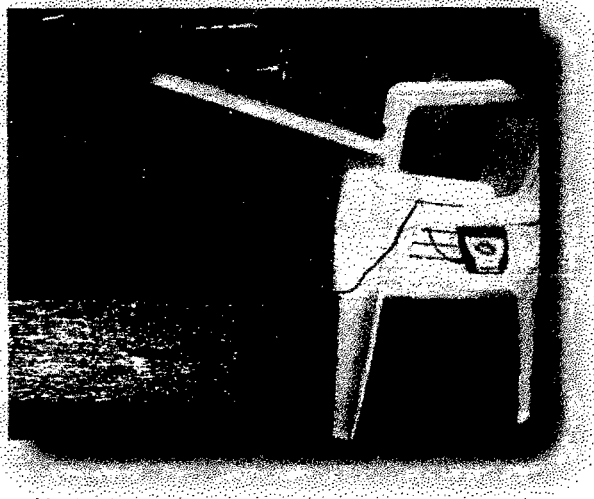


**Figura 37.** Pesado de las Semillas de lino

### 3.3.2.3. Prensado

La extracción mecánica del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) se llevó en una sola etapa en una prensa de tornillo helicoidal. Esta prensa está localizada en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa-Ancash, Perú.

A través de la abertura de la boquilla sale expulsada la mayor parte del material sólido, bajo la forma de pellets, que pasan a constituir el turtó, tortum o torta residual. El aceite crudo se recogió en un vaso precipitado y sale acompañado de parte del material sólido (aceite bruto). La cantidad de aceite obtenido fue determinada gravimétricamente y expresada como porcentaje en peso (g aceite/100 g semilla).



**Figura 38.** Extracción del aceite de Semillas de lino con un sensor de temperatura.

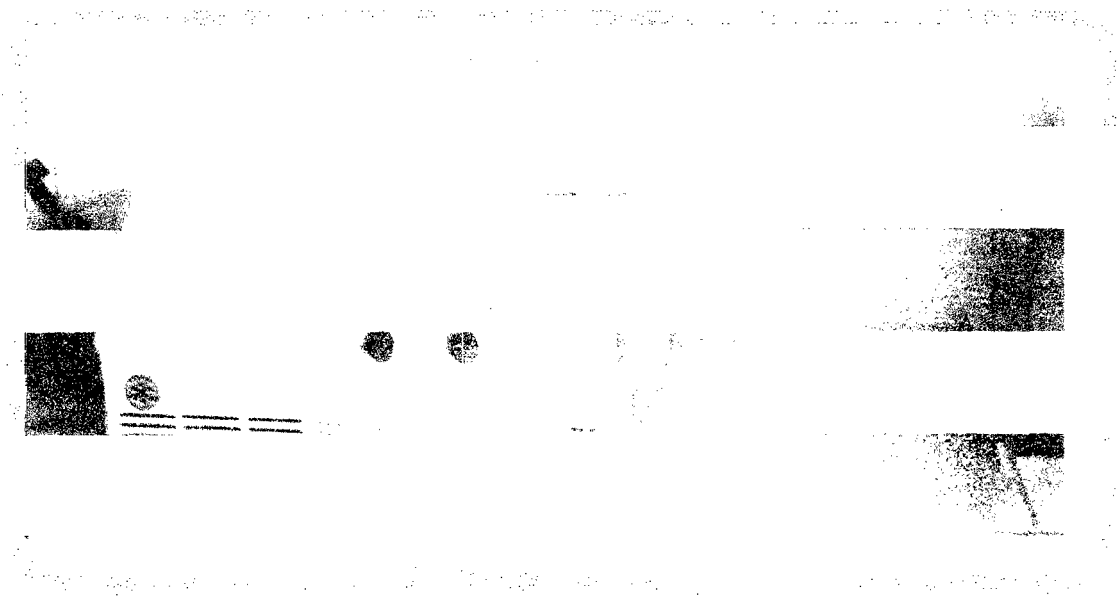
Otro aspecto importante se relaciona con la temperatura que se alcance en la cámara de prensado, esta no debe superar los 100 °C a fin de evitar que se produzcan danos al aceite virgen, por lo que fue necesario establecer las condiciones para no superar esta temperatura durante todo el proceso.



**Figura 39.** Obtención de la Torta Residual

### 3.2.1.2. Centrifugación del Aceite Virgen Extraído

Consistió en someter al aceite bruto a 3900 rpm por un tiempo de 12 minutos en una Centrifuga SIGMA modelo 2-16. Se eliminó el material sólido o impurezas (sedimento) y se almacena el aceite clarificado (sobrenadante).



**Figura 40.** Centrifugación del aceite virgen extraído

#### **3.3.2.4. Almacenamiento del Aceite Clarificado**

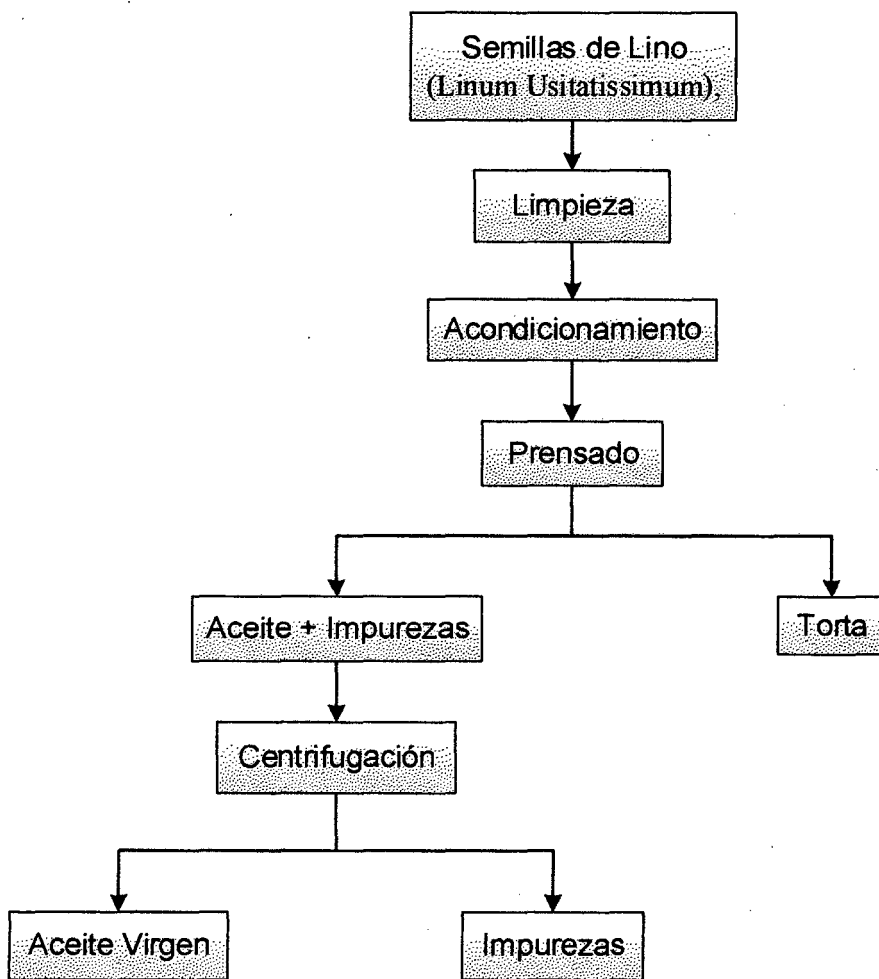
El aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*), obtenido a través de extracción mecánica por prensado y clarificado por centrifugación fue almacenado en recipientes de vidrio oscuros cubiertos con papel aluminio, bajo atmósfera de nitrógeno a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ , no se añadieron antioxidantes hasta su posterior utilización.



**Figura 41.** Frascos de vidrio con aceite de semillas de lino



**Figura 42.** Refrigerador (lugar de almacenamiento)



**Figura 43.** Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*).

### 3.3.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL ACEITE DE SEMILLAS DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

#### A. Índice de Acidez- Método Oficial de la AOAC:

Este método mide la cantidad de ácidos grasos libres en la materia grasa, de acuerdo a esto se estima la cantidad de muestra a analizar. Método para la determinación de la acidez libre NTP 209.005 2011, La acidez libre se expresa frecuentemente en términos del índice de acidez, en vez de porcentaje de acidez, es definido como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar 1 gramo de muestra. Para convertir el porcentaje de acidez libre (como oleico a índice de acidez) se multiplica el primero (% A.L.) por 1,99.

#### Calculo

$$\text{A.L. \%} = \frac{\text{ml de álcali} \times 28.2}{\text{Peso de la muestra}}$$

#### B. Índice de Peróxidos - Método Oficial de la AOAS

El índice de peróxido, es el método químico más común para determinar el grado de deterioro oxidativa de las grasas y aceites, Los resultados se expresan como mili equivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite que producen la oxidación del yoduro a yodo en unas condiciones determinadas. En la reacción, que tiene lugar en medio ácido, se libera un mol de yodo por cada mol de oxígeno peroxidico. El yodo liberado se valora con una disolución de tiosulfato sódico utilizando almidón como indicador.

#### Calculo

Valor de peróxido como miliequivalente de peróxido por 1000 g de muestra

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{SxNx1000}{\text{Peso de la muestra}}$$

**Dónde:**

**S:** ml de solución de tiosulfato de sodio usado en titulación.

**N:** Normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio.

**C. Índice de Refracción:**

Se utilizó el método de la AOCS Cc 7-25, El índice de refracción será determinado en las muestras utilizando un refractómetro ABBE, Nr: 25790/91, el cual fue previamente calibrado con agua destilada. Para cada una de las lecturas se introdujo la muestra entre dos prismas. Se registrara un valor de índice de refracción, para cada una de las muestras, expresados en cuatro lugares decimales.

**D. Punto de Fusión:**

El punto de fusión se determinó por el método de tubo capilar cerrado, de acuerdo al protocolo de la NTP 209.096:1975.

**E. Índice de yodo:**

El índice de yodo se determino por el método de Wijs, de acuerdo al método oficial de NTP 209.008:1968

**F. Determinación de Color :**

Se determina utilizando el espectro colorímetro, a partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIE-L\*a\*b, tono o matiz (hab\*) y el croma o saturación (Cab\*). L\* es un indicador de la luminosidad, a\* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b\* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)).

El colorímetro fue calibrado con una placa blanca patrón, conforme las instrucciones del fabricante. Previamente a las lecturas del color las muestras son uniformizadas. Varias funciones de color fueron determinadas para cada muestra: (Schmalko y Alzamora, 2001).

Angulo de matriz ( $h^\circ$ ):

$$H^\circ = 180^\circ + \arctan(b^*/a^*)$$

Croma o índice de saturación ( $C^*$ )

$$C^\circ = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ )

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

Índice de blanqueamiento

$$IB = 100 - ((100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$$

## **G. Determinación de la Densidad**

La densidad será determinada en las muestras utilizando el método del picnómetro.

### **3.3.4. ESTABILIDAD OXIDATIVA**

#### **3.3.4.1. Índice de Estabilidad Oxidativa**

Se utilizó el método AOCS Cd 12b-92 en el Metrohm Rancimat 743, el cual consta de las siguientes etapas:

##### **a) Preparación de muestra**

Pesar aproximadamente ( $3.0 \pm 0.1$  g) de aceite para cada tubo de reacción.

##### **b) Celda Conductimétrica Integrada**

Colocar los electrodos (lavados rigurosamente con agua destilada, luego con alcohol 98° y rociados con nitrógeno). La celda de medida de la conductividad está integrada en la tapa del recipiente de medida. Al colocar la tapa sobre el recipiente, la celda se sumerge en el agua y está inmediatamente en la posición correcta. Al mismo tiempo se produce el contacto con la electrónica del aparato.



### **c) Analisis Rancimat**

Se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura del bloque calefactor 90°, 110° y 130°C
- Flujo de aire 15 y 20 L/H.
- Volumen de agua destilada 60 ml.
- Conductividad de agua destilada 1.2 µs/cm.

#### **3.3.4.2. Determinación de la Vida Útil**

Se utilizó el método de extrapolación del Rancimat mediante la dependencia de los valores de OSI con respecto a la temperatura:

$$\text{Log(OSI)} = AT + B$$

**Donde:**

- **OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa (h)
- **T:** Temperatura (°C)
- **A:** Constante
- **B:** Constante

#### **3.3.5. COMPOSICION DE ÁCIDOS GRASOS**

Se determinara ácidos grasos: mediante el método AOAC 991.39 - 1991, en el Cromatógrafo de Gases, marca Shimadzu (GC-2010), según lo indica en la Figura 44.

##### **Procedimiento**

###### **➤ Preparación de la muestra :**

- Recibir la muestra y verificar los datos correspondientes.
- Se parte de una muestra representativa de por lo menos 100g.
- Se homogeniza la muestra.

###### **➤ Realización del ensayo :**

- Realizar el análisis por duplicado.
- Pesar aproximadamente 0.025g (±0.0001g) de muestra en un tubo de ensayo con la ayuda de una pipeta pauster (evitar que la muestra tope las paredes de tubo de ensayo).

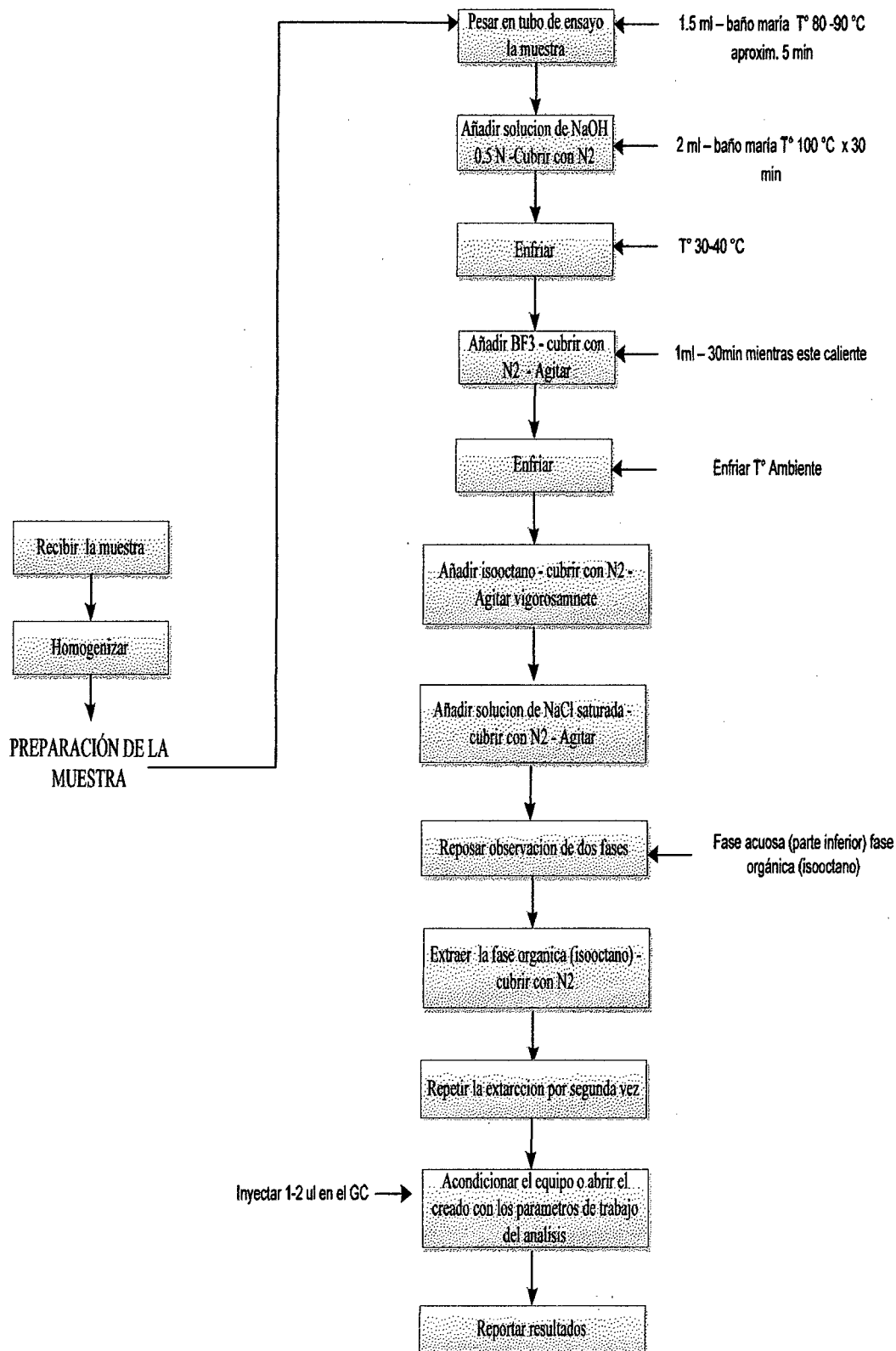
- Añadir 1.5ml de solución de NaOH 0.5N del tubo de ensayo y cubrir con una capa de N<sub>2</sub> llevar a un baño maría (el agua debe estar a una temperatura 80 -90 °C) aproximadamente por 5 minutos.
- Retirar los tubos de ensayo con la muestra del baño maría y enfriar
- Añadir 2ml de BF<sub>3</sub>, el tubo de ensayo, cubrir con una capa de N<sub>2</sub>, tapar y agitar lentamente en forma vertical, luego llevar al baño maría por 30 minutos (el agua debe estar a una temperatura 100 °C).
- Una vez extraído la muestra del baño maría enfriar por unos segundos a una temperatura aproximadamente 30 – 40 °C
- Luego añadir 1 ml de Isooctano, al tubo de ensayo mezclando lentamente (movimientos verticales a los extremos), cubrir con una capa de N<sub>2</sub> y agitar por 30 segundos mientras este caliente.
- Inmediatamente añadir 5ml de solución de NaCL saturada, al tubo de ensayo cubrir con una capa de N<sub>2</sub> y agitar vigorosamente, enfriar a temperatura ambiente.
- Dejar reposar hasta que se observe una separación sin burbujas, se deja un tiempo de reposo hasta que se formen 2 fases: la fase acuosa está en la parte inferior y la fase orgánica (Isooctano).
- Con la ayuda de una pipeta pauster extraer la fase orgánica (Isooctano), a un vial y cubrir con una capa de N<sub>2</sub>.
- Repetir la extracción por segunda vez.
- Una vez preparada la muestra a analizar en el cromatografo de gases, se deberá acondicionar el equipo o abrir el método creado con las siguientes condiciones de trabajo.

Fuente: AOAC Método Oficial 991.39 Los ácidos grasos en aceites de pescado encapsulado Pescado y Aceite de metilo y sus ésteres etílicos Gas método cromatográfico Primera acción 1991.

**Tabla 07. Parámetros para el Análisis en la Cromatografía**

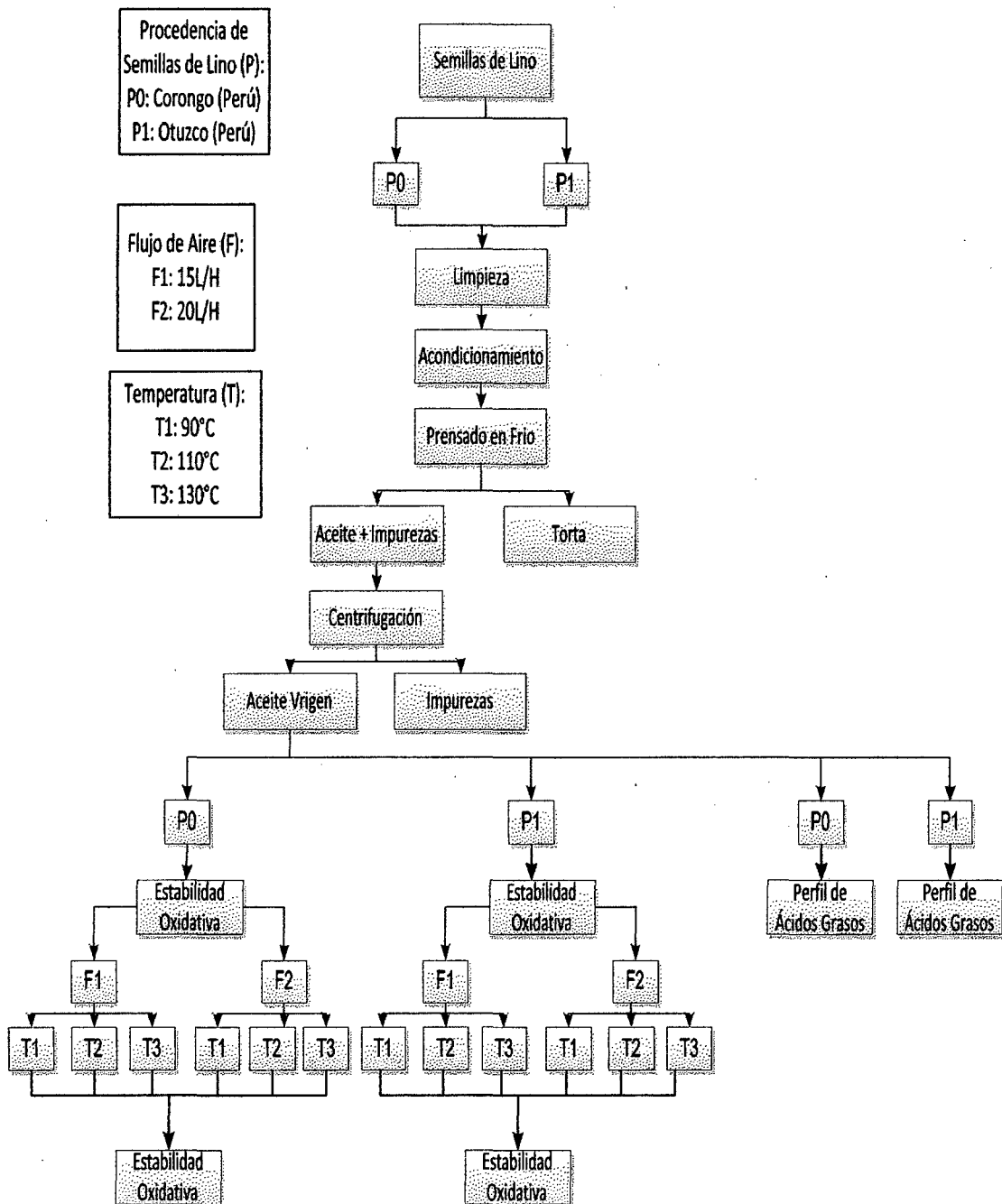
<b>Temperatura</b>	<b>Inicial</b>	<b>100 °C</b>	<b>Inicial</b>	<b>4 min</b>	<b>Columna</b>	<b>Restec</b>	<b>-</b>
						<b>07354</b>	
			<b>Tiempo</b>				
	<b>Final</b>	<b>240 °C</b>	<b>Final</b>	<b>10min</b>	<b>Fase estacionara</b>	<b>Rt™ 2560</b>	
	<b>Velocidad de calentamiento</b>			<b>3°C/min</b>	<b>Diámetro interno</b>	<b>0.250mm ID</b>	
	<b>DETECTOR</b>				<b>Longitud</b>	<b>100 mts</b>	
<b>Temperatura</b>	<b>Presión del gas carrier</b>			<b>Duración del cronograma</b>		<b>63 min</b>	
	<b>Hidrogeno</b>	<b>Aire</b>	<b>Helio</b>				
<b>200°C</b>	<b>40 KPa</b>	<b>400KPa</b>	<b>261.5 KPa</b>				
				<b>Inyector</b>			
				<b>Temperatura</b>	<b>Split</b>	<b>Vol.</b>	
					<b>Radio</b>	<b>Inyección</b>	
					<b>100</b>	<b>1.2 ul</b>	

**Fuente: AOAC Método Oficial 991.39 Los ácidos grasos en aceites de pescado encapsulado Pescado y Aceite de metilo y sus ésteres etílicos Gas método cromatográfico Primera acción 1991.**



**Figura 44.** Diagrama de flujo Determinación De Ácidos Grasos, **AOAC Método Oficial 991.39** Los ácidos grasos en aceites de pescado encapsulado Pescado y Aceite de metilo y sus ésteres etílicos Gas método cromatográfico Primera acción 1991.

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL



**Figura 45.** Diagrama de flujo del proceso experimental para la determinación del Índice de Estabilidad Oxidativa y Perfil de Ácidos Grasos del Aceite semilla de lino (*Linum Usitatissimum*).

### **3.4.1. ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE SEMILLAS Y ACEITES DE LINO (Linum Usitatissimum)**

Se empleó un diseño factorial de primer grado con un factor y dos niveles (2), completamente aleatorizado, con tres repeticiones por cada tratamiento. El factor corresponde a procedencia de la semilla de lino y los niveles son semillas de lino de la Provincia de Corongo y Otuzco.

Se realizó una evaluación estadística utilizando el programa computacional STATGRAPHICS Plus, determinándose promedios aritméticos, rangos de variación y desviación estándar para cada parámetro medido. Los datos obtenidos como resultado de los ensayos, fueron analizados usando análisis de varianza (ANOVA) para establecer si existían diferencias significativas entre los dos tipos de aceite; además se realizó un test de comparación múltiple Tukey para determinar qué parámetros resultaron diferentes entre sí.

### **3.4.2. ESTABILIDAD OXIDATIVA**

El diseño estadístico que se va usar es un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 3 = 12$ , 2 procedencias de la semilla, 2 flujo de aire (15 y 20 L/h) y 3 temperaturas (90°, 110° y 130° C), para el índice de estabilidad oxidativa del aceite, es decir 12 tratamientos con 3 repeticiones, El índice de estabilidad oxidativa se evaluó para un total de 36 experimentos, los cuales serán evaluados estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

**Tabla 08.** Experimento factorial DCA para la estabilidad oxidativa

Procedencia de la semillas	FLUJO (L/h)	TEMPERATURA (°C)		
		90 OSI±SD	110 OSI±SD	130 OSI±SD
Corongo	15			
	20			
Otuzco	15			
	20			

SD: Desviación estandar

OSI: (Horas)

➤ **Análisis Estadístico**

Se utilizó el software Statgraphics Centurion para el análisis estadístico y los modelos de regresión. En primer lugar, el OSI se relaciona con las variables de entrada (flujo de aire y la temperatura y la procedencia) de acuerdo con la ecuación:

$$Y_{ijkl} = U + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

$a_i$  = Procedencia de la semillas  $i = 0, 1$

$a_0$  = Semilla Provincia de Corongo 0

$a_1$  = Semilla Provincia de Otuzco 1

$b_j$  = Flujo de aire (parámetro Rancimat)  $j = 0, 1$ .

$b_0$  = 15 L/H 0

$b_1$  = 20 L/H 1

$c_k$  = Temperatura  $i = 0, 1, 2$ .

$c_0$  = Temperatura 0

$c_1$  = Temperatura 1

$c_2$  = Temperatura 2

$E_{ij}$  = Error experimental

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), con un valor de significancia de  $\alpha = 5\%$ .

**Tabla 09.** Experimento factorial DCA

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Razon F</b>	<b>Valor P</b>
<b>FLUJO DE AIRE</b>					
<b>TEMPERATURA</b>					
<b>PROCEDENCIA</b>					
<b>Error</b>					
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>					



### 3.4.3. COMPOSICION DE ÁCIDOS GRASOS

El diseño estadístico que se va usar es un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de  $1 \times 2 = 2$ , 2 procedencias de la semilla, para evaluar el perfil de ácidos grasos, es decir 2 tratamientos con 3 repeticiones, siendo un total de 6 experimentos, los cuales serán evaluados estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

Se utilizó el software Statgraphics Centurion para el análisis estadístico y los modelos de regresión. En primer lugar, perfil de ácidos grasos se relaciona con la procedencia de las semillas.

$$Y_{ij} = U + A_i + E_{ij}$$

Donde:

$a_i$  = Procedencia de la semillas  $i = 0, 1$ ,

$a_0$  = Semilla Provincia de Corongo 0

$a_1$  = Semilla Provincia de Otuzco 1

$E_{ij}$  = Error experimental

**Tabla 10.** Experimento factorial DCA para el perfil de ácidos grasos

<b>PROCEDENCIA DE LA SEMILLA</b>	<b>Evaluacion del aceite en cuanto al Perfil de Ácidos Grasos</b>
<b>Corongo</b>	
<b>Otuzco</b>	

## **CAPÍTULO IV**

# **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*).

Con respecto al tamaño y forma de las semillas de lino presentaron tres semiejes desiguales, cuya forma se puede describir mediante un elipsoide escaleno. La dimensión longitudinal (**L**) varió entre 4,45–5,65 mm para semillas de lino procedentes de Corongo y 4,50–5,70 mm para semillas de lino procedentes de Otuzco. El promedio del ancho (**W**) de las semillas de Corongo y Otuzco fue de 1,75–2,10 mm y 1,70–2,05 mm, respectivamente. El promedio del espesor (**T**) de las semillas de Corongo y Otuzco fue de 0,10–0,20 mm y 0,10–0,20 mm, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la longitud correspondiente a las mismas.

El rendimiento de aceite promedio obtenido con el método prensado en frío, fue de  $37.7 \pm 0.5\%$  para aceite de semilla de lino procedente de Corongo y  $36.8 \pm 0.6\%$  para aceite de semilla de lino procedente de Otuzco. El rendimiento en aceite virgen es similar al obtenido por Navas, (2010) el cual tiene como rendimiento de  $35.4 \pm 0.5\%$  para el aceite virgen de linaza usando el método de extracción por prensado en frío.

En la Tabla 11 se presenta un resumen de los valores promedio obtenidos para los diferentes parámetros físicos y químicos determinados en este estudio para la semilla de lino de la Provincia de Otuzco - Dpto. La Libertad-Perú y la Provincia de Corongo - Dpto. Ancash-Perú. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Además, en la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de color de las muestras de los dos tipos de aceite.

En el Anexo 3 se presentan en detalle algunos parámetros estadísticos para semillas de lino procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco, como porcentaje mínimo, porcentaje máximo, rango de variación y coeficiente de variación de las observaciones.

**Tabla 11.** Análisis Físicoquímico de la semilla de Lino (*Linum Usitatissimum*).

	<b>CORONGO*</b>	<b>OTUZCO*</b>	<b>Unidad</b>
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD	
<b>Humedad</b>	7.08 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	7.73 <sup>b</sup> $\pm$ 0.07	%
<b>Materia grasa</b>	51.14 <sup>a</sup> $\pm$ 1.00	50.25 <sup>a</sup> $\pm$ 1.00	%
<b>Proteína</b>	13.71 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	14.34 <sup>b</sup> $\pm$ 0.05	%
<b>Cenizas</b>	4.02 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	4.05 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	%

SD: Desviación estándar

\* Datos expresados como media  $\pm$  desviación estándar de 3 determinaciones.

# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

**Tabla 12.** Análisis de color de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*).

<b>Análisis</b>	<b>Corongo</b>	<b>Otuzco</b>
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD
L*	52.18 <sup>a</sup> $\pm$ 0.02	51.81 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09
a*	5.33 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	5.12 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03
b*	7.88 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	7.34 <sup>a</sup> $\pm$ 0.05

SD: Desviación estándar

# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

El ANOVA realizado para los análisis físicos y químicos según la procedencia de la semilla reveló que sólo presentaron diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ), la humedad con un valor  $p$  de 0,0001, proteína con un valor  $p$  de 0,0000.

Las semillas de lino (linaza), se caracterizan por su bajo contenido de humedad y tienen un alto contenido de materia grasa. En este caso las dos semillas obtenidas de diferente procedencia tienen valor similar en cuanto a humedad y materia grasa.

Estos datos indican que la composición química de semilla de lino determinada en el presente estudio, es similar a las que describió **Mueller, Eisner y Kirchoff (2010)** en variedades café y amarilla, en contenido de humedad (7.4 y 7.3 g/100g, respectivamente) y siendo mayor en materia grasa 41.9 y 40.8 g/100g, respectivamente).

Los resultados obtenidos señalan que el contenido de humedad es similar a los reportados por **Jiménez, Masson y Quitral (2013)**, y mayor en materia grasa (7.2% y 37.4 g/100g, respectivamente).

El contenido de materia grasa de las variedades estudiadas 51.14 +/- 1.0 Corongo y Otuzco 50.25 +/- 1.0, es superior a las muestras procedentes en el extranjero 34.1960 g/100g, **López y Loreto (2010)**.

Los análisis realizados al aceite de lino marrón (linaza) canadiense tiene un promedio de 41% de materia grasa, 7.7% de humedad **Ganorkar y Jain (2012)**. El contenido de materia grasa de linaza puede ser alterado a través de métodos tradicionales, y se ve afectado por la geografía - las noches frías del norte de Canadá mejorar el contenido y la calidad del aceite

El contenido de materia grasa puede ser alterado a través de métodos de cultivo tradicionales, y también es afectado por la geografía de la zona de producción.

Los resultados reportados por **Navas, (2010)**, en variedades café y amarilla, en cuanto al contenido de humedad (4.75 y 4.92 g/100g, respectivamente), fueron menores a los obtenidos, pero mayores en cuanto materia grasa (38.50 y 39.6 g/100g, respectivamente).

Con respecto al contenido de proteína en la semilla de lino de Corongo y Otuzco los valores  $13.71 \pm 0.03$  % y  $14.34 \pm 0.05$ %, de acuerdo con **Cuevas (2012)**, la semilla de lino de Venezuela y Canadá tienen  $22.31 \pm 0.18$ % y  $21.47 \pm 0.09$ % respectivamente; las diferencias son mínimas y se pueden atribuir a menor temperatura del sitio de cultivo, menor es el porcentaje de grasa. Por su parte **Popa et al., (2012)** señala que la semilla de lino tiene 4% de cenizas y **Cuevas (2012)** como resultado de cenizas para semilla de lino de Venezuela como para la de Canadá  $3.22 \pm 0.02$  y  $3.27 \pm 0.01$  respectivamente.

Estos resultados coincidieron con lo reportado por (Jiménez, Masson y Quitral (2013), (Navas, 2010), (Ganorkar y Jain (2012), y otros materiales bibliográficos en cuanto al contenido de humedad, pero fueron ligeramente mayores en cuanto a la materia grasa.

El contenido de humedad nos indica que las semillas fueron bien almacenadas y acondicionadas para su posterior uso, su mayor contenido en cuanto a la materia grasa nos indica que nuestras semillas tienen un mayor potencial.

#### 4.2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*).

Según los resultados que se muestran en la Tabla 13, referente al análisis físicoquímico del aceite de *Linum Usitatissimum*, extraído de las semillas por prensado en frío; empleado en el presente trabajo presentó antes de iniciar la prueba de oxidación acelerada (Test Rancimat) y perfil de ácidos grasos. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

En el Anexo 4 se presentan en detalle algunos parámetros estadísticos para el aceite de semillas de lino procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco, como porcentaje mínimo, porcentaje máximo, rango de variación y coeficiente de variación de las observaciones.

**Tabla 13.** Análisis Físicoquímico del Aceite de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*).

Análisis	CORONGO*	OTUZCO*	Unidad
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD	
Índice de Peróxido	0.05 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	0.68 <sup>b</sup> $\pm$ 0.14	meqO <sub>2</sub> /kg
Acidez libre	0.36 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	0.53 <sup>b</sup> $\pm$ 0.02	%
Índice de Yodo	196,02 <sup>a</sup> $\pm$ 1.10	195.07 <sup>a</sup> $\pm$ 1.00	g I <sub>2</sub> /kg
Índice de Refracción	1.48 <sup>a</sup> $\pm$ 0.00	1.49 <sup>b</sup> $\pm$ 0.00	-
Densidad	0.944 <sup>a</sup> $\pm$ 0.00	0.943 <sup>b</sup> $\pm$ 0.00	g/cm <sup>3</sup>
Punto Fusión	- 3.53 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	- 3.85 <sup>b</sup> $\pm$ 0.00	°C

SD: Desviación estándar

\* Datos expresados como media  $\pm$  desviación estándar de 3 determinaciones.

# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

El ANOVA realizado para cada análisis físico y químico según la procedencia de la semilla reveló que solo el Índice de Yodo no presenta diferencia estadísticamente significativas al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ); todos los análisis restantes presentaron diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ), índice de peróxido con un valor p de 0,0013, acidez libre con un valor p de 0,0027, índice de refracción con un valor p de 0,0000, densidad con un valor p de 0,0003 y el punto de fusión con un valor p igual a 0,0000.

El índice de peróxido del aceite de la semilla de lino de Otuzco tiene un valor similar al de Corongo, siendo respectivamente de  $0.68 \pm 0.14$  meqO<sub>2</sub>/kg y  $0.05 \pm 0.01$  meqO<sub>2</sub>/kg. El índice de peróxido se expresan como mili equivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite que producen la oxidación del yoduro a yodo en unas condiciones determinadas; además para determinar el grado de deterioro oxidativa de las grasas y aceites.

Los valores de peróxidos indican que no hubo un deterioro durante el proceso tecnológico aplicado para la extracción de los aceites.

El valor de acidez libre del aceite de la semilla de lino de Otuzco tiene un valor superior al de Corongo, siendo respectivamente de 0.53 y 0.36 %. La acidez libre se expresa frecuentemente como índice de acidez, el cual es definido como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar 1 gramo de muestra, para convertir la acidez libre a índice de acidez se multiplica por 1.99. Por tanto índice de acidez del aceite de lino de Corongo es de  $0.73 \pm 0.07$  mg KOH/g y el de Otuzco es  $1.06 \pm 0.04$  mg KOH/g.

El índice de yodo de los aceite de semilla de lino procedentes de Corongo y Otuzco son altos ya que el índice de iodo es una medida de los dobles enlaces

correspondientes a los ácidos grasos presentes en el aceite expresado en función del porcentaje de yodo absorbido.

Así mismo; el índice de peróxido e índice de acidez son inferiores a lo que indica el Codex Alimentarius, 1999 como límite máximo permitido (15 meq de O<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>) y los 4 mg KOH/g de aceite; para un aceite virgen de semilla.

El índice de refracción cuyo valor fue de  $1.48 \pm 0.01$  y  $1.49 \pm 0.01$ , para el aceite procedente de Corongo y Otuzco. Y densidad cuyo valor es de 0.944 y 0.943 respectivamente.

Una de las características físico químicas del aceite de semilla de lino procedente de Rumanía es el índice de peróxido es 0.95 meq de oxígeno activo/kg de aceite **Popa et al., (2012)**, siendo ligeramente similar a los valores de Otuzco y Corongo ( $0.68 \pm 0.14$  meqO<sub>2</sub>/kg y  $0.05 \pm 0.01$  meqO<sub>2</sub>/kg).

**Navas (2010)** señala que la calidad de los aceites vírgenes obtenidos fue medida a través del índice de peróxidos y porcentaje de acidez libre valores que se obtuvieron en el aceite de linaza es de 3,96 – 4.49 meqO<sub>2</sub>/kg y de 0.29-0.33 (% Ácido Oleico), respectivamente. Los valores superiores a los de aceite de semilla de lino de Otuzco 0.68 meqO<sub>2</sub>/kg y Corongo 0.05 meqO<sub>2</sub>/kg; e inferiores para la acidez libre  $0.53 \pm 0.08$  % para Otuzco y Corongo de  $0.36 \pm 0.07$ .

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por **Popa et al., (2012)**, el cual obtuvo un índice de acidez 0.80 (mg KOH/g de aceite), índice peróxido 0.95 (meq.O<sub>2</sub> / Kg de aceite) y un índice de refracción de 1.469.

El aceite extraído mediante prensa hidráulica de semilla entera (T1) alcanzó un índice de peróxido de 0.256 - 1.123 meq. de oxígeno activo/kg de aceite, siendo el valor más bajo y la temperatura ambiente, índice de refracción de 1.482, índice de acidez de 0.588 – 0.811 **Silva, Gallardo, Pascual, (2013)**.

Un elevado valor del índice de acidez en los aceites, será indicativo de su deterioro, es decir, que han iniciado los procesos de enrancia-miento (**Pantoja , Maldonado (2012)**).



La densidad de los ácidos grasos y glicéridos aumenta al disminuir su peso molecular y al aumentar su grado de insaturación por tal razón, el aceite de linaza posee uno de los más altos valores en comparación con otros tipos de aceite debido a que es altamente insaturado (75 % de ácidos grasos poliinsaturados y 15 % de mono insaturados. Indica que la densidad del aceite se encuentra  $0.93 \text{ g/cm}^3$  **Silva, Gallardo, Pascual, (2013)**.

Así mismo los resultados del analisis fisicoquimico del aceite de semilla de lino (linaza) de Otuzco y Corongo no difieren en los resultados de los diferentes autores mencionados, los mismos que nos indican por tanto que el aceite estuvo en buenas condiciones, es decir, aceite de calidad.

#### 4.2.1. Efecto sobre el Color:

**Tabla 14.** Análisis del color del aceite de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*).

Análisis	Corongo	Otuzco
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD
L*	26.55 <sup>a</sup> $\pm$ 0.78	27.42 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>
a*	0.49 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	2.31 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>
b*	2.17 <sup>a</sup> $\pm$ 0.25	5.25 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>

SD: Desviación estándar

# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

El análisis del color de los aceites de semilla de lino de Corongo y Otuzco a temperatura ambiente extraídos en prensado en frío en coordenadas de L\*, a\* y b\*. La luminosidad del aceite de Otuzco es ligeramente mayor a la de Corongo. Sin embargo el aceite de semilla de lino de Corongo y Otuzco a temperatura ambiente presentan valores positivos de a\* que denotan una pequeña tendencia al rojo, estos son valores tan pequeños que no es notar la tonalidad del rojo.

Los valores  $b^*$  están en un rango que denotan el color amarillento del aceite.

En promedio el aceite de semilla de lino de Corongo y Otuzco extraído en frío tuvo coordenadas de luminosidad  $L^*$ : 26.55 y 27.42,  $a^*$ : 0.49 y 2.31 positivos que denotan una pequeña tendencia al rojo y  $b^*$ : 2.17 y 5.25 positivos que denotan un color amarillo, siendo este valor el que influye en la percepción del color predominante en el aceite de semilla de lino de origen peruano. Estas coordenadas difieren a lo reportado **Silva, Gallardo, Pascual, (2013)** quienes encontraron que el color del aceite de linaza de origen australiano poseía  $L^*$ : 60.05-63.71,  $a^*$ : 3.28-9.56 y  $b^*$ : 91.08-99.80; y estos a su vez difieren de los resultados expuestos por Silva et al., 2013, en aceite de linaza de Cajamarca extraído mediante speller con luminosidad ( $L^*$ ) 38.933,  $a^*$ : 5.463, de valores positivos que denotan una pequeña tendencia al rojo y  $b^*$ : 36.527, de valores positivos que denotan un color amarillo. Se puede notar que estos son superiores y denotan mayor luminosidad, una tendencia a un color rojo más pronunciado y el color amarillo es. Estas diferencias tienen que ver con las condiciones climáticas, condiciones de cultivo y diferencias en el proceso de extracción.

El color es un atributo fundamental en la valoración organoléptica y muchas veces es un primer criterio del juicio sobre la calidad del mismo y sobre la preferencia del consumidor; según **Silva, Gallardo, Pascual, (2013)**. El aceite de semilla de lino de origen peruano se presenta a la vista con un color amarillo brillante, lo cual es una característica muy favorable en aceites vegetales en general.

#### 4.3.COMPOSICION DE ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE LINO (*Linum Usitatissimum*).

En la Tabla 15 se presenta la composición de ácidos grasos (AG) de los Aceites de semillas de lino de Corongo y Otuzco obtenida como parte de los resultados de este estudio. Estos valores corresponden a los promedios generales de las determinaciones, en el Anexo 5 se presentan además en detalle algunos parámetros estadísticos para semillas procedentes de Corongo y Otuzco, como porcentaje mínimo, porcentaje máximo, rango de variación y coeficiente de variación de las observaciones.

**Tabla 15.** Composición de Ácidos Grasos de los Aceites de semillas de lino de Corongo y Otuzco

	CORONGO	OTUZCO
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD
Palmitico (16:0)	3.41 <sup>a</sup> $\pm$ 0.32	3.67 <sup>a</sup> $\pm$ 0.07
Estearico (18:0)	2.26 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23	2.14 <sup>a</sup> $\pm$ 0.02
Oléico (18:1)	9.29 <sup>a</sup> $\pm$ 1.71	7.34 <sup>a</sup> $\pm$ 0.97
Linoleico (18:2)	12.76 <sup>a</sup> $\pm$ 0.69	13.56 <sup>a</sup> $\pm$ 0.32
Linolenico (18:3)	72.27 <sup>a</sup> $\pm$ 0.87	73.30 <sup>a</sup> $\pm$ 0.91
A.G. Saturados	5.67 <sup>a</sup> $\pm$ 0.49	5.80 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09
A.G. Insaturados	94.32 <sup>a</sup> $\pm$ 0.49	94.19 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09
A.G. Monoinsaturados	9.29 <sup>a</sup> $\pm$ 1.71	6.78 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15
A.G. Polinsaturados	85.03 <sup>a</sup> $\pm$ 1.55	86.85 <sup>a</sup> $\pm$ 0.95

SD: Desviación estándar

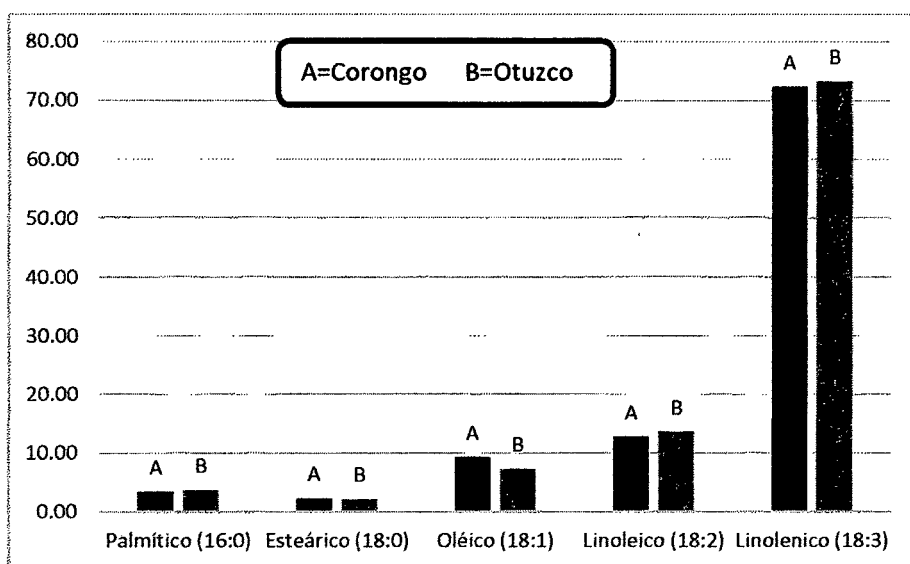
Valores obtenidos (%) por Cromatografía de Gases

# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

En la Tabla 15, se observa que los dos aceites vírgenes de semillas de lino procedentes de Corongo y Otuzco, evaluadas en este estudio predominan los ácidos grasos poliinsaturados, principalmente el linolenico y el linoleico, lo que resulta interesante ya que desde hace mucho tiempo el consumo de grasas poliinsaturadas han sido consideradas alternativas más saludables que los productos grasos saturados.

Los valores obtenidos de las dos semillas de lino (linaza) son: palmítico 3.41 y 3.67, esteárico 2.26 y 2.14; Oléico 9.29 y 7.34; Linoléico 12.76 y 13.55; Linolénico 72.27 y 73.30.

En la Figura 46 se observa en forma gráfica la comparación entre los perfiles de AG de los dos tipos de aceite en estudio. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre una Procedencia y otra, con un nivel del 95.0% de confianza. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion.



**Figura 46.** Ácidos Grasos del aceite de semillas de lino Procedentes de Corongo y Otuzco.

En las Figuras 47 y 48 que representa cromatografía GC-MS y espectros de masas , los resultados obtenidos para las muestras de ácidos grasos de aceite de semillas de lino (linaza).

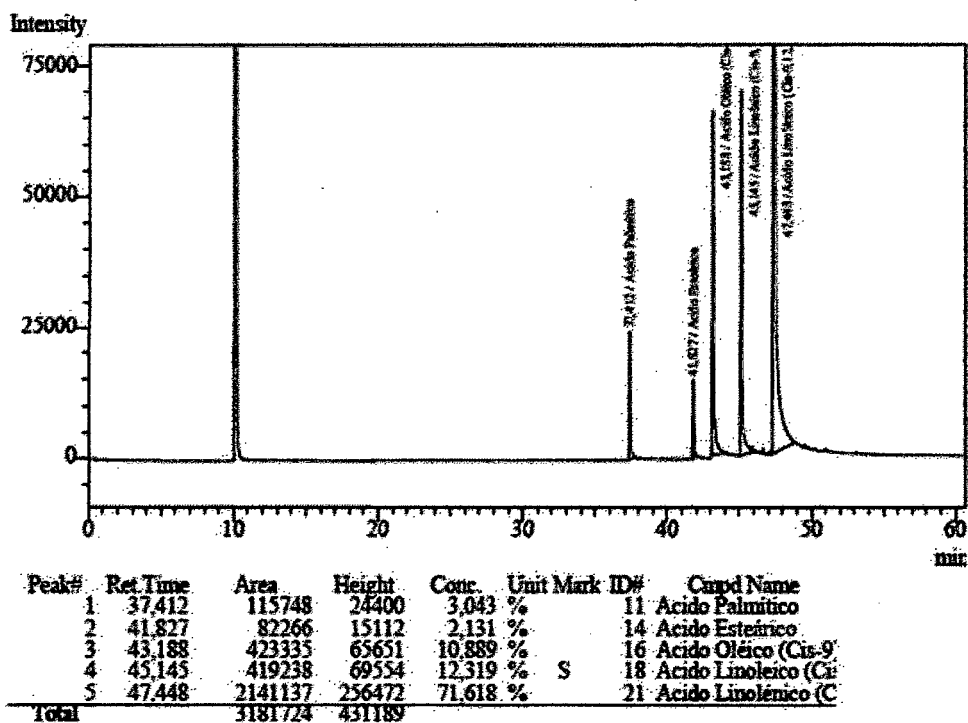


Figura 47. Cromatografía de gases análisis del aceite de semilla de lino de Corongo.

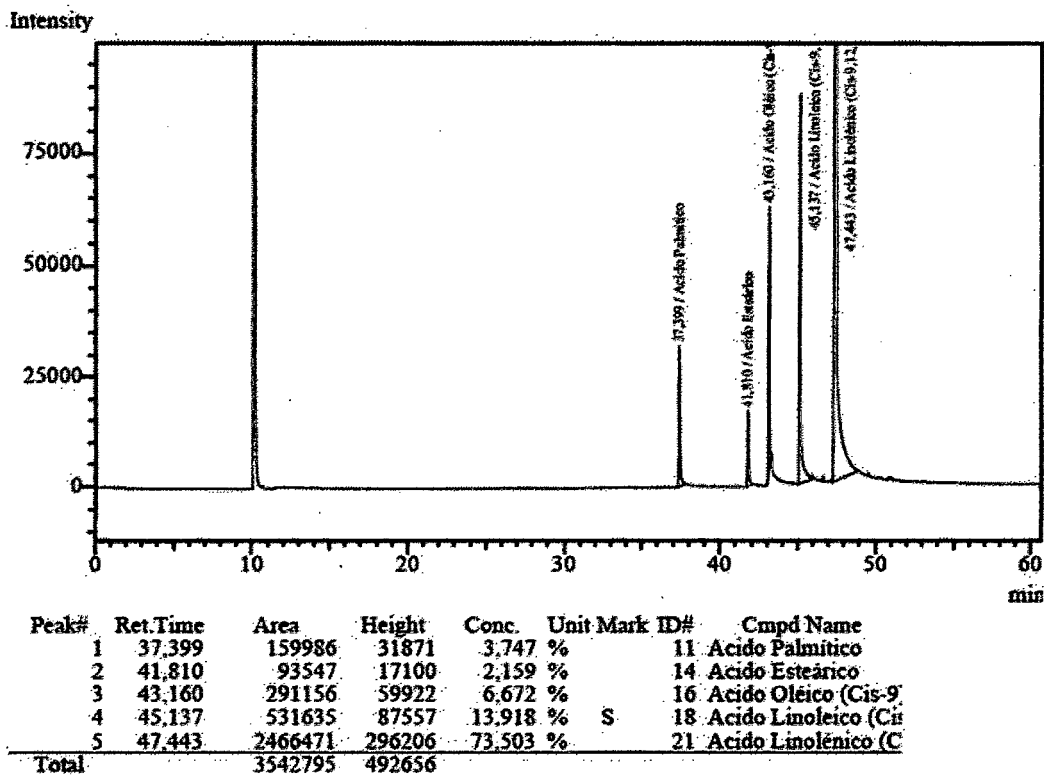


Figura 48. Cromatografía de gases análisis del aceite de semilla de lino de Otuzco.

El alto contenido de ácidos grasos insaturados en nuestro aceite 94.32 y 94.19%, para semillas procedentes de Corongo y Otuzco, es justificable por haber encontrado un elevado índice de refracción, según Fennema (1985), el índice de refracción aumenta con el crecimiento de la longitud de la cadena y también con la instauración, con 90 % de ácidos grasos según el autor.

La susceptibilidad de un aceite vegetal a la oxidación está estrechamente relacionado con el perfil de ácidos grasos presente en el aceite, ya que es conocido que los ácidos grasos poliinsaturados pueden oxidarse relativamente más fácil que los monoinsaturados. La capacidad de un aceite vegetal para resistir al deterioro por oxidación depende del grado de instauración de las cadenas carbonadas de sus ácidos grasos, aunque también hay que señalar el efecto antioxidante de varios compuestos minoritarios como los polifenoles y tocoferoles, que contribuyen proporcionando una mayor estabilidad a los aceites comestibles, por lo que se consideró necesario conocer las características de los aceites empleados en este trabajo, **Navas, (2010)**.

#### **Ácido Graso Palmítico (16:0)**

De acuerdo a los resultados del contenido de ácido palmítico obtenido en las muestras de semillas de lino procedente de Corongo y Otuzco es de 3.41 y 3.67%, respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran ligeramente por debajo a lo señalado por **Navas (2010)**, donde se establece que dentro de la composición típica de los ácidos grasos en linaza es de 4.93 y 5.20 %, y a 5.27 % señalado por **López, Loreto., (2010)**. Los resultados obtenidos para el contenido de ácido palmítico en las muestras, también se encuentran por debajo del rango de 5 a 7% establecido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2008).

#### **Ácido Graso Esteárico (18:0)**

Los Valores obtenidos para el contenido de ácido esteárico en las muestras de semillas de lino procedente de Corongo y Otuzco es de 2.26 y 2.14%, respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran ligeramente por debajo a los señalado por **Navas (2010)**, esteárico 3.98 y 3.66 %. Y también por

debajo a lo señalado por López, Loreto, 2010, quien dice que se encuentra en un rango de 3 a 5 % de ácido graso esteárico.

#### **Ácido Graso Oleico (18:1)**

De acuerdo a los resultados del contenido de ácido palmítico obtenido en las muestras de semillas de lino procedente de Corongo y Otuzco es de 9.29 y 7.34%, respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo a los señalados por diferentes autores como **Popa et al., (2012)**, quien establece ácido oleico 18,51%; **Navas, (2010)**, quien establece para ácido graso oleico 22.8 y 19.6%; **Salama, Beltagi, Hariri (2007)**, con 18.2 %. Todos los autores obtuvieron valores superiores a los encontrados en nuestros aceites extraídos.

#### **Ácido Graso Linoléico (18:2)**

Los resultados del contenido de ácido Linoléico obtenido en las muestras de semillas de lino procedente de Corongo y Otuzco es de 12.76 y 13.55%, respectivamente. Según lo establecido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2008), el contenido de ácido Linoléico en linaza varía entre 12 y 19%. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo según lo establecido por **Navas, (2010)**, quien obtiene 15.3 y 16.0 % de ácido linoleico, y también por debajo de los obtenidos por **Popa et al., (2012)**, quien obtiene una aceite con 17.25 % de ácido linoeico.

#### **Ácido Graso Linolénico (18:3)**

Los resultados en cuanto al contenido de ácido Linolenico obtenido de las muestras de semillas de lino procedente de Corongo y Otuzco es de 72.27 y 73.30%, respectivamente. El análisis de ácidos grasos de las semillas de lino de los cultivares en Egipto mostró ácido linolénico 46-50 %, **Salama, Beltagi, Hariri (2007)**, Según Navas, (2010), establecieron su aceite de linaza con 52,9 y 55,5% de ácido linolenico.

Las muestras de aceite de linaza, los ácidos grasos insaturados principales (88,97 %), mientras que los ácidos grasos saturados de 11,01 %.

Predominantemente en la composición de ácidos grasos insaturados es el ácido linolénico de 53,21 %, también la categoría de los ácidos grasos insaturados son ácido oleico 18,51% y ácido linoleico con 17,25%.**(Popa et al., 2012).**

El ácido linolénico, que es un ácido graso poliinsaturado de la familia de los ácidos grasos omega 3, fue el más importante en los aceites de linaza dorada y marrón con concentraciones 52,9 y 55,5%. Y los ácidos grasos palmítico 4.93 y 5.20, esteárico 3.98 y 3.66, oleico 22.8 y 19.6, linoleico 15.3 y 16.0.

Los aceites vírgenes de semillas de perilla, lino y nueces son fuentes importantes de ácidos grasos de cadenas largas, precursores del ácido  $\alpha$ -linolénico y posiblemente del EPA Y DHA; los cuales han resultado ser muy beneficiosos en el control de enfermedades crónicas del corazón, **Navas, (2010).**

El análisis de ácidos grasos de las semillas de lino de los cultivares en Egipto mostró ácido linolénico 46-50 %, mientras que los valores medios de ácido linoleico, ácido oleico y ácido esteárico fueron 18.2, 22 y 3.7 %, **Salama, Beltagi, Hariri (2007).** Los valores experimentales obtenidos en cuanto a los ácidos palmítico, esteárico, oleico y linoleico, son inferiores a los reportados en otras investigaciones también en aceite de linaza, al contrario del ácido linolénico que los resultados obtenidos, establecen un elevado porcentaje de estos en comparación con otras investigaciones; Lo que manifiesta su importancia del aceite de linaza extraído por prensado en frío y con semillas procedentes de la Provincias de Corongo y Otuzco, ya que este ácido graso es muy beneficioso para la salud.

Últimamente, se ha puesto mucha atención a la linaza como alimento funcional, debido a su exclusivo perfil de nutrimentos y a su potencialidad para afectar el riesgo y desarrollo de enfermedades cardiovasculares y algunos cánceres, especialmente los dependientes de hormonas como el de pecho y próstata **(Morris y Vaisey, 2003; Ramcharitar et al., 2005).**

PUFA a partir de aceite de lino son esenciales para la dieta humana y disminuir el riesgo de enfermedades relacionadas con la oxidación del colesterol.



Consumo de los ácidos oleico, linoleico y linolénico disminuye el nivel de colesterol LDL en la sangre humana. Desafortunadamente, el aceite de lino con un alto contenido de AGPI se oxida fácilmente y por lo tanto tiene un papel menor en la dieta humana (**Salama, Beltagi, Hariri (2007)**).

#### 4.4.COMPORTAMIENTO DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) EN LA PRUEBA RANCIMAT

En las figuras 49, 50, 51, 52, 53 y 54 muestran la variación de la conductividad del agua destilada durante el tiempo que transcurre el análisis Rancimat para temperaturas de: 90°, 110° y 130°C; y flujos de aire de: 15, 20 L/H. en los aceites de semillas de lino de dos procedencia de Corongo y Otuzco.

Los resultados de las gráficas muestran que el índice de estabilidad oxidativa (OSI) o tiempo de inducción tiende a disminuir con respecto al aumento de la temperatura (Tabla 16)

**Tabla 16.** Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) de Aceite de Linaza (*Linum Usitatissimum*).

Procedencia de la semillas	FLUJO (L/h)	TEMPERATURA		
		90 °C OSI±SD	110 °C OSI±SD	130 °C OSI±SD
Corongo	15	12.64±0.1852	2.44±0.0404	0.38±0.0058
	20	12.72±0.7674	2.56±0.0917	0.43±0.0265
Otuzco	15	11.26±0.0503	2.37±0.0252	0.37±0.0115
	20	11.36±0.8451	2.49±0.0289	0.43±0.0346

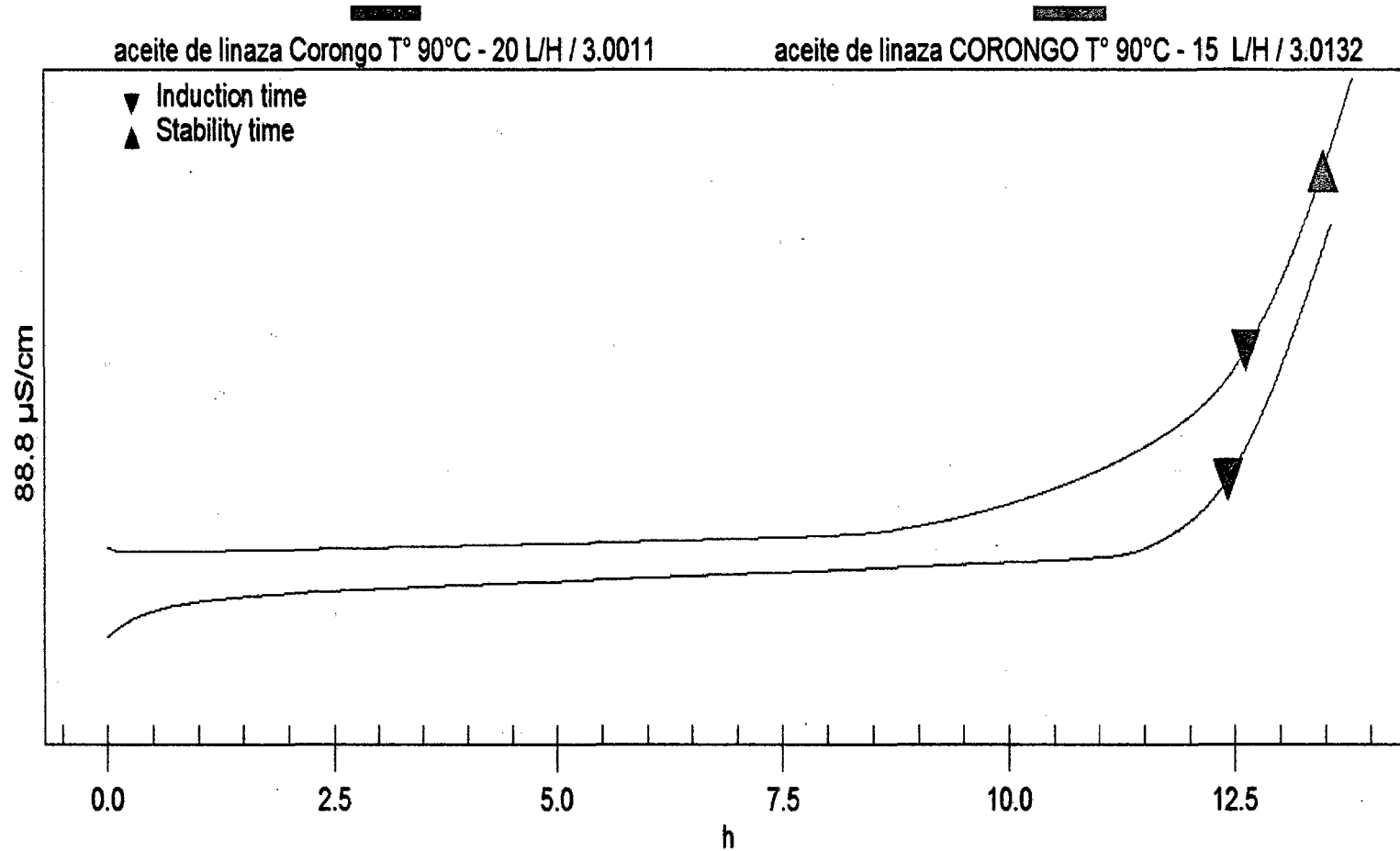
SD: Desviación estándar  
OSI (Horas)

La Tabla 16, muestra que todos los tratamientos tienden a un ligero aumento de los valores de OSI como respuesta al incremento en el flujo de aire, esta tendencia ha sido señalada por **Farhoosh, (2007)** y **Jebe et al., (1993)**.

En un estudio similar **Farhoosh, (2007)**, lo explica basado en que a elevados flujos de aire se hace más difícil alcanzar una condición de saturación del

oxígeno en la masa de aceite, por lo cual muchas moléculas de oxígeno no tienen el tiempo suficiente para disolverse en la matriz oleosa, reduciéndose por lo tanto la concentración efectiva de oxígeno que puede adicionarse a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, como resultado se extiende el tiempo de inducción.

A continuación se muestran los gráficos respectivos de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) vs. Tiempo (h):



**Figura 49.** Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 90°C y a flujo de aire de 15 y 20. Aceite de semilla de lino procedente de Corongo

A continuación se muestran los gráficos respectivos de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) vs. tiempo (h):

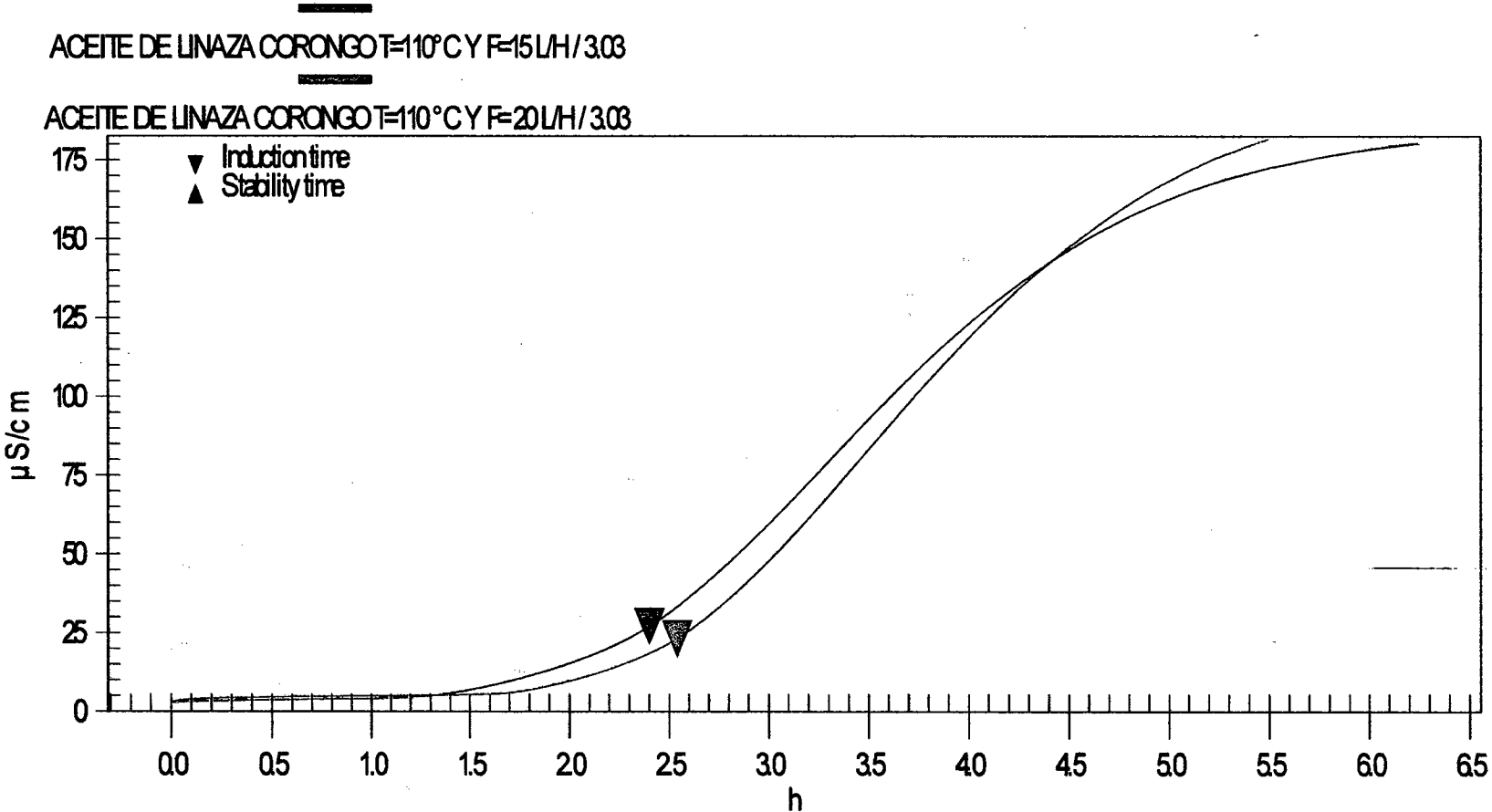


Figura 50. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 110°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de semilla de Lino procedente de Corongo.

ACEITE DE LINAZA CORONGO T=130°C Y F=15 L/H / 3.02

ACEITE DE LINAZA CORONGO T=130°C Y F=20 L/H / 3.01

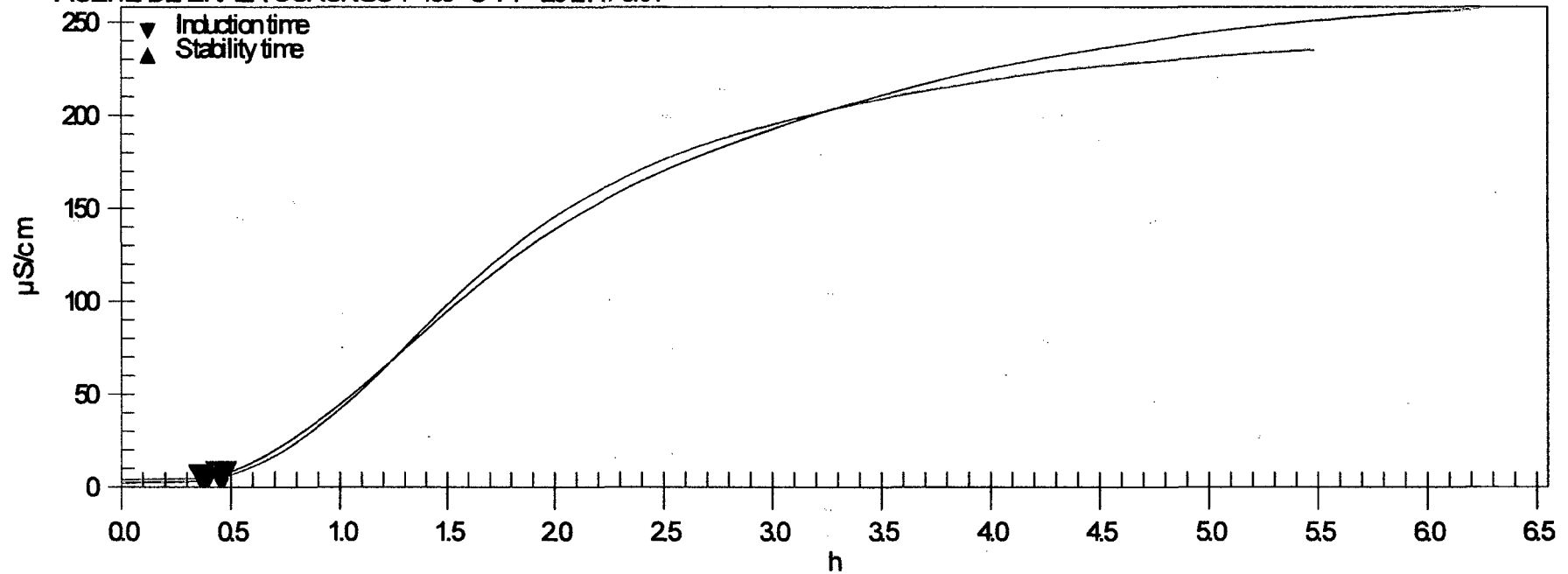
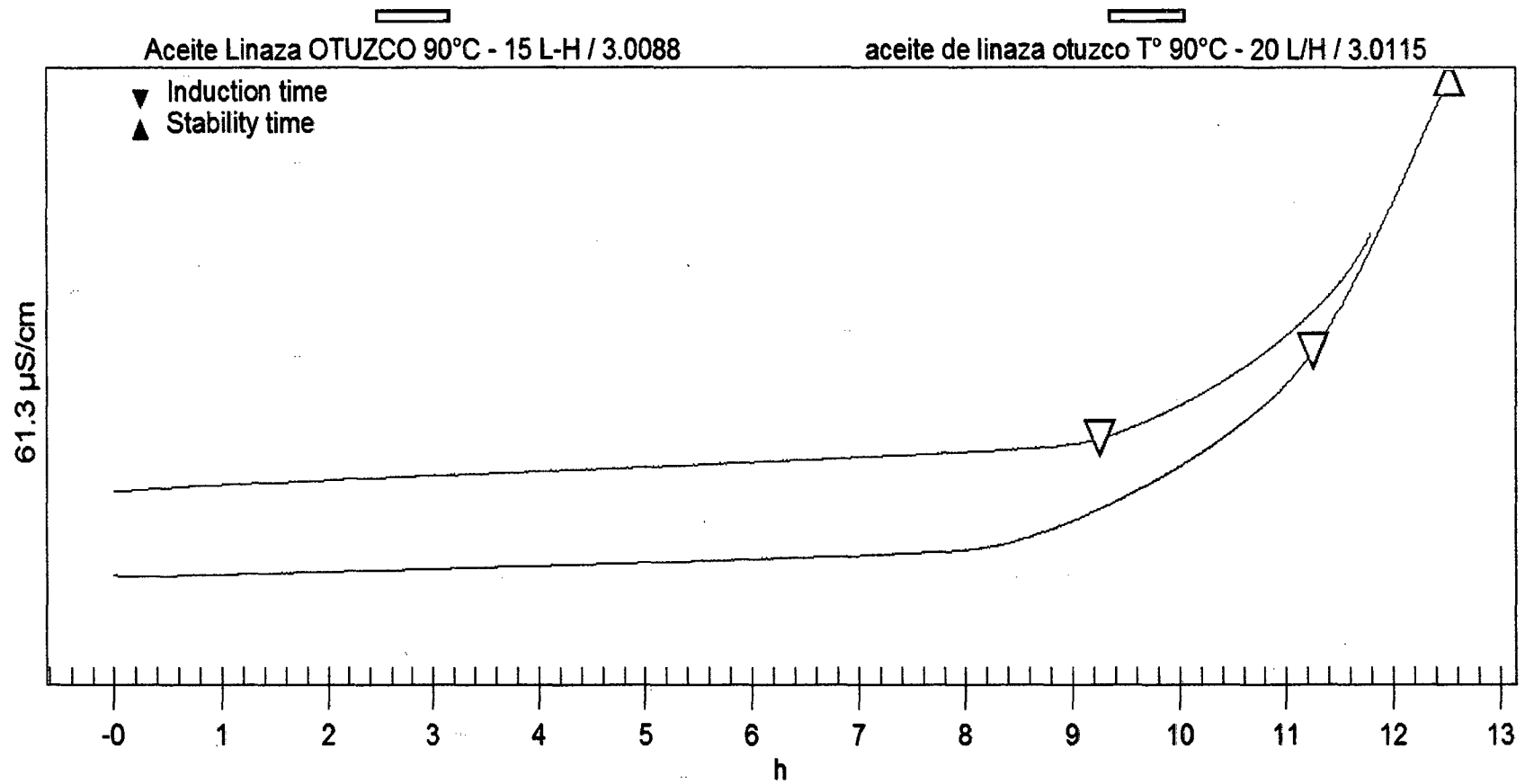


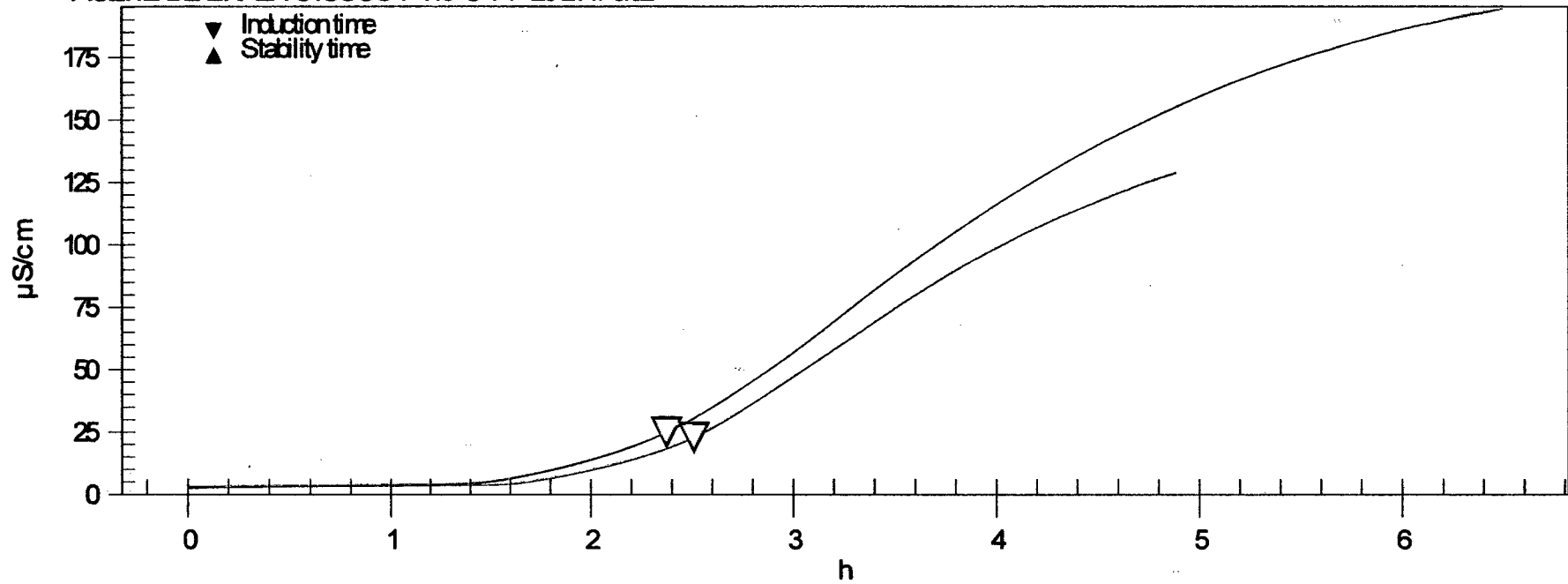
Figura 51. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 130°C y a flujo de aire de 15 y 20. Aceite de semilla de lino procedente de Corongo



**Figura 52.** Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 90°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de semilla de Lino procedente de Otuzco.

ACEITE DE LINAZA OTUSCO T=110°C Y F=15 L/H / 3.02

ACEITE DE LINAZA OTUSCO T=110°C Y F=20 L/H / 3.02



**Figura 53.** Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 110°C y a flujo de aire de 15 y 20. Aceite de semillas de lino procedente de Otuzco

ACEITE DE LINAZA OTUSCO T=130°C Y F=15 L/H / 3.03

ACEITE DE LINAZA OTUSCO T=130°C Y F=20 L/H / 3.03

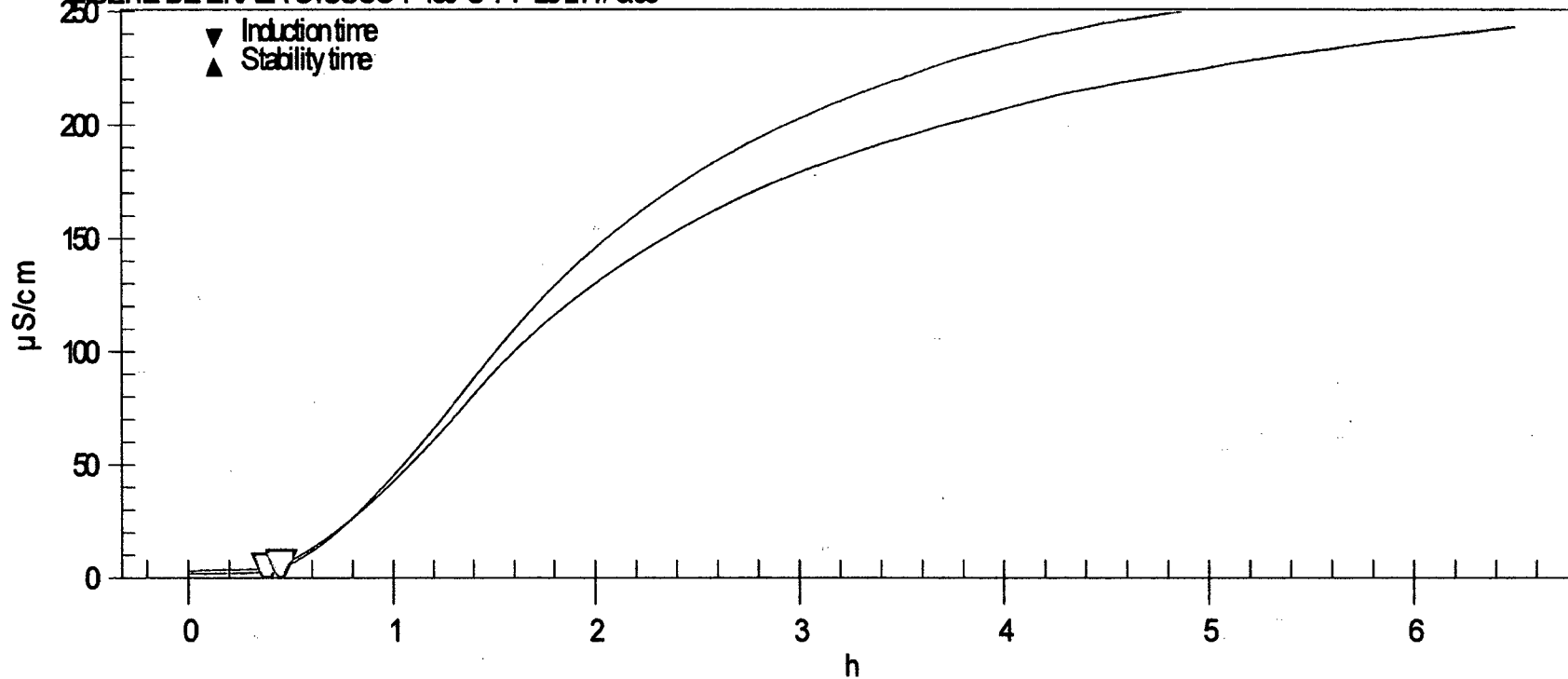


Figura 54. Variación de la conductividad eléctrica a temperatura de 130°C y a flujo de aire de 15 y 20, Aceite de semilla de lino procedente de Otuzco.



#### 4.5. Tendencia de la Estabilidad Oxidativa en Función de la Temperatura y del Flujo de Aire

Los gráficos tridimensionales de la Figuras 55 y 56, muestra la tendencia de la estabilidad oxidativa en función de la procedencia de la semilla, la temperatura y del flujo de aire, señalando claramente que los valores de OSI dependen en mayor grado de la temperatura que del flujo de aire utilizado y también que de la procedencia.

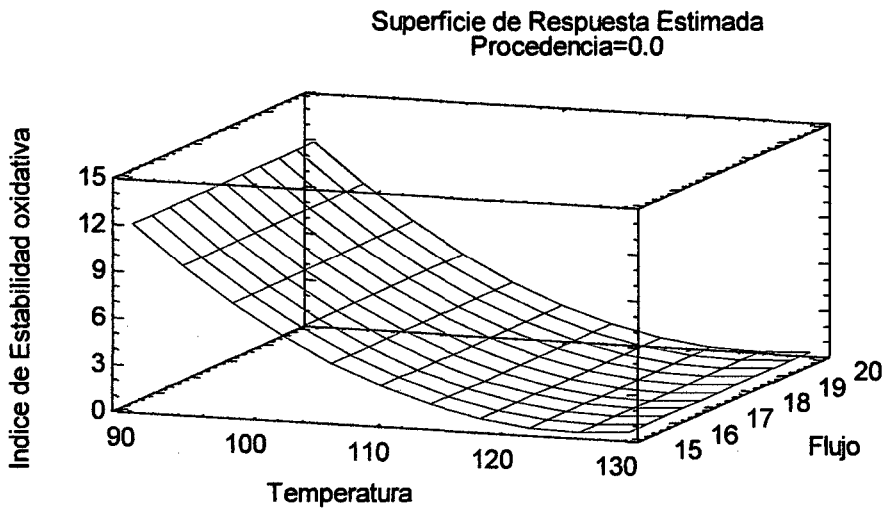


Figura 55. Gráfico de OSI vs Temperatura - Flujo de aire

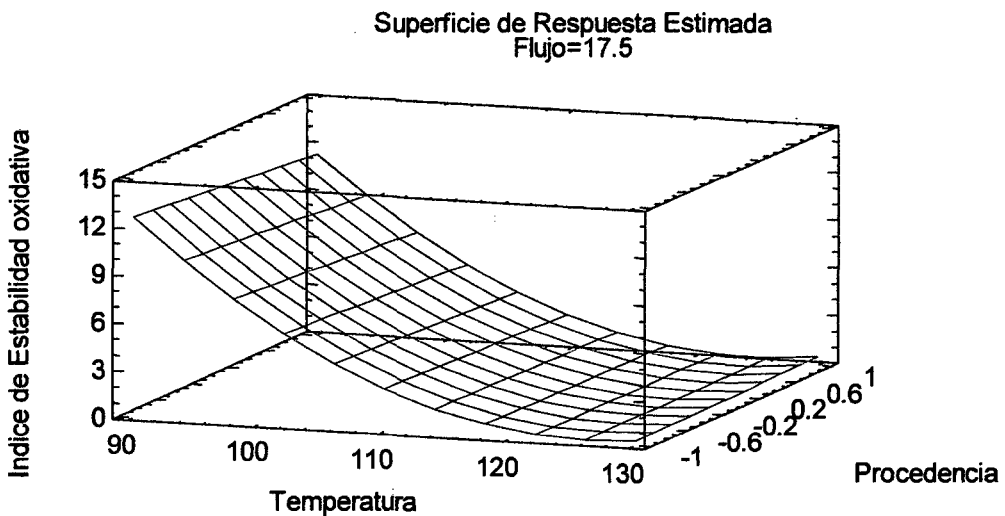
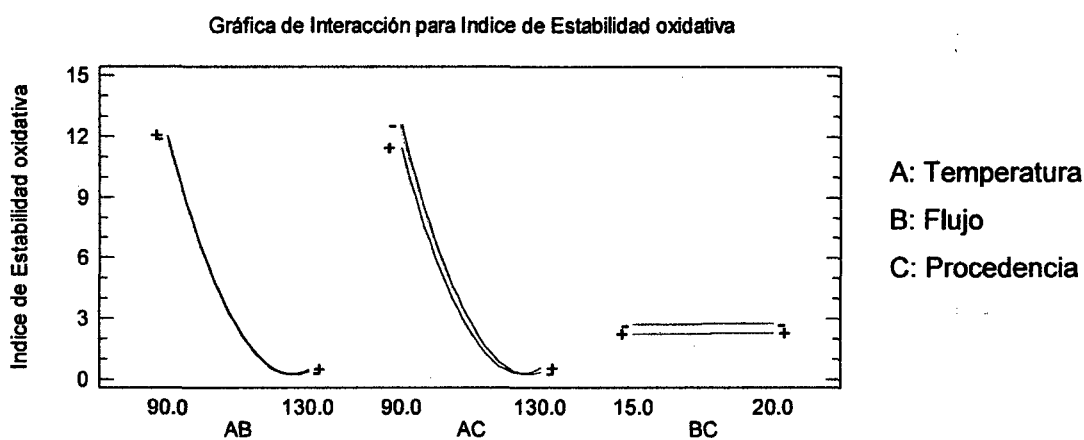
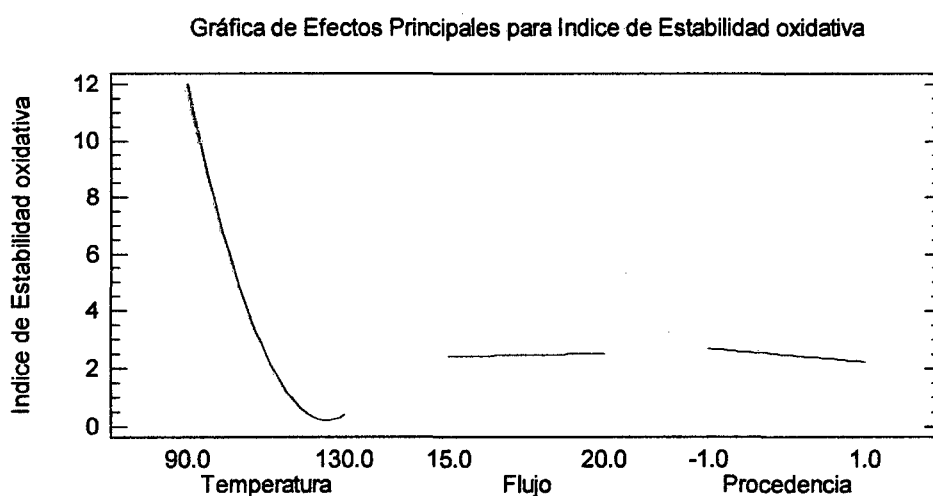


Figura 56. Gráfico de OSI vs Temperatura – Procedencia de la semilla

La temperatura ejerció el efecto más importante sobre los valores de OSI en cada uno de los aceites evaluados, lo cual era de esperarse ya que es conocido que la velocidad de las reacciones químicas tiende a duplicarse por cada 10° C de aumento de la temperatura a la cual ellas ocurren. Por lo tanto, los valores más bajos de OSI se obtuvieron a 130°C, para el aceite de semillas de lino procedentes de Corongo y Otuzco siendo,  $(0.38 \pm 0.0057 \text{ h})$  y  $(0.37 \pm 0.0115 \text{ h})$  respectivamente.



**Figura 57.** Interacción del índice de estabilidad oxidativa



**Figura 58.** Efectos Principales para el índice de estabilidad oxidativa

El aceite de las semillas de uva fue el menos estable, tal como lo evidencian los valores de OSI, con 18,3 h durante el ensayo de oxidación acelerada a 90°C, **(Navas, 2010)**.

Estabilidad Oxidativa para el aceite de Sesamum Indicum L. Reportando valores de OSI de  $11.37 \pm 0.24$  h,  $11.53 \pm 0.54$  h,  $11.53 \pm 0.54$  a flujos de 15, 20 y 25 L/H respectivamente, a una temperatura de 110°C. **(Villanueva, Castillo, 2013)**.

Los resultados obtenidos por el aceite de lino de ambas procedencias tienen un OSI, relativamente bajo a comparación de otros aceites, estudiados en otras investigaciones lo cual sugiere su baja estabilidad en las condiciones aceleradas de oxidación. Alcanzando valores de OSI entre 12.64 y 12.72 y 11.26 a 11.36 h durante el ensayo de oxidación acelerada a 90° C y a flujo de 15 y 20 L/H. para semillas de aceite de lino Procedentes de Corongo y Otuzco respectivamente.

El ensayo acelerado de estabilidad oxidativa mostro que el aceite virgen de lino (*Linum Usitatissimum*). De semillas procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco. No tienen una alta estabilidad en comparación de otros aceites estudiados en **(Navas, 2010)**. Siendo de estas ultima menos estable con valores OSI, de 11.26 h durante el ensayo de oxidación acelerada a 90°C.

Esta susceptibilidad está asociada a la alta proporción del ácido linoleico, lo que lo hace más susceptible a la adición de moléculas de oxígeno sobre los dobles enlaces.

Evidentemente la temperatura ejerció el efecto más importante sobre los valores de OSI en el aceite evaluado, lo cual era de esperarse ya que es conocido que la velocidad de las reacciones químicas tiende a duplicarse por cada 10 °C de aumento de la temperatura a la cual ellas ocurren. **(Navas, 2010)** Este comportamiento podría atribuirse a la aceleración producida en la descomposición de hidroperóxidos de lípidos, **(Frankel, 2005)**

Los cambios de conductividad experimentada por agua desionizada se debe al recoger los ácidos orgánicos volátiles producidos en las etapas finales del acelerado proceso de oxidación del aceite, **(Jebe et al., Man, Tie y de Man, 1987; Méndez et al, 1996)**

El tiempo requerido para producir un aumento repentino de la conductividad debido a la formación de ácidos volátiles, principalmente ácido fórmico, determina el índice de estabilidad oxidativa (OSI), que se puede definir como una medida de la resistencia a la oxidación de una grasa o aceite. Además, estudios previos han demostrado la correlación existente entre los datos de estabilidad obtenidos por el test Rancimat y las determinadas por otros métodos sensoriales y/o analíticos. (Anwar, Bhanger y Kazi, 2003; Coppin y Pike, 2001; Gordon y Mursi, 1994).

#### 4.6. Determinación de la Vida Útil

La extrapolación es un procedimiento en el cual se obtiene un resultado para un valor de la variable independiente que esta fuera del intervalo de los valores experimentales de la temperatura, por lo cual el error asociado al resultado final tiende a ser muy elevado. Asimismo, la ecuación empírica parte del supuesto de que se mantiene la dependencia lineal de OSI con la temperatura, lo cual no es necesariamente cierto cuando se trabaja con valores muy alejados del límite inferior o superior del intervalo de valores experimentales.

Los valores de A (coeficiente de temperatura) y B (valor empírico) para cada flujo y diferente procedencia de semillas de lino, se presentan en la Tabla 17, los resultados muestran valores de A ubicados entre -0.0380 a -0.0368 °C (Corongo), -0.0370 a -0.0355 °C (Otuzco); y B entre 4.5327 a 4.4277 (Corongo), 4.4016 a 4.2716 (Otuzco); los coeficientes de regresión situados entre 0.9988 a 0.999 (Corongo), y 0.9973 a 0.9981(Otuzco).

**Tabla 17.** Valores de regresión lineal A y B, sometidos al test Rancimat.

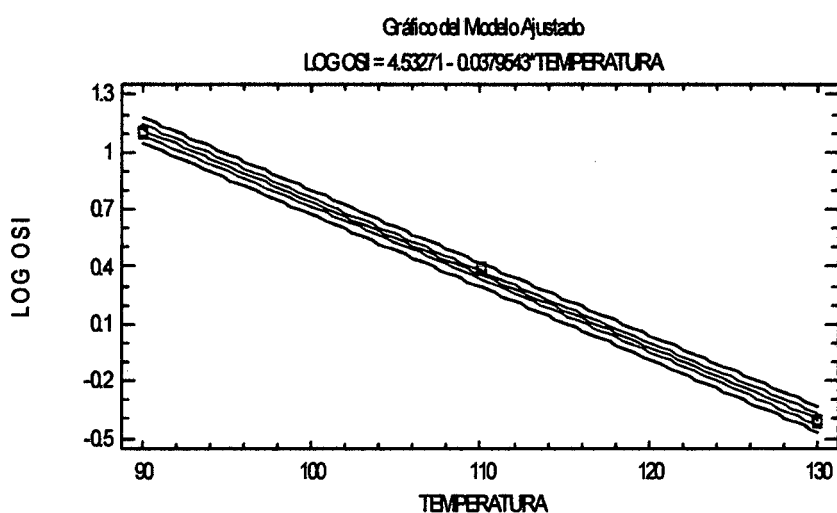
Procedencia	Flujo (L/h)	A ± SE (°C <sup>-1</sup> )	B ± SE	R <sup>2</sup>
Corongo	15	-0.0380±0.0005	4.5327±0.0567	0.9988
	20	-0.0368±0.0006	4.4277±0.0682	0.999
Otuzco	15	-0.0370±0.0007	4.4016±0.0799	0.9973
	20	-0.0355±0.0008	4.2716±0.0873	0.9981

SE: Error estándar.

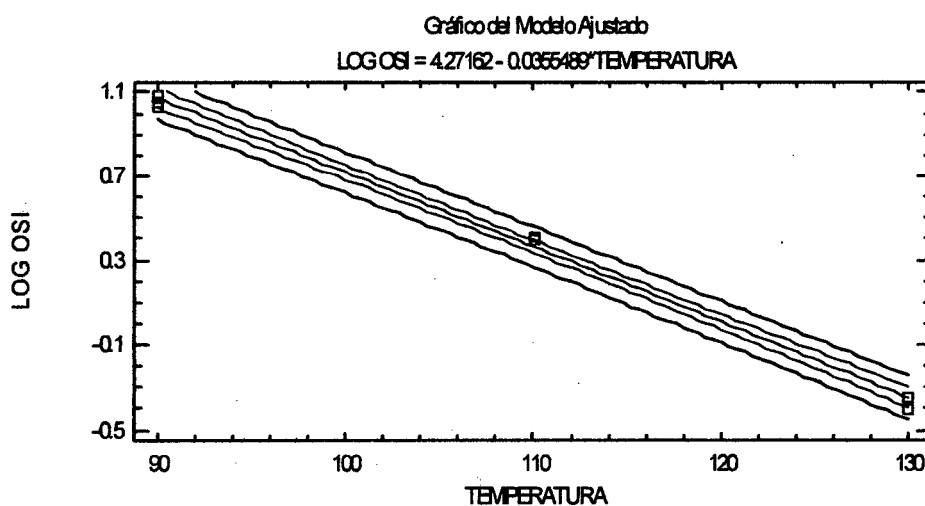
En el Anexo 09 muestran la extrapolación para el aceite de lino (*Linum Usitatissimum*) de dos procedencias: Corongo y Otuzco, y flujos de 15 y 20 L/h. para cada aceite.

Se calcularon los valores de OSI para una temperatura de 25°C para los 2 aceites estudiados.

a)

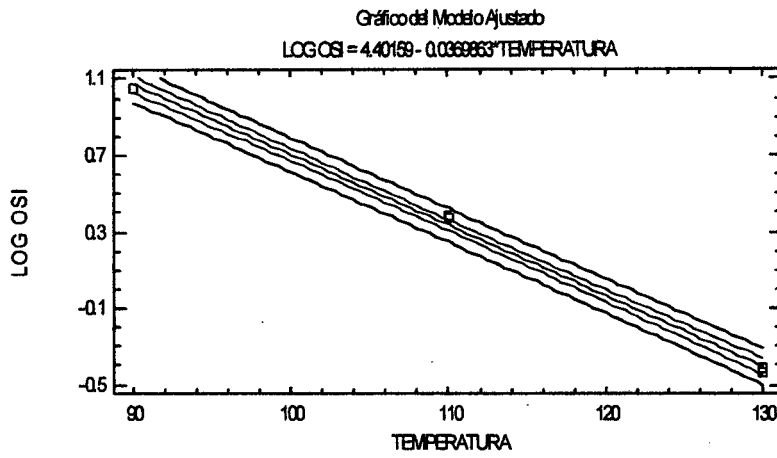


b)

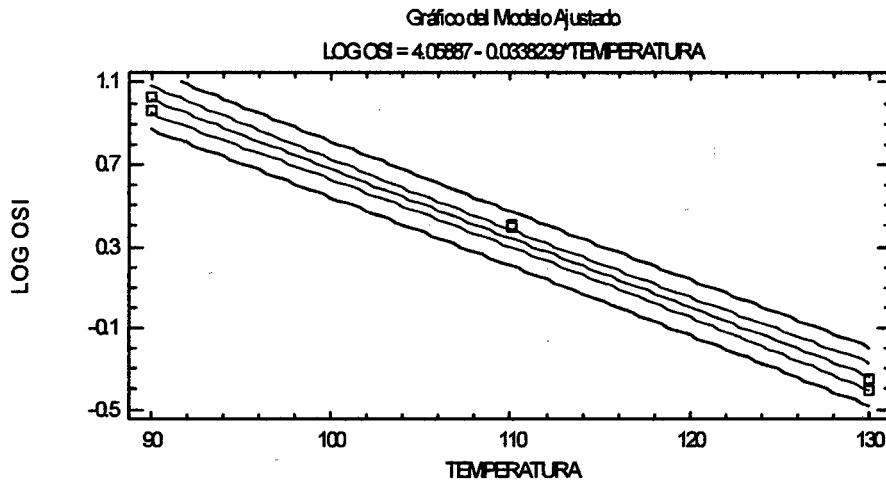


**Figura 59.** Gráficos de regresión lineal logaritmo OSI y Temperatura (CORONGO) a) 15L/H, b) 20L

a)



b)



**Figura 60.** Gráficos de regresión lineal logarítmico OSI y Temperatura (OTUSCO). a) 15L/H, b) 20L

La tabla 18 muestra los valores de la extrapolación o vida útil a temperatura de 25°C (T ambiente) la cual señala una fuerte influencia de los flujos de aire sobre la extrapolación del OSI de aceite de linaza a 25°C. Los OSI obtenidos para cada flujo de aire fueron de 159, 134 (Corongo) y 124, 100 (Otuzco), días respectivamente.

**Tabla 18.** Valores de extrapolación de OSI a 25°C

Procedencia	Flujo (L/h)	OSI ± δOSI (días)
Corongo	15	159 ± 25
	20	134 ± 26
Otuzco	15	124 ± 28
	20	100 ± 25

Por otro lado el método de propagación de errores genera como resultados 25, 26, 28 y 25 días.

Estas desviaciones son elevadas ya que el método de extrapolación parte del supuesto de que se mantiene la dependencia lineal de OSI con la temperatura, lo cual no es necesariamente cierto cuando se trabaja con valores muy alejados del límite inferior o superior del intervalo de valores experimentales. (Navas, 2010)

La vida útil de las grasas y aceites comestibles en condiciones ambientales se estima mediante el trazado del logaritmo de los resultados de la estabilidad a la oxidación frente a altas temperaturas y extrapolando a la temperatura ambiente. Se ha demostrado que la extrapolación de los valores Rancimat (índice de estabilidad oxidativa, OSI) a condiciones ambientales conducen a cualquiera de exceso o déficit de la predicción de la vida de anaquel real, dependiendo de la composición de ácidos grasos de los aceites. (Kaya et al., 1993)

Tabla 19, muestra los resultados en cuanto al índice de estabilidad oxidativa, donde la temperatura y la procedencia de la semillas tienen diferencia altamente significativa a un nivel de significancia del 5%, ya que los valores – P, resultaron ser menores a 0.05 ( $p < 0.05$ ) y también menores a 0.01 ( $p < 0.01$ ).

**Tabla 19.** Análisis de Varianza (ANOVA), del Índice de Estabilidad Oxidativa

<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>A:Temperatura</b>	917.462	2	458.731	2251.88	0.0000
<b>B:Procedencia</b>	2.09767	1	2.09767	10.30	0.0031
<b>C:Flujo</b>	0.0684694	1	0.0684694	0.34	0.5663
<b>RESIDUOS</b>	6.31502	31	0.20371		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	925.943	35			

**García et al., (2013)**, estudiaron la influencia de los parámetros del Test Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa de aceite de pescado, utilizando como parámetros el flujo de aire, temperatura y peso de la muestra, concluyendo mediante el análisis de la varianza (ANOVA) que el valor de OSI es altamente dependiente de los efectos lineales de temperatura y velocidad de flujo de aire, mas no del peso de la muestra, asociado con las probabilidades  $p < 0,001$  y  $p = 0,001$ , respectivamente.



#### 4.7. ANÁLISIS DEL PERFIL LIPÍDICO DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) DESPUÉS DEL TEST RANCIMAT

En la Tabla 20, se observa que el aceite virgen de semilla de lino procedente de Corongo y Otuzco, después de ser sometidas al Test de Rancimat, se determinó la composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases.

A pesar de ser sometido a altas temperaturas aún predominan los ácidos grasos polinsaturados, principalmente del linolenico.

**Tabla 20.** Análisis del Perfil Lipídico del Aceite de lino después del Test Rancimat

Ácidos Grasos	Procedencia de las semillas	
	CORONGO	OTUZCO
	Valor $\pm$ SD	Valor $\pm$ SD
<b>Palmitico (16:0)</b>	6.549 <sup>a</sup> $\pm$ 0.32	6.866 <sup>a</sup> $\pm$ 0.66
<b>Estearico (18:0)</b>	4.408 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18	4.22 <sup>a</sup> $\pm$ 0.50
<b>Oléico (18:1)</b>	18.515 <sup>a</sup> $\pm$ 0.02	15.56 <sup>a</sup> $\pm$ 1.60
<b>Linoleico (18:2)</b>	14.27 <sup>a</sup> $\pm$ 0.29	14.922 <sup>a</sup> $\pm$ 0.14
<b>Linolenico (18:3)</b>	56.259 <sup>a</sup> $\pm$ 0.77	58.434 <sup>a</sup> $\pm$ 2.63
<b>A.G. Saturados</b>	10.96 <sup>a</sup> $\pm$ 0.35	11.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83
<b>A.G. Insaturados</b>	89.04 <sup>a</sup> $\pm$ 0.35	88.91 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83
<b>A.G. Monoinsaturados</b>	18.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	15.56 <sup>a</sup> $\pm$ 1.13
<b>A.G. Polinsaturados</b>	70.53 <sup>a</sup> $\pm$ 0.34	73.36 <sup>a</sup> $\pm$ 1.96

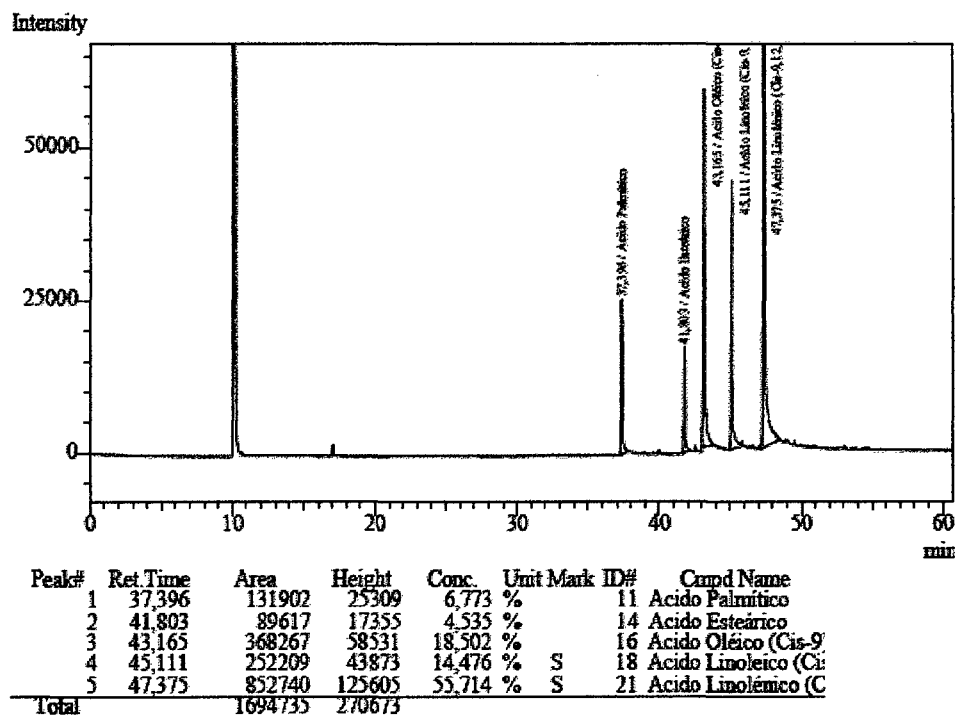
SD: Desviación estándar

Valores obtenidos (%) por Cromatografía de Gases

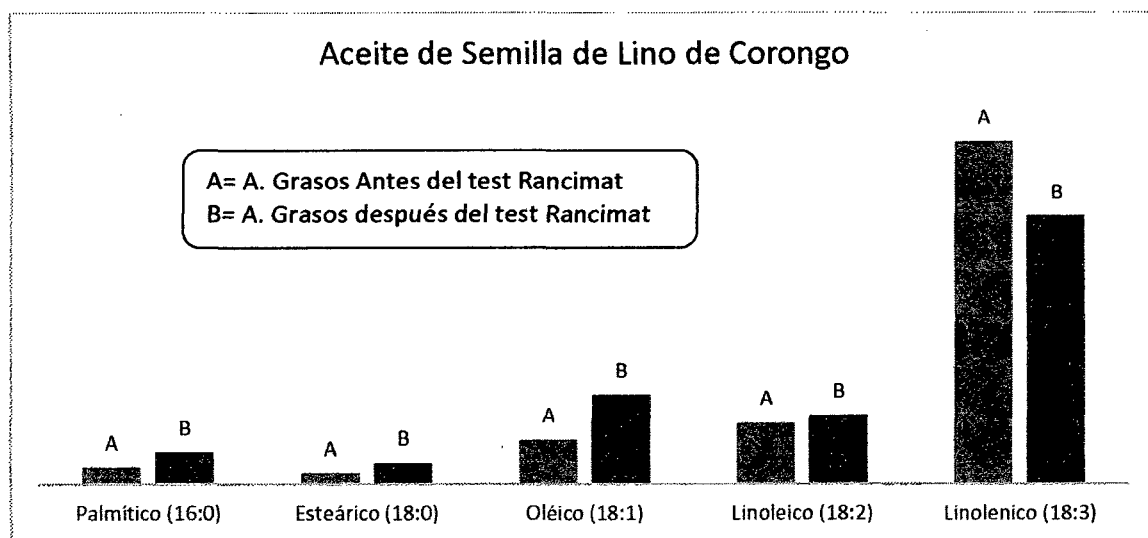
# Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza (TUKEY).

Los ANOVA realizados para cada Ácido Graso encontrado en el aceite de semilla de lino Procedente de la Provincia de Corongo y Otuzco, antes y después de haberlo sometido al Test de Rancimat se encuentran en el Anexo 10. El diseño estadístico que se utilizó es un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de  $2 \times 2 = 4$ , 2 procedencias de la semilla y Tiempo (antes y después del Test de Rancimat), para evaluar la composición de ácidos grasos, es decir 4 tratamientos con 3 repeticiones, siendo un total de 12 experimentos, los cuales serán evaluados estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

#### 4.7.1. Perfil lipídico del aceite de lino de Corongo después del Test Rancimat



**Figura 61.** Análisis del Perfil Lipídico del Aceite de lino de Corongo después del Test Rancimat



**Figura 62.** Análisis del Perfil Lipídico del Aceite de lino de Corongo antes y después del Test Rancimat

#### 4.7.2. Perfil lipídico del aceite de lino de Otuzco después del Test Rancimat

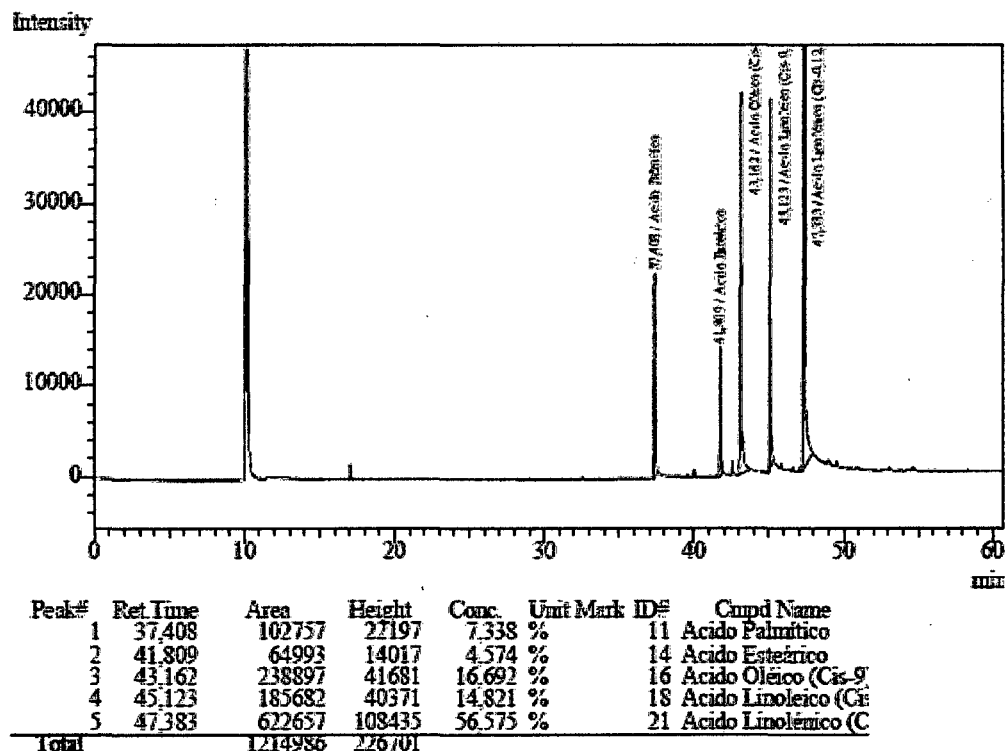


Figura 63. Análisis del Perfil Lipídico del Aceite de linaza de Otuzco después del Test Rancimat

#### Aceite de Semilla de Lino de Otuzco

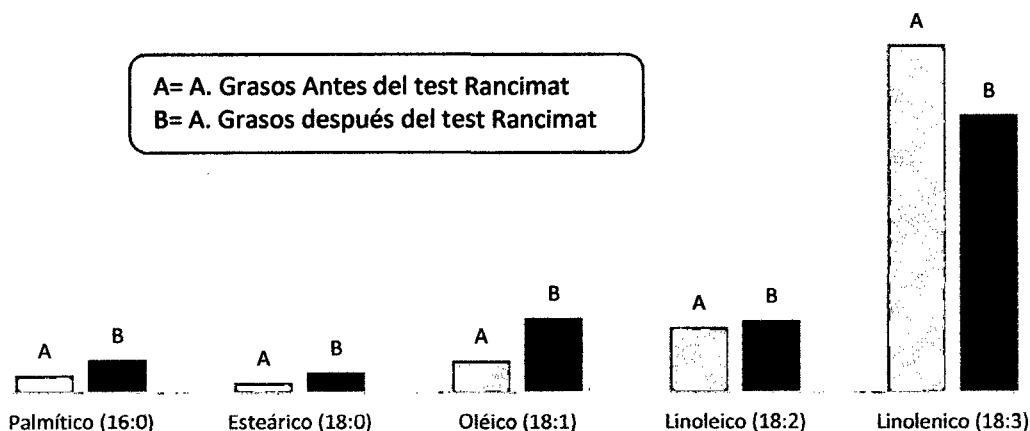


Figura 64. Análisis del Perfil Lipídico del Aceite de linaza de Otuzco antes y después del Test Rancimat

La susceptibilidad del aceite de semilla de lino procedentes de Corongo y Otuzco a la oxidación está estrechamente relacionado con el perfil de ácidos grasos presente en estos ya que , ya que es conocido que los ácidos grasos poliinsaturados pueden oxidarse relativamente más fácil que los monoinsaturados, conociendo que nuestro aceite tiene una elevada composición de ácido linolenico, al analizar el aceite en el rancimat este ácido graso poliinsaturado, está produciendo hidroperóxidos mediante reacciones de oxigenación catalizadas por enzimas, por fotooxidación o por auto oxidación química, **(Navas., 2010)**. Estos hidroperóxidos dan lugar a la formación de aldehídos, cetonas, alcoholes, y ácidos grasos de cadenas cortas, que son los compuestos responsables del desarrollo de sabores y aromas desagradables por enranciamiento oxidativo.

La reacción de oxidación en el aceite de semilla de lino de Corongo y Otuzco, aparecen olores y sabores a rancio, se altera el color y la textura, y desciende el valor nutritivo al perderse algunas vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados. Los aceites vegetales provenientes de semillas son muy susceptibles al deterioro por oxidación debido a que la mayoría de ellos presentan una composición en ácidos grasos insaturados, por lo que su vida útil en anaquel se reduce. La principal causa de oxidación en las semillas es la oxidación enzimática. En las semillas oleaginosas crudas existe una notable cantidad de lipasas activas, cuya misión fisiológica es la digestión de las grasas durante de germinación, **(Navas., 2010)**.

En otras palabras, con la determinación de la estabilidad de un aceite vegetal por el método de Rancimat, lo que se evalúa es la rapidez con la cual se produce la formación de los peróxidos y, es lógico suponer que mientras más insaturado sea el aceite, más rápidamente ocurrirá la oxidación, independientemente de la presencia de cantidades mayores o menores de antioxidantes naturales, **(Navas., 2010)**, eso es lo que sucede con las muestras analizadas del aceite de semilla de lino de procedencias de Corongo y Otuzco, que al tener dentro de su perfil lipídico a los ácidos grasos insaturados más rápidamente ocurrirá la oxidación.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

## V. CONCLUSIONES

- Los análisis fisicoquímicos de los aceites de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco muestran la alta calidad del aceite, por su bajo % de acidez ( $0.36 \pm 0.04\%$  y  $0.53 \pm 0.02\%$  respectivamente) e índice de peróxidos ( $0.05 \pm 0.01 \text{ meqO}_2/\text{kg}$  y  $0.68 \pm 0.14 \text{ meqO}_2/\text{kg}$  para cada uno), indican que el aceite se extrajo y se almaceno en óptimas condiciones.

La densidad del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo  $0.944 \pm 0.00 \text{ g/cm}^3$  y Otuzco es de  $0.943 \pm 0.00 \text{ g/cm}^3$ , y el índice de refracción para cada uno es de  $1.48 \pm 0.01$  y  $1.49 \pm 0.01$  considerablemente mayores son justificable por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados que tiene el aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco (PUFA: 85.031 y 86.85 respectivamente) y, MUFA: 9.291% y 7.34% respectivamente) en especial el linolenico  $72.27 \pm 0.86\%$  (Corongo) y  $73.30 \pm 0.40\%$  (Otuzco), el aceite de linaza peruano tiene un mayor porcentaje de estos.

- Los principales ácidos grasos detectados en los aceites de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) Corongo y Otuzco obtenidos por ambas semillas fueron los siguientes según el orden de abundancia: ácido linolénico (18:3):  $72.27 \pm 0.86\%$  y  $73.30 \pm 0.40\%$ , seguido por ácido linoleico (18:2):  $12.76 \pm 0.69\%$  y  $13.61 \pm 0.43\%$ , ácido oleico (18:1):  $9.29 \pm 1.71\%$  y  $6.78 \pm 0.15\%$ , ácido palmítico:  $3.41 \pm 0.32\%$  y  $3.68 \pm 0.06\%$ , ácido esteárico:  $2.26 \pm 0.22\%$  y  $2.13 \pm 0.03\%$ . Los aceites de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco obtenidos exhibieron una baja estabilidad oxidativa debido principalmente al elevado nivel de PUFAs presentes en los mismos.
- El ensayo acelerado de estabilidad oxidativa mostro que el aceite virgen de linaza de Corongo fue ligeramente más resistente a la oxidación que el aceite de linaza de Otuzco con periodos de inducción más cortos; a medida que sube la temperatura en la prueba de Rancimat se incrementa la diferencia del OSI, entre un aceite y otro.

- El periodo de la Vida Útil, estimado a 25°C por extrapolación de los datos del Rancimat, los valores de OSI para los dos aceites estudiados, mostraron que fue el aceite de lino (*Linum Usitatissimum*) procedente de Corongo es el más estable con un periodo de inducción de 34.97 días más que el aceite de lino (*Linum Usitatissimum*) de Otuzco.
- El rendimiento obtenido del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco extraído por prensado en frío tiene  $37.7 \pm 0.5\%$  y  $36.8 \pm 0.6\%$  para cada uno.
- Los valores  $L^*$ :  $0.86 \pm 0.36$ ,  $a^*$   $1.82 \pm 0.05$ , mayor que el de Corongo que denotan una pequeña tendencia al rojo, estos son valores tan pequeños que no es notar la tonalidad del rojo y  $b^* 3.08 \pm 0.09$  están en un rango que denotan el color amarillento del aceite del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) procedente de Otuzco son ligeramente mayor a los valores de Corongo.

**CAPÍTULO VI**

**RECOMENDACIONES**



## VI. RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta que aceite de semilla de lino (linaza) está compuesto de 90% ácidos grasos poliinsaturados, siendo el de más relevancia ácido alfa linolénico (Omega 3) con 72.26% a 73.79% ya que estos son muy sensible al calor, oxígeno y luz, por lo que usualmente la semilla entera debería ser prensada en frío.
- Se debe considerar una baja temperatura para el proceso de extracción del aceite de semilla de lino, ya que una elevada temperatura afecta la calidad del aceite.
- El almacenamiento del aceite de semilla de lino se ve afectado por el tipo de material a usar, ya que el efecto de la luz es un factor de suma importancia, además de utilizar el gas de nitrógeno para proteger de la oxidación al aceite de semilla de lino, ya que afecta la calidad del aceite, representada por una estabilidad oxidativa elevada, prolongando la vida útil.
- El presente trabajo abre las puertas al planteamiento de nuevas investigaciones: "Evaluar la actividad antioxidante del aceite de lino por el método del radical DPPH", "Caracterizar la torta de semillas de lino, obtenido por prensado en frío".

## **CAPÍTULO VII**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBRO:

- **Graciani E., (2006):** Los Aceites y grasas: Composición y propiedades.
- **Toledo R., (1991):** Fundamentals of Food Process Engineering.
- **Heldmann D. y Lund D., (1992):** Handbook of Food Engineering.

### TESIS:

- **Álvarez S., (2010):** Caracterización Físico - Química y Organoléptica del Aceite obtenido de las Semillas de Linaza (*Linum usitatissimum*).
- **Báez J., (2010):** Evaluación Termofísica de los Materiales utilizados en Emulsiones y Microcápsulas y Análisis de su Efecto en el Retardo de la Oxidación de Ácidos Grasos Poliinsaturados del Aceite de Linaza”.
- **Ixtaina V., (2010):** Caracterización de la Semilla y el Aceite de Chía obtenido mediante distintos Procesos. Aplicación en Tecnología de Alimentos.
- **Jácome S., (2010):** Evaluación de la Calidad de Yogurt Tipo II con la Utilización de Gel de Linaza como Estabilizante.
- **López L., Loreto C., (2010):** Caracterización de Distintas Variedades de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) Mediante la Determinación del Contenido de Materia Grasa y Perfil Lipídico.
- **Navas P., (2010):** Componentes Minoritarios y Propiedades Antioxidantes de Aceites Vírgenes y Tortas Residuales obtenidos por Presión en Frío a partir de Fuentes Vegetales Convencionales y no Convencionales.

- **Pantoja L., Maldonado S., (2012):**Caracterización del Contenido de Aceite de dos Oleaginosas: Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y Canola (*Brassic napus* y *Brassica rapa*).
- **Sayago A., Marin .A., Aparicio R., Morales T., (2007):** Vitamina E y Aceites Vegetales.
- **Villanueva E.; Castillo D., (2013):** Influencia del Test Rancimat Sobre la Determinación del Índice de la Estabilidad Oxidativa del Aceite de *Sesamum Indicum* L.

## REVISTAS Y PUBLICACIONES

- **Amarowicz R., Carle R., Dongowski G., Durazzo A., Galensa R. Kammerer D., Maiani G., Piskula M., (2009):** Influence of postharvest processing and storage on the content of phenolic acids and flavonoids in foods.
- **Angerosa F., (2000):** En Handbook of Olive Oil: Analysis and properties.
- **Ávalos A., Pérez E., (2009):** Mecanismo secundario de las plantas. Reduca (Biología) Serie Fisiología Vegetal.
- **Barrera D., (1998):** Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. Grasas y Aceites.
- **Bruhl L., Matthaus B., (2008):** Sensory assessment of virgin rapeseed oils.
- **Campbell G., (1989):** Shelf life – who needs it?. Food Science and Technology Today.
- **Cert A., (2000):** Review chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils. Journal of Chromatography A.
- **Criado D., Moya M., (2009):** Actualizaciones El Medico. Vitaminas y Antioxidantes. Servicio de Medicina Interna y Urgencias.

- **Cuevas E.**, (2012): Caracterización de Semillas de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela
- **Drago M., López M., Sainz T.**, (2006): Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal.
- **Estévez A., Muñoz O. y Figuerola F.**, (2008): La Linaza como Fuente de Compuestos Bioactivos para la Elaboración de Alimentos.
- **Fernandez P., Cabral S.**, (2007): Phytosterols: Applications and recovery methods.
- **Ferratto J.**, (2003): Importancia de la Gestión de la Calidad en Frutas y Hortalizas, Situación y Perspectivas.
- **Frankel N.**, (1998): Lipid Oxidation. The Oily Press, Bridgewater, UK.
- **Ganorkar M. y Jain K.**, (2012): Linaza-un Valor Nutricional.
- **Horner H., Choi Y., Newcomb M.**, (2000): Laser flash photolysis studies of alkoxy radical kinetics using 4-nitrobenzenesulfonate esters as radical precursors.
- **Jiménez P., Masson L., Quitral V.**, (2013): Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3.
- **Kishimoto S., Maoka T., Nakayama M., Ohmiya A.**, (2004): Carotenoid composition in petals of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum*).
- **Ladikos D., Lougovois V.**, (1990): Lipid oxidation in muscle foods: a review. Food Chem.
- **Liebler C.**, (1993): The role of metabolism in the antioxidant functions of vitamin E.
- **Morris D.**, (2010): Linaza - Un Producto Premier de Salud y Nutrición.

- **Llanos S.**, (2012): Extracción y Caracterización del Aceite Esencial de Molle (Schinus molle L.).
- **Martinez S., Gonzales J., Culebras J., Tunon M.**, (2002): Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes.
- **Mattila P., Kumpulainen J.**, (2002): Determination of free and total phenolic acids in plant-derived food by HPLC with Diode-array detection.
- **Mayne S.**, (2003), Antioxidant nutrients and chronic disease: Use of biomarkers of exposure and oxidative stress status in epidemiologic research.
- **Meléndez A., Vicario I., Heredia F.**, (2007): Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. Archivos latinoamericanos de Nutricion.
- **Méndez E., Sanhueza J., Speisky H. & Valenzuela A.**, (1996): Validation of the Rancimat test for the assessment of the relative stability of fish oils. Journal of American Oil Chemists' Society, 73, 1033-1037.
- **Moure A., Cruz M., Franco D., Domínguez M., Sineiro J., Domínguez H., Nuñez J., Parajo C.**, (2001): Food Chemistry.
- **Mueller K, Eisner P, Kirchhoff E.**, (2010): Simplified fractionation process for linseed meal by alkaline extraction - Functional properties of protein and fibre fractions.
- **Nakatani N., Tachibana Y., Kikuzaki H.**, (2001): Establishment of a model substrate oil for antioxidant activity assessment by oil stability index method.
- **Paúcar M. L.** (2013): Guías de Práctica de Tecnología de Aceites y Grasas.
- **Popa M., Gruia A., Raba D., Moldaban C., Dumbrava D., Bordean D., Mateescu C.**, (2012): Composición de los ácidos grasos y las características del aceite de linaza (*Linum Usitatissimum L.*) de Rumanía.

- **Porter N.A., Caldwell S.E., Mills K.A., (1995):** Mechanisms of free radical oxidation of unsaturated lipids. *Lipids* 30, 277-290.
- **Programa Desarrollo Económico Sostenible en Centroamérica, (DESCA)** (2010); *Grasas y Aceites*.
- **Ramos C., Tarazona G., (2001):** Estudio de la Estabilidad de Hojuelas Fritas de Papa Durante el Almacenamiento al Medio Ambiente.
- **Reineccius G., (1993):** Biases in analytical flavor profiles introduced by isolation method.
- **Rossi-Olson A., (2011):** The impact of nut inclusions on properties and stability of dark chocolate.
- **Salama Z., Beltagi S., Hariri M., (2007):** Evaluation Of Fatty Acids Profile And The Content Of Some Secondary Metabolites In Seeds Of Different Flax Cultivars (*Linum Usitatissimum* L.)
- **Salazar E., Belén D., Marín G., Moreno H., (2007):** Oxidation Kinetics of the Oil of the Coroba Palm (*Attalea maripa*). Universidad de Oriente, Venezuela. 19 N° 2: 172-182.
- **Schaich M., (2005):** Lipid oxidation in fats and oils: an integrated view. In: Shahidi, F. (Ed.), *Bailey's Industrial Fats and Oils*.
- **Schaich M., (2008):** Co-oxidations of oxidizing lipids: reactions with proteins. In: Kamal-Eldin, A., Min, D.B. (Eds.), *Lipid Oxidation Pathways*, 2. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 183-274.
- **Schaich M., Shahidi F., Zhong Y., Eskin M., (2013):** *Lipid Oxidation*.
- **Silva M., Gallardo G., Pascual G., (2013):** Caracterización físico química del Aceite de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) del departamento Cajamarca, Perú.

- **Slavin M., Cheng Z., Luther M., Kenworthy W., Yu L., (2009):** Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Marylandgrown soybean lines with altered fatty acid profiles.
- **Sun E., Wang D., Chen W., Li C., (2011):** Autoxidation of unsaturated lipids in food emulsions.
- **Tarpila A., Tarpila S., Wennberg T., (2005):** Linaza como un alimento funcional.
- **Tsentelovich P., Kulik V., Gritsan P., Yurkovskaya V., (1998):** Solvent effect on the rate of b-scission of the tert-butoxyl radical.
- **Tortorello M., Best S., Batt C., Woolf H. y Bender J., (1991):** Extending the shelf life of Cottage chesse: Identification of spoilage flora and their control using food grade preservatives.
- **Tur A., (2004):** Los antioxidantes en la dieta mediterránea.
- **Valente T., et al., (2009):** A diet enriched in polyphenols and polyunsaturated fatty acids, LMN diet, induces neurogenesis in the subventricular zone and hippocampus of adult mouse brain.
- **Varela G., (2009):** Antioxidantes de las frutas en la dieta.
- **Wilbey R., (1997):** Estimating shelf life. International Journal of Dairy Technology
- **Young S., Woodside V., (2001):** Antioxidants in health and disease.

**Páginas web:**

- Fedeniuk Ricky W. y Costas Biliaderis G., (1994). "Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) Mucilage", disponible en [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).



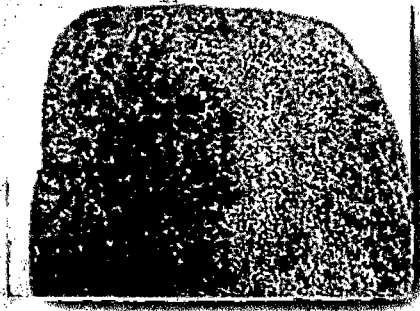
## **CAPÍTULO VIII**

### **ANEXOS**

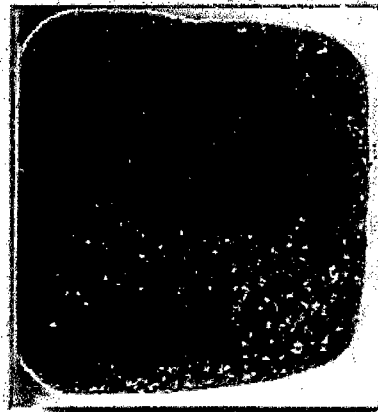
## ANEXO 01

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

- Acondicionamiento (limpieza) de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*).



Semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de la Provincia de Corongo.

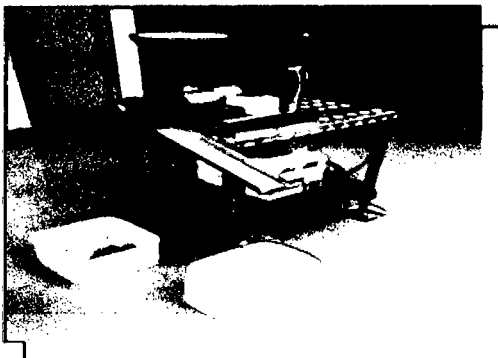


Semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de la Provincia de Otuzco

- Pesado de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*), aprox.  $5000 \pm 10$  g.



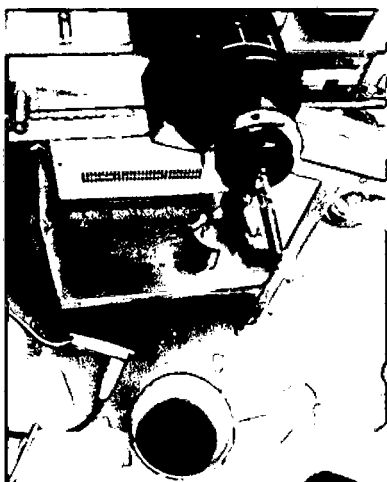
- Extracción por prensado en frío



Prensa SEW-  
EURODRIVE Modelo  
FA57/G

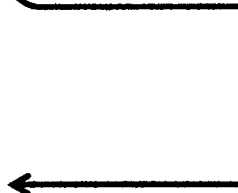


Controlando  
temperatura < 60°C



Obtención de la torta residual:

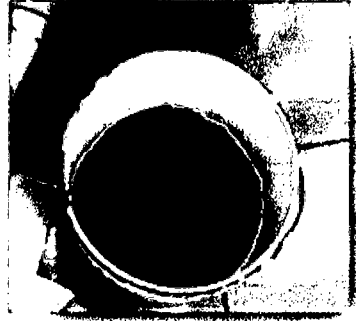
- N° Boquilla 11
- Velocidad: 50 rpm



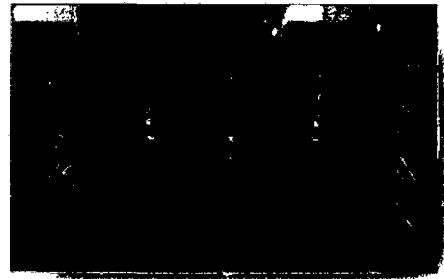
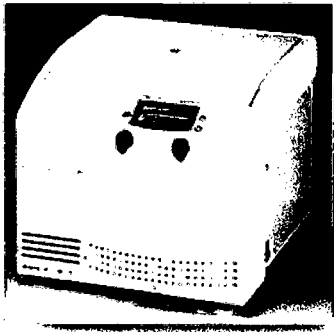
Aceite + impurezas



Torta residual



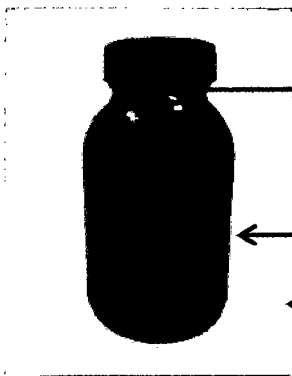
- Centrifugación



3900rpm /12 minutos

Aceite Virgen

- Almacenamiento



Atmosfera de nitrógeno

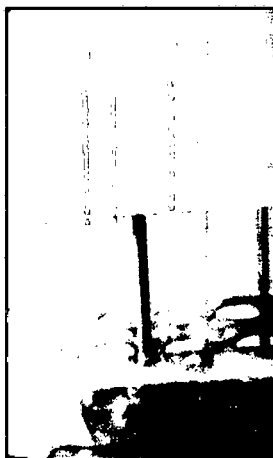
Frasco oscuro

Refrigeración  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$

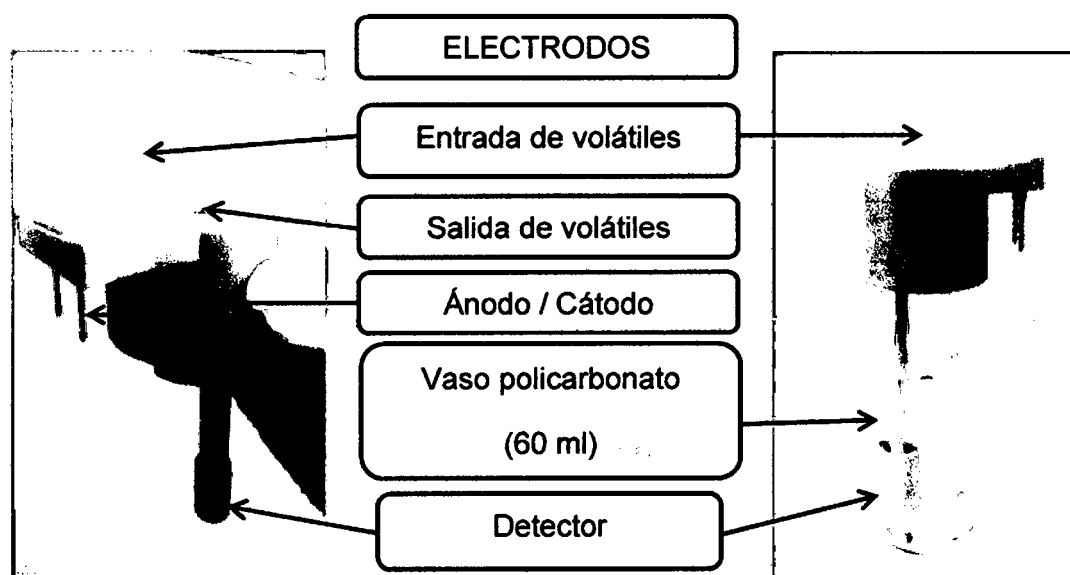
## ANEXO 02

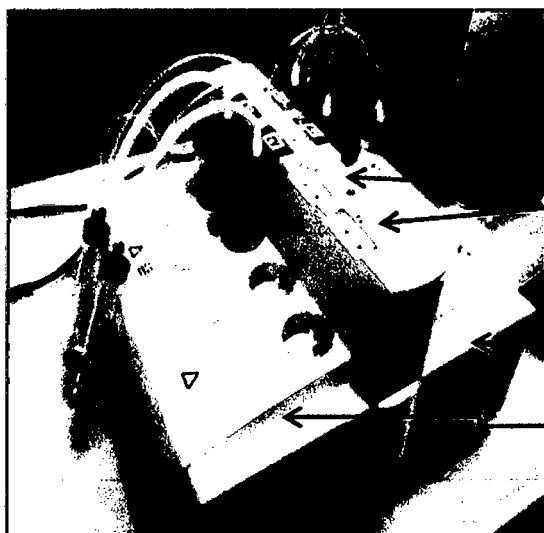
### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA EL TEST DE RANCIMAT PARA EL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum)

- Preparación de Muestras (Pesado  $3 \pm 0.1g$ )



- Análisis Rancimat





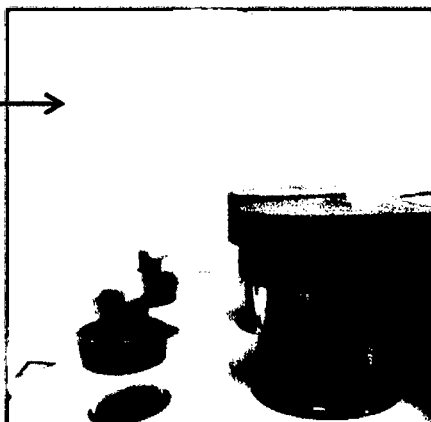
Rancimat 743

Canales

Bloque B

Bloque A

Ácido fórmico



### ANEXO 03

#### RESUMEN ESTADISTICO DE LOS ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LA SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

##### ANEXO 3.1 SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE CORONGO.

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Humedad	7.08557	0.0145936	0.21%	7.0691	7.0969	0.0278
Materia Grasa	51.1467	1.00132	1.96%	50.04	51.99	1.95
Proteína	13.72	0.0173205	0.13%	13.71	13.74	0.03
Cenizas	4.02	0.01	0.25%	4.01	4.03	0.02

##### ANEXO 3.2 SEMILLAS DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE OTUZCO.

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Humedad	7.73753	0.0781106	1.01%	7.6503	7.801	0.1507
Materia Grasa	49.9533	0.694286	1.39%	49.16	50.45	1.29
Proteína	14.3367	0.051316	0.36%	14.28	14.38	0.1
Cenizas	4.05	0.03	0.74%	4.02	4.08	0.06

## ANEXO 04

### RESUMEN ESTADISTICO DE LOS ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

#### ANEXO 4.1 ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE CORONGO.

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Acidez libre	0.7297	0.0765071	10.48%	0.676	0.8173	0.1413
Indice de Peroxido	0.683267	0.135779	19.87%	0.5866	0.8385	0.2519
Indice de Yodo	196.02	1.1432	0.58%	195.35	197.34	1.99
Indice de Refracción	1.48	0	0.00%	1.48	1.48	0
Densidad	0.944567	0.00011547	0.01%	0.9445	0.9447	0.0002
Punto de Fusion	-3.52667	0.011547	-0.33%	-3.54	-3.52	0.02
L*	26.55	0.788099	2.97%	25.64	27.01	1.37
a*	0.486667	0.0152753	3.14%	0.47	0.5	0.03
b*	2.16667	25.15%	11.61%	1.97	2.45	0.48



**ANEXO 4.2 ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE OTUZCO.**

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Acidez libre	1.06247	0.0417135	3.93%	1.029	1.1092	0.0802
Indice de Peroxido	0.0512	0.0101015	19.73%	0.041	0.0612	0.0202
Indice de Yodo	195.07	0.995038	0.51%	194.07	196.06	1.99
Indice de Refracción	1.49	0	0.00%	1.49	1.49	0
Densidad	0.943233	0.00015275	0.02%	0.9431	0.9434	0.0003
Punto de Fusion	-3.85667	0.0057735	-0.15%	-3.86	-3.85	0.01
L*	21.2267	0.145029	0.68%	21.08	21.37	0.29
a*	2.14667	0.0585947	2.73%	2.08	2.19	0.11
b*	22.7067	34.79%	1.53%	22.31	22.96	0.65

## ANEXO 05

### RESUMEN ESTADISTICO PARA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

#### ANEXO 5.1 ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE CORONGO.

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Palmitico (16:0)	3.41333	0.322463	9.45%	3.043	3.632	0.589
Esteárico (18:0)	2.26433	0.227485	10.05%	2.131	2.527	0.396
Oléico (18:1)	9.291	1.71151	0.184211	7.485	10.889	3.404
Linoleico (18:2)	12.7633	0.690635	5.41%	12.319	13.559	1.24
Linolenico (18:3)	72.268	0.868976	1.20%	71.618	73.255	1.637
A.G. Saturados	5.67767	0.49288	8.68%	5.174	6.159	0.985
A.G. Insaturados	94.3223	0.492415	0.52%	93.842	94.826	0.984
A.G. Monoinsaturados	9.291	1.71151	18.42%	7.485	10.889	3.404
A.G. Polinsaturados	85.0313	1.55712	1.83%	83.937	86.814	2.877

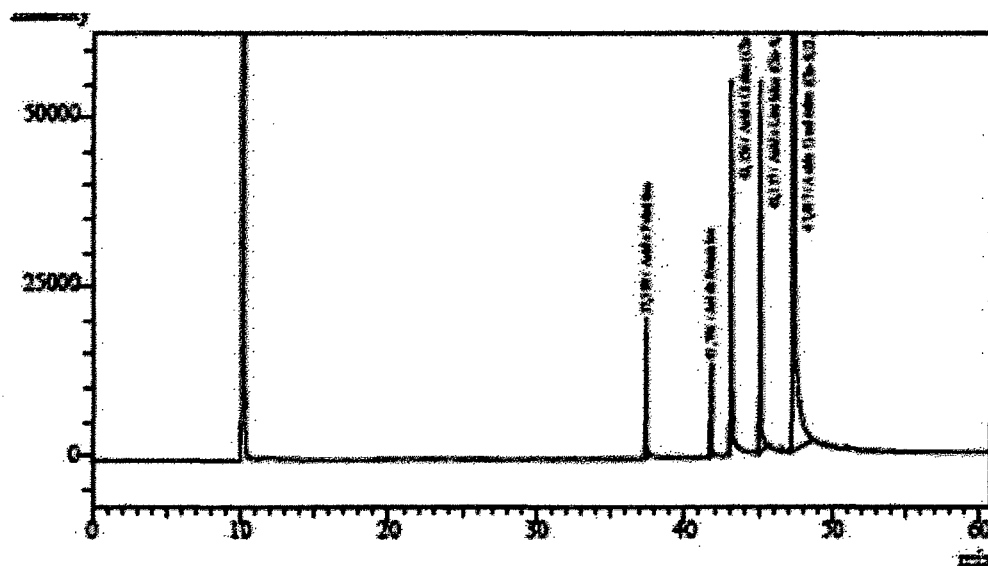
**ANEXO 5.2 ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) PROCEDENTE DE LA PROVINCIA DE OTUZCO.**

Análisis Físicos y Químicos	Parametros Estadísticos					
	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Palmitico (16:0)	3.67233	0.0686319	1.87%	3.612	3.747	0.135
Esteárico (18:0)	2.13567	0.0230072	1.08%	2.113	2.159	0.046
Oléico (18:1)	7.34	0.971117	0.132305	6.672	8.454	1.782
Linoleico (18:2)	13.5563	0.322184	2.38%	13.3	13.918	0.618
Linolenico (18:3)	73.295	0.908046	1.24%	72.301	74.081	1.78
A.G. Saturados	5.808	0.0914276	1.57%	5.725	5.906	0.181
A.G. Insaturados	94.1913	0.0918822	0.10%	94.093	94.275	0.182
A.G. Monoinsaturados	7.34	0.971117	13.23%	6.672	8.454	1.782
A.G. Polinsaturados	86.8513	0.952261	1.10%	85.752	87.421	1.669

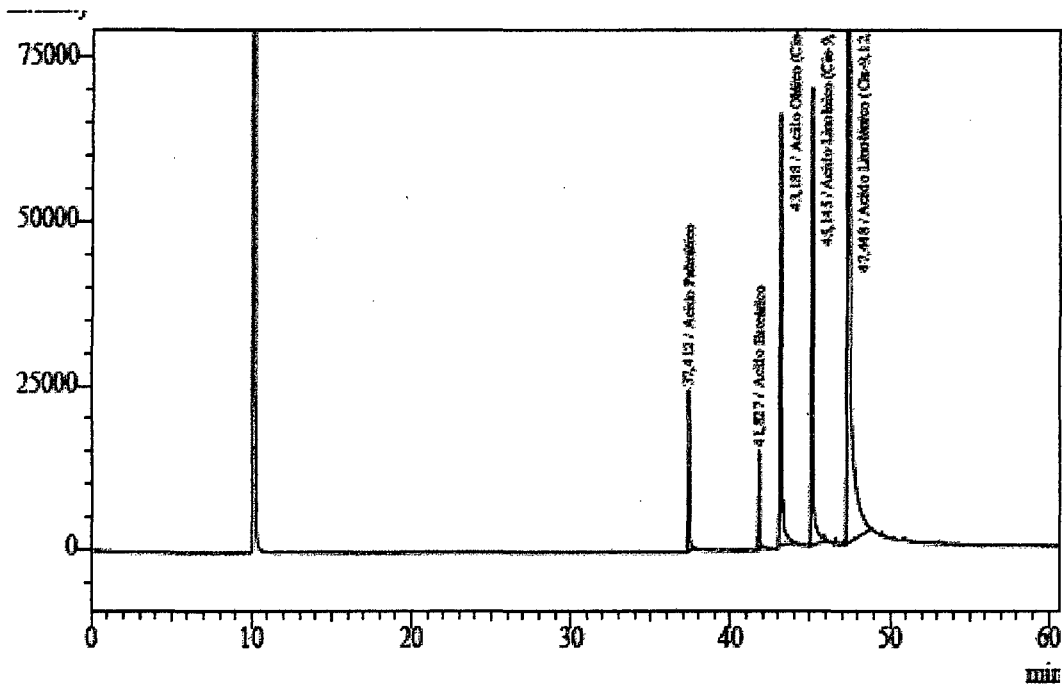
## ANEXO 06

### GRAFICOS DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum) EN EL CROMATOGRAFO DE GASES

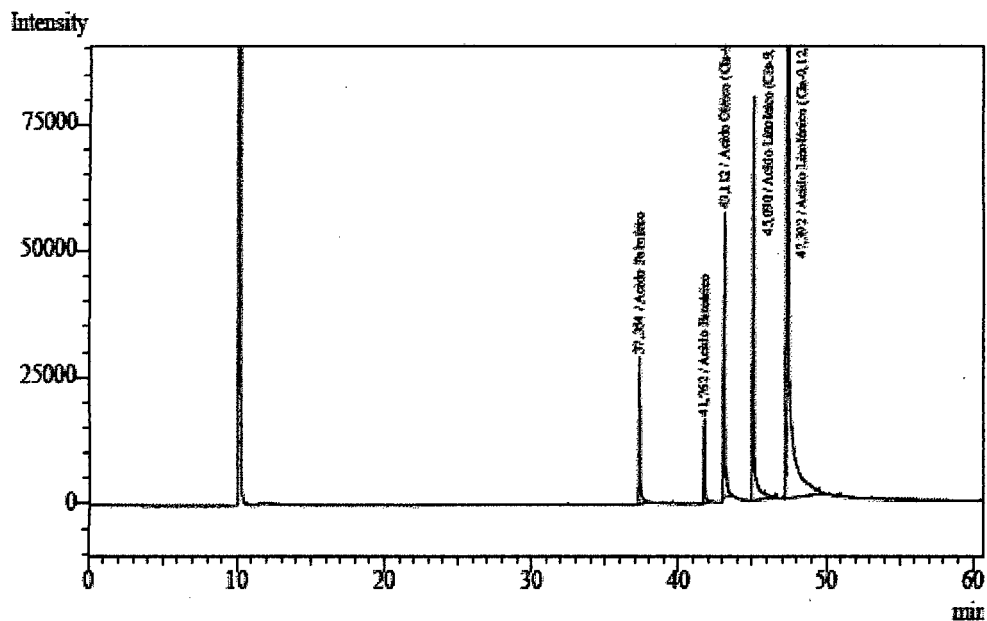
#### 6.1 COMPOSICIÓN DE LOS ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (Linum Usitatissimum) DE CORONGO EN EL CROMATOGRAFO DE GASES



Peak	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Comp Name
1	37.589	94812	20675	3.632 %			11	Acido Palmítico
2	41.796	66923	13754	2.927 %			14	Acido Estéarico
3	43.156	253403	52993	9.499 %			16	Acido Oléico (Cis-9)
4	45.117	289637	54731	12.412 %	S		18	Acido Linoléico (C)
5	47.407	1475641	199402	71.931 %			21	Acido Linoléico (C)
<b>Total</b>		<b>2186518</b>	<b>341333</b>					

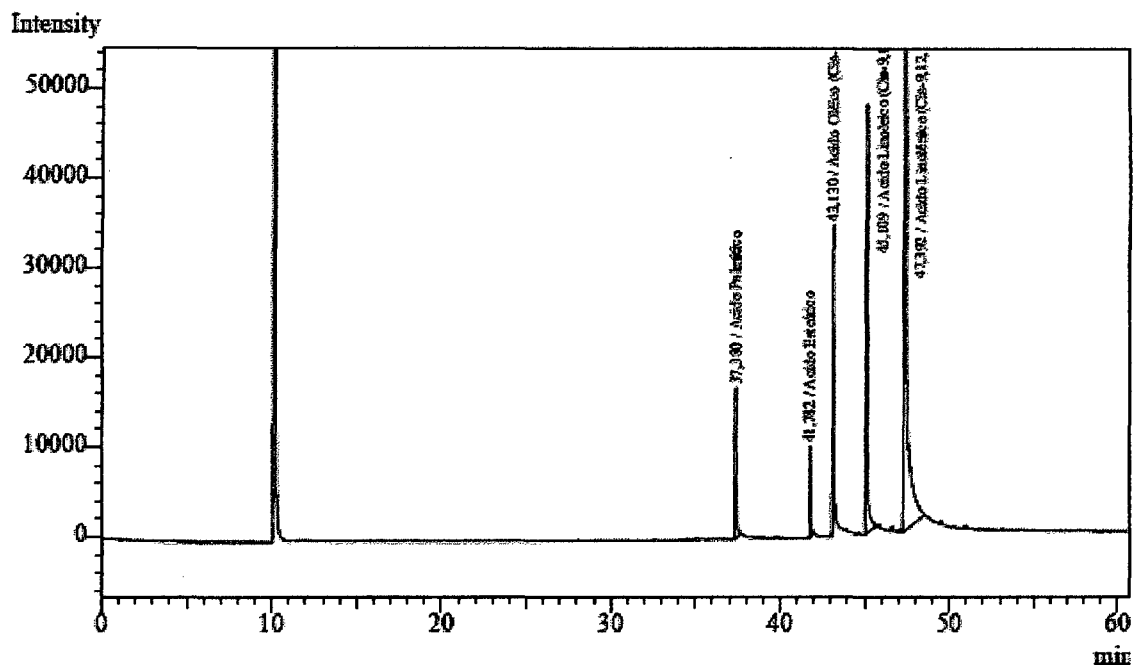


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	37,412	115748	24400	3,043	%		11	Acido Palmítico
2	41,827	82266	15112	2,131	%		14	Acido Estearico
3	43,188	423335	65651	10,889	%		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	45,145	419238	69554	12,319	%	S	18	Acido Linoleico (Cis-9)
5	47,448	2141137	256472	71,618	%		21	Acido Linolenico (Cis-9,12)
<b>Total</b>		<b>3181724</b>	<b>431189</b>					

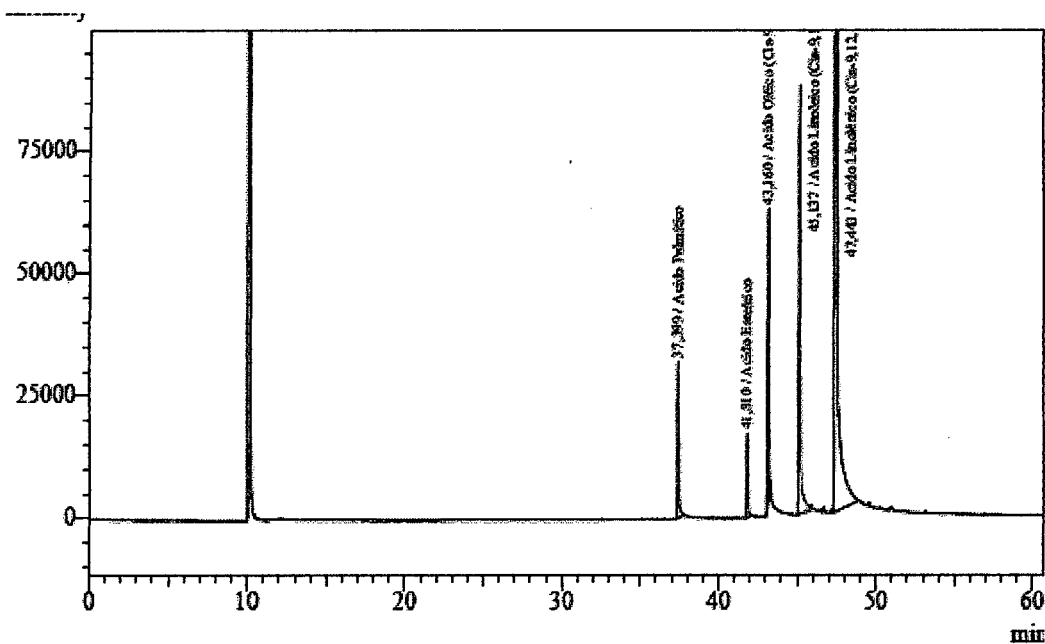


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	37,354	148664	28843	3,565	%		11	Acido Palmítico
2	41,762	90359	16434	2,135	%		14	Acido Estearico
3	43,112	319041	55976	7,485	%		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	45,090	505855	79598	13,559	%	S	18	Acido Linoleico (Cis-9)
5	47,392	2400954	271723	73,255	%	S	21	Acido Linolenico (Cis-11,12)
<b>Total</b>		<b>3464873</b>	<b>452574</b>					

## 6.2 COMPOSICIÓN DE LOS ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) DE OTUZCO EN EL CROMATOGRAFO DE GASES



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Compd Name
1	37.380	74886	16731	3,612 %		11	Acido Palmítico
2	41.782	44441	10139	2,113 %		14	Acido Estearico
3	43.130	146082	33418	6,894 %		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	45.109	246675	47647	13,300 %		18	Acido Linoleico (Cis-9)
5	47.392	1207078	173886	74,081 %		21	Acido Linolenico (Cis-9,12)
<b>Total</b>		<b>1719162</b>	<b>281821</b>				



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	37.399	159986	31871	3.747	%		11	Acido Palmítico
2	41.810	93547	17100	2.159	%		14	Acido Estearico
3	43.160	291156	59922	6.672	%		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	45.137	531635	87557	13.918	%	S	18	Acido Linoleico (Cis-9)
5	47.443	2466471	296206	73.503	%		21	Acido Linolenico (Cis-9,12)
<b>Total</b>		<b>3542795</b>	<b>492656</b>					



## ANEXO 07

### ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA EN ACEITE DE LINO (*Linum Usitatissimum*) DE CORONGO Y OTUZCO

Los resultados de la siguiente tabla muestran que todos los tratamientos tienden a un ligero aumento de los valores de OSI como respuesta al incremento en el flujo de aire.

Índices de Estabilidad Oxidativa del aceite de *Linum Usitatissimum*.

Procedencia	Flujo de Aire	Temperatura		
		T= 90°C	T= 110°C	T= 130°C
Corongo	F=15 L/H	12.46 h	2.40 h	0.38 h
		12.63 h	2.45 h	0.39 h
		12.83 h	2.48 h	0.38 h
	F=20 L/H	12.16 h	2.48 h	0.41 h
		13.60 h	2.54 h	0.46 h
		12.42 h	2.66 h	0.42 h
Otuzco	F=15 L/H	11.25 h	2.35 h	0.36 h
		11.31 h	2.38 h	0.38 h
		11.21 h	2.40 h	0.38 h
	F=20 L/H	12.25 h	2.51 h	0.45 h
		11.25 h	2.51 h	0.39 h
		10.57 h	2.46 h	0.45 h

A continuación se muestran las curvas Rancimat, conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) vs tiempo (h), que evidencian el efecto de las condiciones experimentales de temperatura y flujo de aire sobre los valores de OSI para el aceite virgen de la semilla de lino.

## ANEXO 08

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA EN ACEITE DE LINO (*Linum Usitatissimum*)

#### 8.1 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ESTABILIDAD OXIDATIVA

- ✓ Variable dependiente: estabilidad oxidativa
- ✓ Factores:
  - Temperatura en el Rancimat (°C)
  - Flujo de Aire (L/H)
  - Procedencia (Corongo y Otuzco)

Número de casos completos: 36

El análisis de varianza de varios factores para estabilidad oxidativa. Evaluación de la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos.

#### Análisis de Varianza para estabilidad oxidativa

<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón -F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>A:Temperatura</b>	917.462	2	458.731	2251.88	0.0000
<b>B:Procedencia</b>	2.09767	1	2.09767	10.30	0.0031
<b>C:Flujo</b>	0.0684694	1	0.0684694	0.34	0.5663
<b>RESIDUOS</b>	6.31502	31	0.20371		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	925.943	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA particiona la variabilidad del índice de estabilidad oxidativa en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error

experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.6231% de la variabilidad en índice de estabilidad oxidativa. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99.5114%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.35953. El error medio absoluto (MAE) de 0.223843 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

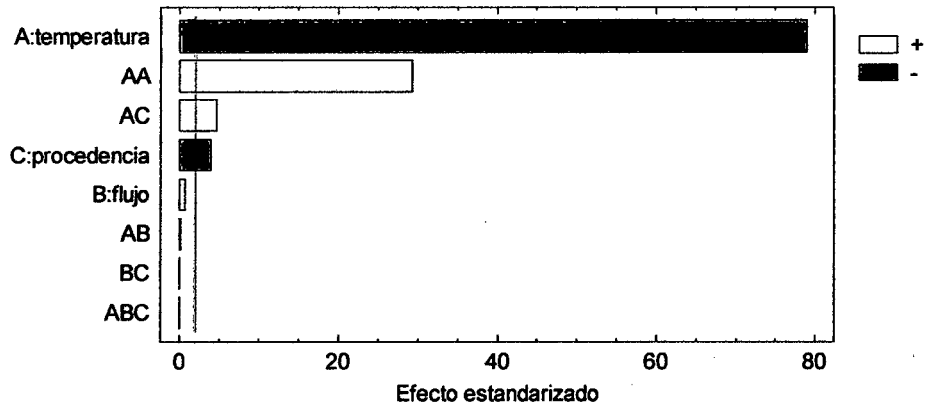
La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned} \text{índice de estabilidad oxidativa} = & 146.507 - 2.33831 \cdot \text{temperatura} + 0.0403611 \cdot \text{flujo} - \\ & 2.15708 \cdot \text{procedencia} + 0.00932812 \cdot \text{temperatura}^2 - 0.000208333 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{flujo} \\ & + 0.0172917 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{procedencia} + 0.00169444 \cdot \text{flujo} \cdot \text{procedencia} - \\ & 0.00000833333 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{flujo} \cdot \text{procedencia} \end{aligned}$$

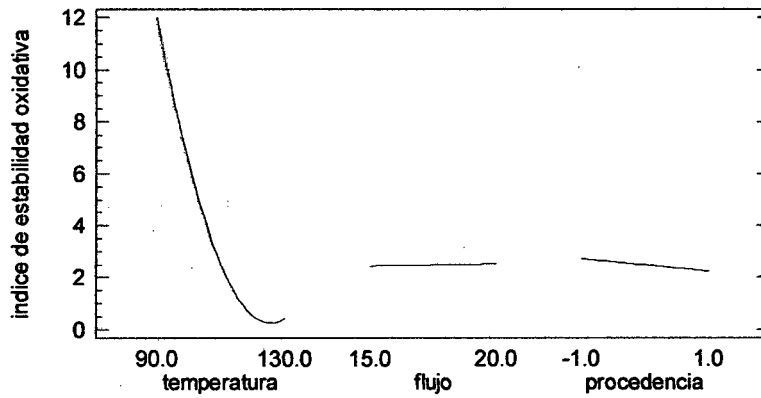
Donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

## 8.2 GRÁFICOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ESTABILIDAD OXIDATIVA

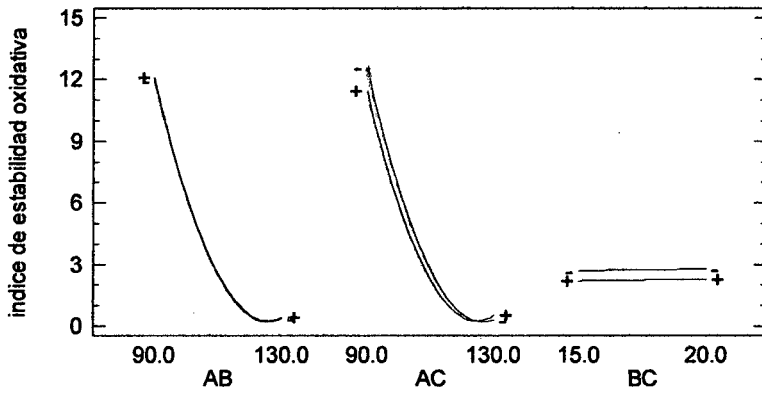
Diagrama de Pareto Estandarizada para índice de estabilidad oxidativa



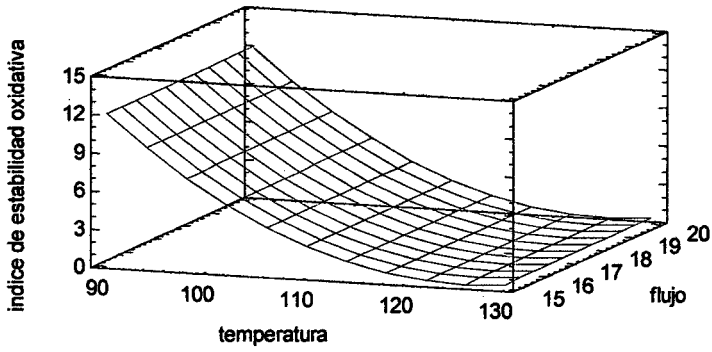
Gráfica de Efectos Principales para índice de estabilidad oxidativa



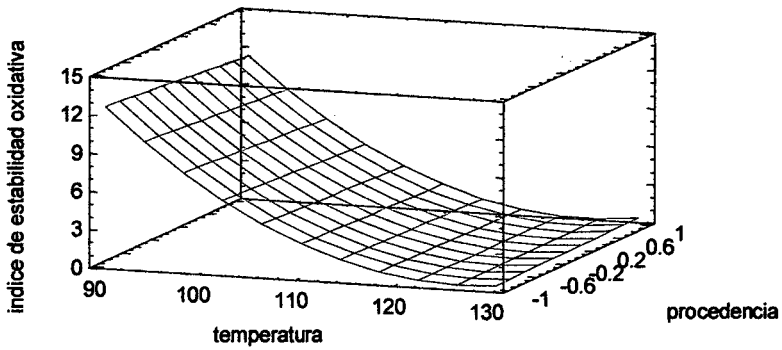
Gráfica de Interacción para índice de estabilidad oxidativa



Superficie de Respuesta Estimada  
procedencia=0.0



Superficie de Respuesta Estimada  
flujo=17.5



## ANEXO 09

### DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA EXTRAPOLADO A 25°C

A partir de la relación matemática entre los valores de OSI y la temperatura señalada por Nakatani et al., (2001) y Méndez et al.,(2006) para aceites vegetales:

$$OSI = 10^{AT+B} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Log}(OSI) = AT + B \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

OSI: Índice de Estabilidad Oxidativa (h.)

T: Temperatura (°C).

A y B: Constantes.

1. Reemplazando en la ecuación (2) para cada flujo de aire:

Semillas de Corongo:

✓ Para Flujo de 15 L/H:

- $\text{Log}(12.64) = A(90) + B \dots \dots \dots (3)$

- $\text{Log}(2.44) = A(110) + B \dots \dots \dots (4)$

- $\text{Log}(0.38) = A(130) + B \dots \dots \dots (5)$

✓ Para Flujo de 20 L/H:

- $\text{Log}(12.72) = A(90) + B \dots \dots \dots (6)$

- $\text{Log}(2.56) = A(110) + B \dots \dots \dots (7)$

- $\text{Log}(0.43) = A(130) + B \dots \dots \dots (8)$

Semillas de Otuzco:

✓ Para Flujo de 15 L/H:

- $\text{Log}(11.26) = A(90) + B \dots \dots \dots (9)$

- $\text{Log}(2.37) = A(110) + B \dots \dots \dots (10)$

- $\text{Log}(0.37) = A(130) + B \dots \dots \dots (11)$

✓ Para Flujo de 20 L/H:

- $\text{Log}(11.36) = A(90) + B \dots \dots \dots (12)$
- $\text{Log}(2.49) = A(110) + B \dots \dots \dots (13)$
- $\text{Log}(0.43) = A(130) + B \dots \dots \dots (14)$

Los valores de A y B para cada flujo de aire se encuentran en el Tabla 19.

2. Reemplazando en la ecuación (2) los valores de A y B para cada flujo de aire:

Semillas de lino de Corongo:

✓ Para Flujo de 15 L/H:

- $\text{Log}(\text{OSI}) = -0.0380(T) + 4.5327 \dots \dots \dots (15)$

✓ Para Flujo de 20 L/H:

- $\text{Log}(\text{OSI}) = -0.0368(T) + 4.4277 \dots \dots \dots (16)$

Semillas de lino de Corongo:

✓ Para Flujo de 15 L/H:

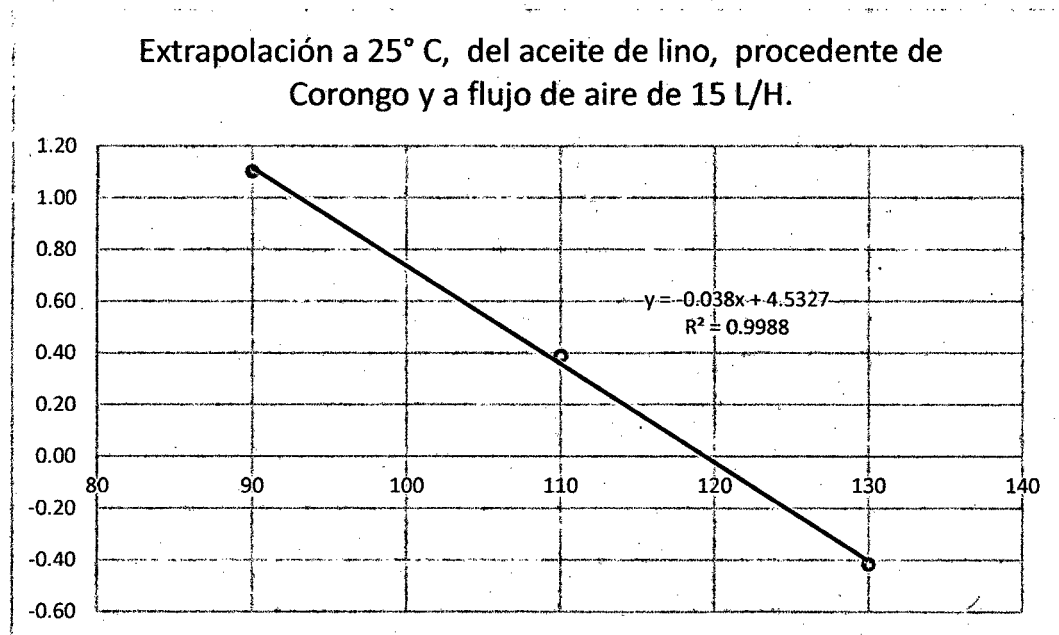
- $\text{Log}(\text{OSI}) = -0.0370(T) + 4.4016 \dots \dots \dots (17)$

✓ Para Flujo de 20 L/H:

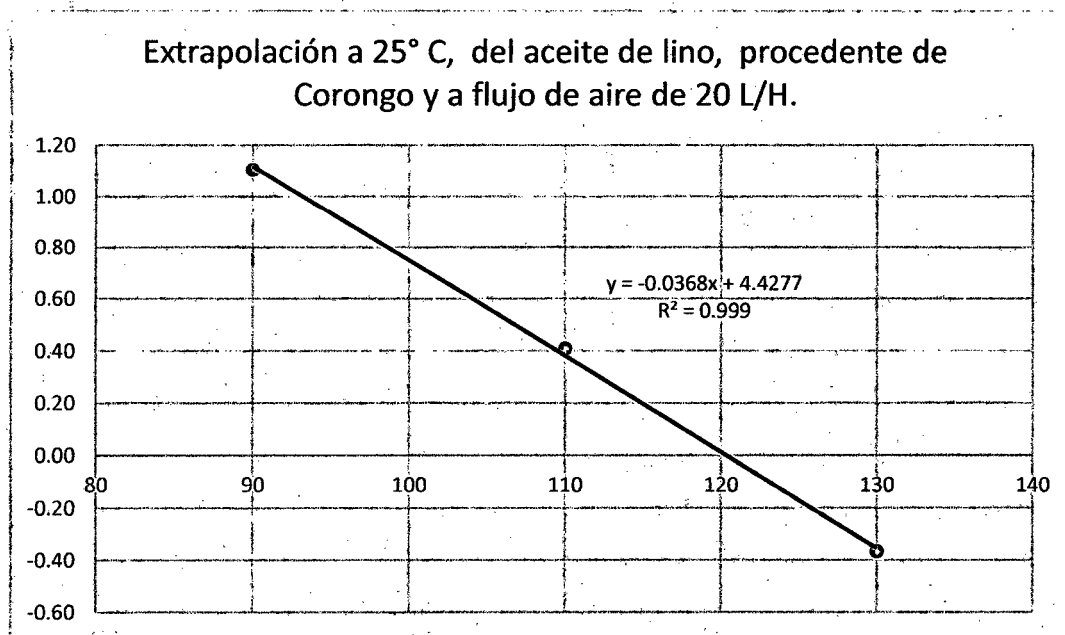
- $\text{Log}(\text{OSI}) = -0.0355(T) + 4.2716 \dots \dots \dots (18)$

Las ecuaciones 15, 16, 17 y 18 permiten calcular el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) a temperatura ambiente (25°C) para flujos de aire de: 15, 20 en dos semillas de dos procedencias respectivamente. Estas ecuaciones se utilizaron para obtener los valores que se muestran en la tabla 22.

Extrapolación a 25° C, del aceite de lino, procedente de Corongo y a flujo de aire de 15 L/H.

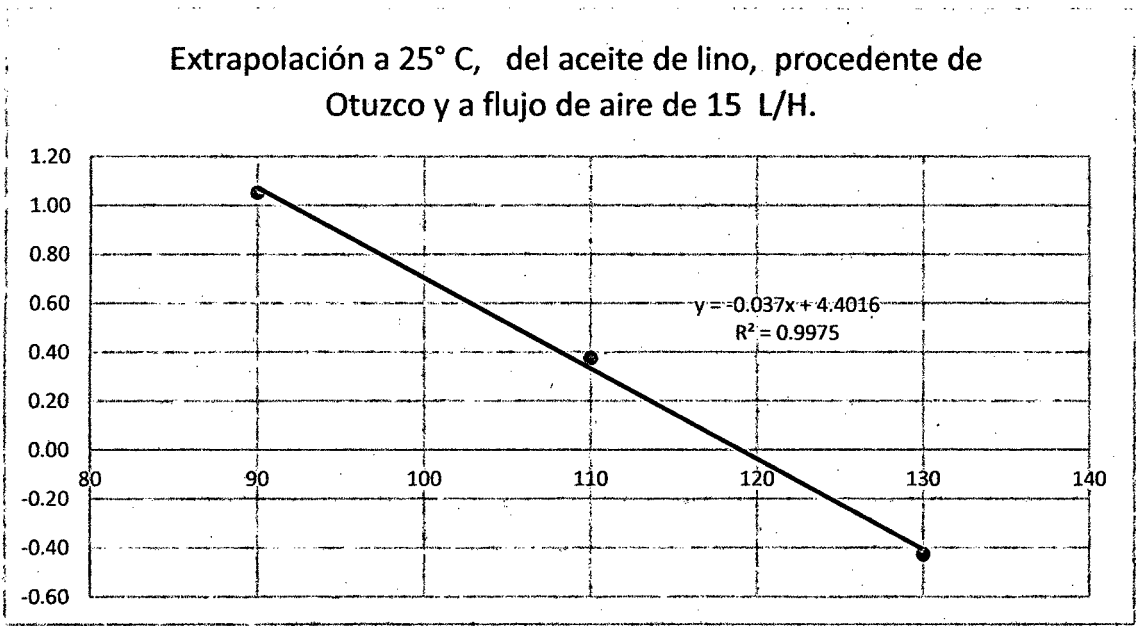


Extrapolación a 25° C, del aceite de lino, procedente de Corongo y a flujo de aire de 20 L/H

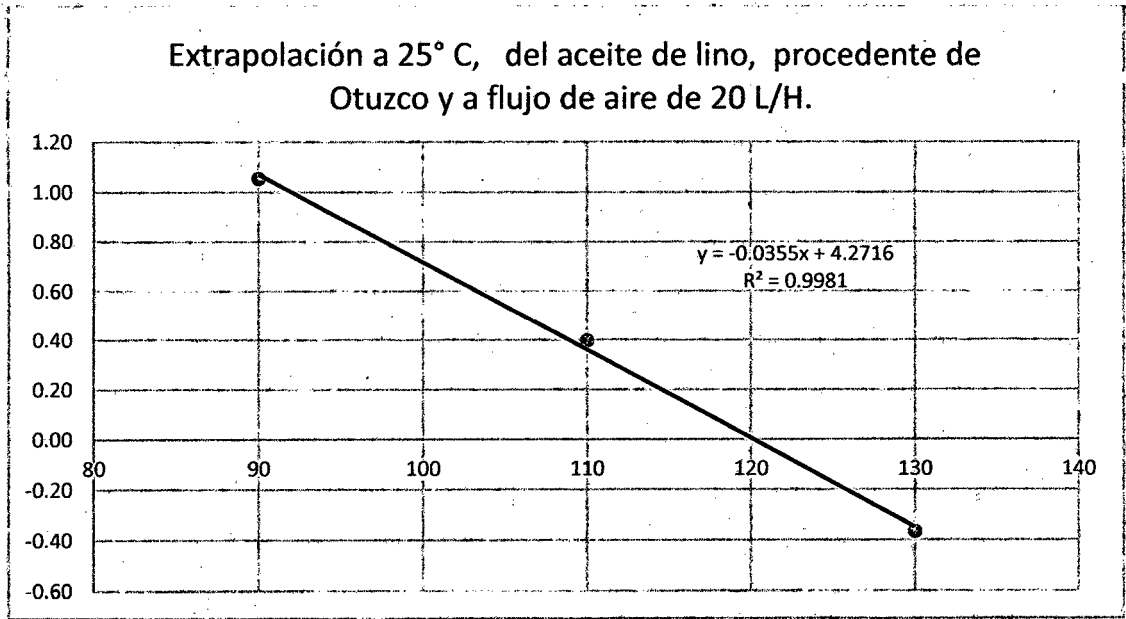




Extrapolación a 25° C, del aceite de lino, procedente de Otuzco y a flujo de aire de 15 L/H.



Extrapolación a 25° C, del aceite de lino, procedente de Otuzco y a flujo de aire de 20 L/H.



## ANEXO 10

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) DE CORONGO Y OTUZCO ANTES Y DESPUÉS DEL TEST RANCIMAT

#### 10.1 ÁCIDO GRASO PALMÍTICO

- Variable dependiente: palmítico (%)
- Factores:
  - PROCEDENCIA
  - TIEMPO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:PROCEDENCIA	0.249264	1	0.249264	2.93	0.1212
B:TIEMPO	30.0406	1	30.0406	352.81	0.0000
RESIDUOS	0.766321	9	0.0851467		
TOTAL (CORREGIDO)	31.0562	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de palmítico en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre palmítico con un 95.0% de nivel de confianza.

#### 10.2 ÁCIDO GRASO ESTEÁRICO

- Variable dependiente: esteárico (%)
- Factores:
  - PROCEDENCIA
  - TIEMPO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:PROCEDENCIA	0.0752083	1	0.0752083	1.74	0.2203
B:TIEMPO	13.407	1	13.407	309.32	0.0000
RESIDUOS	0.390088	9	0.0433431		
TOTAL (CORREGIDO)	13.8723	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de esteriaco en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre esteriaco con un 95.0% de nivel de confianza.

### 10.3 ÁCIDO GRASO OLEICO

- Variable dependiente: oleico (%)
- Factores:
  - PROCEDENCIA
  - TIEMPO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:PROCEDENCIA	18.0627	1	18.0627	14.68	0.0040
B:TIEMPO	228.181	1	228.181	185.46	0.0000
RESIDUOS	11.0729	9	1.23032		
TOTAL (CORREGIDO)	257.316	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Oleico en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Oleico con un 95.0% de nivel de confianza.

## 10.4 ÁCIDO GRASO LINOLENICO

➤ Variable dependiente: linolenico (%)

➤ Factores:

PROCEDENCIA

TIEMPO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:PROCEDENCIA	7.6896	1	7.6896	5.94	0.0375
B:TIEMPO	714.733	1	714.733	552.26	0.0000
RESIDUOS	11.6479	9	1.29421		
TOTAL (CORREGIDO)	734.071	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Linolenico en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Linolenico con un 95.0% de nivel de confianza.

## 10.5 ÁCIDO GRASO LINOLEICO

➤ Variable dependiente: linoleico (%)

➤ Factores:

PROCEDENCIA

TIEMPO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:PROCEDENCIA	1.56746	1	1.56746	10.99	0.0090
B:TIEMPO	6.1906	1	6.1906	43.42	0.0001
RESIDUOS	1.28329	9	0.142588		
TOTAL (CORREGIDO)	9.04135	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de linoleico en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás

factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre linoleico con un 95.0% de nivel de confianza.

#### ANEXO 11

#### ANÁLISIS DE MATERIA GRASA EN LA TORTA DE SEMILLA DE LINO (*Linum Usitatissimum*) DE CORONGO Y OTUZCO

	<b>CORONGO</b>	<b>OTUZCO</b>
	<b>Valor <math>\pm</math> SD</b>	<b>Valor <math>\pm</math> SD</b>
<b>Materia Grasa</b>	11.38 $\pm$ 1.0	10.38 $\pm$ 1.0

SD: Desviación estándar



**I. DATOS GENERALES (PRE GRADO)**

**1.1. UNIVERSIDAD:**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

**1.2. FACULTAD:**

INGENIERÍA

**1.3. ESCUELA ACADEMIO PROFESIONAL:**

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**1.4. TÍTULO PROFESIONAL:**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

**1.5. TITULO DE TRABAJO:**

“ESTABILIDAD OXIDATIVA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLA DE LINO (LINUM USITATISSIMUM) PROCEDENTES DE CORONGO Y OTUZCO, EXTRAÍDO POR Prensado en Frío”

**1.6. ÁREA DE INVESTIGACIÓN:**

Agroindustria

**1.7. AUTORES:**

**DNI:** 45522857

**Apellidos y Nombres:** Arias Nuñuvero John Oscar

**DNI:** 70556920

**Apellidos y Nombres:** López Carranza Nelly Aurora

**1.8. AÑO DE APROBACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN: 2015**



## II. CONTENIDO DEL RESUMEN:

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1.1. Delimitación del problema.

La linaza corresponde a la semilla del lino (*Linum usitatissimum* L.) y se ha utilizado tradicionalmente como oleaginosa; en las últimas décadas ha surgido un gran interés por ella debido al reconocimiento de que algunos de sus componentes ofrecen potenciales beneficios para la mantención de la salud y la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles.

El aceite de semilla de lino es rico en ácidos grasos esenciales (por ejemplo, ácido  $\alpha$ -linolénico) que son pretendidos para inducir una variedad de beneficios para la salud; estos beneficios para la salud incluyen, reducción del riesgo de enfermedades coronarias del corazón y la prevención de cáncer de mama y de próstata.

En los últimos años, varios estudios se han llevado a cabo para resaltar mejor los beneficios medicinales del aceite de semilla de lino. Sin embargo, la estabilidad oxidativa y la composición del aceite permanecen bastante inexploradas en nuestro país. Tras el desinterés por la industrialización y difusión de esta especie de semilla oleaginosa, a través de esta investigación se busca aprovechar y darle un mayor valor agregado a estas semillas.

El estudio se centra en la evaluación tanto de la composición de ácidos grasos y la estabilidad oxidativa que contribuirá significativamente a la valorización de la semilla de lino como aceite virgen y aditivo alimentario, procurando potenciar su uso en cosmética, farmacéutica y las industrias de alimentos.

Con el fin de encontrar y dar a conocer un aceite con mejor perfil de los ácidos grasos y mejor estabilidad oxidativa, se



evaluará la procedencia de la semilla de la Provincia de Corongo y Otuzco, Perú.

### **2.1.2. Formulación del Problema**

¿Cuáles serán las diferencias en la estabilidad oxidativa y la composición de ácidos grasos del aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco, Perú, extraído por prensado en frío?

## **2.2. OBJETIVOS**

### **2.2.1. Principal:**

- Determinar la composición de ácidos grasos y estabilidad oxidativa de los aceites de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de Provincia de Corongo y Otuzco, Perú.

### **2.2.2. Secundario:**

- Determinar las características físico y químicas de la semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco.
- Calcular los valores de índice de estabilidad oxidativa a temperaturas usuales de almacenamiento de aceites (25°C) de los aceites de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de Provincia de Corongo y Otuzco.
- Determinar el tiempo de inducción de aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) a temperatura de: 110°, 130° y 150°C; y a flujo de aire de: 15, 20 L/H.
- Determinar la composición de ácido  $\alpha$ -linolénico del aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de Provincia de Corongo y Otuzco.





- Determinar las características físico y químicas del aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de la Provincia de Corongo y Otuzco.

### **2.3. HIPÓTESIS**

Si existe diferencia significativa entre los aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) procedentes de Corongo y Otuzco.

### **2.4. BREVE REFERENCIA DEL MARCO TEÓRICO**

Actualmente, en muchos países tales como Canadá, Australia y Estados Unidos se están desarrollando extracciones de aceite de linaza en frío para consumo humano, es decir aceites vírgenes que conservan genuinamente la composición y las propiedades fisicoquímicas del mismo, (Silva M., Gallardo G., Pascual G., 2013). El aceite es un alimento básico en la alimentación humana; el Perú es un país deficitario de materias primas oleaginosas, por lo que se ve en la necesidad de importar materia prima o aceite crudo. La semilla de lino (*Linum usitatissimum*) ha demostrado ser beneficioso en la salud y prevención de enfermedades (Tarpila A., Tarpila S.; Wennberg T., 2005), siendo una fuente rica en aceite (36% a 45%). El aceite de semilla de lino (*Linum usitatissimum*) está compuesto de los siguientes ácidos grasos insaturados: ácido alfa linolénico (AAL) entre el 50-62% del total de los ácidos grasos, también contiene: ácido oleico (C18, 16 -24 %), ácido linoleico (C18, 18-24 %), (Báez, 2010). Cuando se trata de estabilidad, en realidad estamos queriendo estimar su comportamiento futuro del aceite, donde no solamente la historia del producto está implicada, sino también su composición química, es decir la presencia o ausencia de antioxidantes o pro-oxidantes, la cantidad de ácidos grasos insaturados y su tipo, etc., factores de vital importancia en la estabilidad de un aceite o grasa, (Navas., 2010).

### **2.5. CONCLUSIONES**

- Los análisis fisicoquímicos de los aceites de semillas de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco muestran la alta calidad del aceite, por su bajo % de acidez ( $0.36 \pm$



0.04% y  $0.53 \pm 0.02\%$  respectivamente) e índice de peróxidos ( $0.05 \pm 0.01 \text{ meqO}_2/\text{kg}$  y  $0.68 \pm 0.14 \text{ meqO}_2/\text{kg}$  para cada uno), indican que el aceite se extrajo y se almaceno en óptimas condiciones.

- La densidad del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo  $0.944 \pm 0.00 \text{ g/cm}^3$  y Otuzco es de  $0.943 \pm 0.00 \text{ g/cm}^3$ , y el índice de refracción para cada uno es de  $1.48 \pm 0.01$  y  $1.49 \pm 0.01$  considerablemente mayores son justificable por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados que tiene el aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco (PUFA: 85.031 y 86.85 respectivamente) y, MUFA: 9.291% y 7.34% respectivamente) en especial el linolenico  $72.27 \pm 0.86\%$  (Corongo) y  $73.30 \pm 0.40\%$  (Otuzco), el aceite de linaza peruano tiene un mayor porcentaje de estos.
- Los principales ácidos grasos detectados en los aceites de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) Corongo y Otuzco obtenidos por ambas semillas fueron los siguientes según el orden de abundancia: ácido linolénico (18:3):  $72.27 \pm 0.86\%$  y  $73.30 \pm 0.40\%$ , seguido por ácido linoleico (18:2):  $12.76 \pm 0.69\%$  y  $13.61 \pm 0.43\%$ , ácido oleico (18:1):  $9.29 \pm 1.71\%$  y  $6.78 \pm 0.15\%$ , ácido palmítico:  $3.41 \pm 0.32\%$  y  $3.68 \pm 0.06\%$ , ácido esteárico:  $2.26 \pm 0.22\%$  y  $2.13 \pm 0.03\%$ . Los aceites de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco obtenidos exhibieron una baja estabilidad oxidativa debido principalmente al elevado nivel de PUFAs presentes en los mismos.
- El ensayo acelerado de estabilidad oxidativa mostro que el aceite virgen de linaza de Corongo fue ligeramente más resistente a la oxidación que el aceite de linaza de Otuzco con periodos de inducción más cortos; a medida que sube la temperatura en la prueba de Rancimat se incrementa la diferencia del OSI, entre un aceite y otro.



- El periodo de la Vida Útil, estimado a 25°C por extrapolación de los datos del Rancimat, los valores de OSI para los dos aceites estudiados, mostraron que fue el aceite de lino (*Linum Usitatissimum*) procedente de Corongo es el más estable con un periodo de inducción de 34.97 días más que el aceite de lino (*Linum Usitatissimum*) de Otuzco.
- El rendimiento obtenido del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) de Corongo y Otuzco extraído por prensado en frío tiene  $37.7 \pm 0.5\%$  y  $36.8 \pm 0.6\%$  para cada uno.
- Los valores  $L^*$ :  $0.86 \pm 0.36$ ,  $a^*$   $1.82 \pm 0.05$ , mayor que el de Corongo que denotan una pequeña tendencia al rojo, estos son valores tan pequeños que no es notar la tonalidad del rojo y  $b^*$   $3.08 \pm 0.09$  están en un rango que denotan el color amarillento del aceite del aceite de semilla de lino (*Linum Usitatissimum*) procedente de Otuzco son ligeramente mayor a los valores de Corongo.

## 2.6. BIBLIOGRAFÍA

### ➤ TESIS:

- ✓ **Báez J.**, (2010): Evaluación Termofísica de los Materiales utilizados en Emulsiones y Microcápsulas y Análisis de su Efecto en el Retardo de la Oxidación de Ácidos Grasos Poliinsaturados del Aceite de Linaza”.
- ✓ **Navas P.**, (2010): Componentes Minoritarios y Propiedades Antioxidantes de Aceites Vírgenes y Tortas Residuales obtenidos por Presión en Frío a partir de Fuentes Vegetales Convencionales y no Convencionales.



*“Año de la Diversificación Productiva y del  
Fortalecimiento de la Educación”*



➤ **REVISTAS Y PUBLICACIONES**

- ✓ **Silva M., Gallardo G., Pascual G., (2013):**  
Caracterización físico química del Aceite de Linaza  
(*Linum usitatissimum* L.) del departamento Cajamarca,  
Perú.
  
- ✓ **Tarpila A., Tarpila S., Wennberg T., (2005):** Linaza como  
un alimento funcional.