

Evaluación de β -caroteno como antioxidante natural para extender la vida de anaquel del aceite de linaza

Patrick Vilus

Honduras
Diciembre, 2004

Evaluation of β -carotene as natural antioxidant to extend shelf life of flaxseed oil

Patrick Vilus

Honduras
December, 2004

**ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Evaluación de β -caroteno como antioxidante natural para extender la vida de anaquel del aceite de linaza

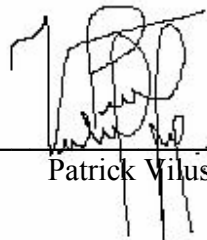
Proyecto Especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Patrick Vilus

Honduras
Diciembre, 2004

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copia de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor



Patrick Vilus

Honduras
Diciembre, 2004

Evaluación de β -caroteno como antioxidante natural para extender la vida de anaquel del aceite de linaza

Presentado por

Patrick Vilus

Aprobada

Francisco J. Bueso, Ph.D.
Asesor principal

Raúl Espinal, Ph.D.
Coordinador de la carrera
de Agroindustria

Julio López, M.Sc.
Asesor

Aurelio Revilla, M.S.A.
Decano Académico Interino

Dina Fernández, B.Sc.
Asesor

Kenneth Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que participaron de una u otra forma en mi formación académica.

A mis queridos padres (Q.D.D.G) por su enorme esfuerzo y dedicación por hacer de mí lo que yo soy en este momento.

A mis hermanos Dodeline, Jean-Lesly y Evens por su apoyo moral, el cual me motiva a lograr este título.

A mi tío Moncius quien se ha sacrificado siempre por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis primas por su apoyo y por creer siempre en mi capacidad intelectual.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Francisco J. Bueso, Ing. Julio López e Ing. Dina Fernández por su apoyo logístico y moral para la realización de este estudio.

Al personal del Centro de Evaluación de Alimentos, en especial a Iván, por todo lo que me enseñó para la realización de los ensayos.

Al personal de la Zamo-Empresa de Servicios Agrícolas, por el apoyo y la facilitación de materiales y equipos para llevar a cabo los ensayos de mi proyecto de graduación.

A mi familia por el cariño que me ha dado a lo largo de mis estudios.

Por último, pero más importante que todo a Dios, por regalarme la vida tan preciosa.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADOR

A la fundación W. K. Kellogg por su aporte económico durante estos cuatro años en la universidad Zamorano. Ese grano que fue sembrado por la organización en mi persona, crecера para aportar otros granos que jugarán un papel en la reconstrucción de nuestros países.

RESUMEN

Vilus, Patrick. 2004. Evaluación de β -Caroteno como antioxidante natural para extender la vida de anaquel del aceite de linaza. Proyecto de graduación del Programa de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Agrícola Panamericana, Valle del Yeguaré, Honduras. 49p.

La linaza se considera como uno de las principales fuentes de sustancias fitoquímicas en el sector de los alimentos funcionales. Además de ser considerada como una de las fuentes más ricas en ácido linolénico y linoleico, representa una fuente de proteínas de calidad y de fibra soluble; es una fuente prometedora de compuestos fenólicos. El aceite de linaza es propenso a la oxidación debido a su alto contenido de ácido linolénico. Los lípidos oxidados en general pierden sus características nutricionales deseables y presentan colores y olores indeseables. En este estudio se evaluaron dos antioxidantes (β -Caroteno y TBHQ) para contrarrestar el deterioro del aceite de linaza causado por oxidación no enzimática. Se evaluaron tres concentraciones (100, 200 y 300 ppm) de cada antioxidante en muestras almacenadas a 4 y 26°C. Como indicadores de auto-oxidación se midieron el índice de peróxido y la concentración de malonaldehído por la prueba de ácido tiobarbitúrico (TBA) semanalmente durante un mes. Se usó un diseño de parcelas sub-sub-divididas para analizar medidas repetidas en el tiempo y la prueba LSD. La temperatura ideal de almacenamiento fue de 4°C. Usando 300 ppm de β -Caroteno el aceite de linaza pudo ser almacenado durante 4 semanas a temperatura ambiente (26°C), ya que el índice de peróxidos no superó el límite permisible (>10 meq de O_2 / kg de aceite). Se recomienda realizar otros estudios con otros antioxidantes naturales a mayores concentraciones para alargar la vida de anaquel del aceite de linaza.

Palabras clave: Ácidos grasos esenciales, insaturación, lípidos, sustancias fitoquímicas.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinador.....	vi
	Resumen.....	vii
	Contenido.....	viii
	Índice de cuadros.....	x
	Índice de figuras.....	xi
	Índice de anexos.....	xii
	Abreviaturas.....	xiii
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	LINO.....	4
2.1.1	Aspectos agronómicos del cultivo.....	4
2.1.2	Industrialización del cultivo.....	4
2.2	ACEITES VEGETALES.....	6
2.3	ÁCIDOS GRASOS.....	7
2.3.1	Ácidos grasos esenciales.....	7
2.4	PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS.....	8
2.5	OXIDACIÓN LIPÍDICA.....	8
2.5.1	Índice de peróxido.....	10
2.5.2	Índice de TBA.....	10
2.6	ANTIOXIDANTES.....	11
2.6.1	Tocoferoles (Vitamina E).....	12
2.6.2	Carotenoides.....	12
2.6.3	TBHQ.....	13

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1	UBICACIÓN.....	14
3.2	MATERIALES.....	14
3.2.1	Materias primas.....	14
3.2.2	Antioxidante.....	14
3.2.3	Reactivos.....	14
3.2.4	Equipos y materiales.....	15
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	16
3.4	MÉTODO Y PROCEDIMIENTO.....	16
3.4.1	Análisis proximal.....	16
3.4.2	Extracción de aceite linaza.....	16
3.4.2.1	Recolección de la semilla.....	17
3.4.2.2	Secado.....	17
3.4.2.3	Trillado.....	17
3.4.2.4	Prensado.....	17
3.4.2.5	Filtrado.....	17
3.4.3	Perfil de ácidos grasos.....	17
3.4.4	Índice de acidez.....	18
3.4.5	Evaluación de antioxidantes.....	18
3.4.6	Análisis estadístico.....	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	20
4.2	PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS.....	21
4.3	PORCENTAJE DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES.....	22
4.4	VIDA ÚTIL.....	22
4.4.1	Índice de peróxido.....	22
4.4.2	Índice de TBA.....	26
5.	CONCLUSIONES	29
6.	RECOMENDACIONES	30
7.	BIBLIOGRAFÍA	31
8.	ANEXOS	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Composición química de algunas materias usadas en la industria.....	5
2.	Comparación de algunos aceites comestibles comunes con base en su contenido de ácidos grasos.....	9
3.	Composición química de la linaza después de 5 meses de cosecha.....	20
4.	Proporción de ácidos saturados e insaturados en aceite de linaza.....	21
5.	Perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Principales países productores (%) de linaza para el año 2002.....	6
2.	Ácidos grasos saturados, n-9 monoinsaturados, y n-6 y n-3 poliinsaturado.....	7
3.	Esquema de un cromatógrafo de gas.....	8
4.	Etapas de la oxidación de lípidos.....	10
5.	Reacción de los antioxidantes sobre los radicales libres.....	11
6.	Estructura química de algunos antioxidantes.....	12
7.	Diagrama de proceso de extracción del aceite de linaza.....	17
8.	Procedimiento para la evaluación de los antioxidantes.....	18
9.	Índice de acidez del aceite de linaza sometida a diferentes temperaturas durante una semana.....	22
10.	Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 100 ppm de antioxidante a 4 y 26°C	23
11.	Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 200 ppm de antioxidante a 4 y 26°C	24
12.	Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 300 ppm de antioxidante a 4 y 26°C	25
13.	Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 100 ppm de antioxidante a 4 y 26°C	26
14.	Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 200 ppm de antioxidante a 4 y 26°C	27
15.	Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 300 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Determinación de humedad (H), materia seca (MS), materia orgánica (MO) y ceniza (Cz) de la linaza.....	35
2.	Determinación de extracto etéreo (EE) de la linaza.....	36
3.	Preparación de muestras para determinar el índice de peróxidos en el aceite de linaza.....	37
4.	Preparación de muestra y determinación del perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.....	38
5.	Preparación de muestra de aceite y determinación del índice de TBA en el aceite de linaza	39
6.	Actividad de agua de la linaza y de su aceite.....	40
7.	Cromatógrafo del aceite de linaza.....	41
8.	Análisis de varianza para el grado de acidez durante una semana.....	42
9.	Análisis de varianza para el valor de peróxido durante las cinco semanas.....	44
10.	Análisis de varianza para el valor de TBA durante las cinco semanas.....	45
11.	Instrumentos para cromatografía de gases.....	46
12.	La linaza antes de la extracción del aceite.....	47
13.	La linaza después de la extracción del aceite.....	48
14.	Diseño de un prototipo de prensa para extraer aceite de linaza.....	49

ABREVIATURAS

Ω -3	Omega 3
Ω -6	Omega 6
AG	Ácidos Grasos
AGE	Ácidos Grasos Esenciales
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BHA	Butilhidroxianisol
BHT	Butilhidroxitolueno
CV (%)	Coefficiente de Variación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FDA	Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos
FEDNA	Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
LSD	Least Significant Difference
No. C-Ins.	Número de Carbono Insaturado
OPS	Organización Panamericana de la Salud
SAS	Statistical Analysis System
TBA	Ácido Tiobarbitúrico
TBHQ	Terbutilhidroxiquinona
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
UV	Radiación Ultravioleta

1. INTRODUCCIÓN

Según la Comisión Europea de Agricultura CEA, el lino ha ganado auge en la industria alimentaria. La riqueza de su aceite en ácidos grasos insaturados omega-3 reviste un gran interés en el plano dietético, tanto para la alimentación humana como animal. Finalmente, sus aplicaciones cosméticas representan un gran valor agregado.

Masís (2001), reportó que las investigaciones sobre alimentos naturales y funcionales son de gran importancia debido a que las nuevas tendencias del mercado se enfocan en el consumo de productos nutritivos con funciones medicinales. Con base en esto, varios productos han culminado en el sector industrial tales como el aceite de linaza y antioxidantes naturales (tocoferoles, carotenos), que tiene un espectro de acción altamente medicinal por su naturaleza.

El departamento de Agricultura de Estados Unidos, USDA (por sus siglas en inglés), reportó en 2002 que el consumo mundial de aceite vegetal alcanzó 92.7 millones de toneladas, lo que fue un aumento modesto de 1.5%. Esta caída de la demanda refleja los precios para aceite significativamente más altos debido al poco crecimiento de la oferta. Por lo tanto, la producción de aceite de linaza puede representar un importante aporte económico en Centro América. En algunos países latinoamericanos se ha notado un gran interés de los pequeños productores hacia el cultivo de linaza, aunque la industria procesadora de dicha semilla es casi inexistente en la zona.

Según Ekehard y Filer (1997), el aceite de linaza es la fuente más rica en ácido linolénico, por lo cual es considerado uno de los mejores aceites para la nutrición humana. Sin embargo, en raras ocasiones forma parte de la dieta. Existen cantidades de ácidos grasos en la naturaleza, pero el ácido linolénico y linoleico son los únicos que se consideran esenciales porque nuestro organismo no los produce y su carencia está relacionado con un sin número de enfermedades.

Debido a su alto contenido de ácido linolénico, el aceite de linaza se oxida fácilmente en presencia de oxígeno, luz o altas temperaturas, lo que a su vez puede complicar su industrialización por la falta de tecnologías adecuadas para este proceso como son extracción, refinamiento y almacenaje. Una posibilidad para facilitar su extracción es utilizar una prensa al frío para exprimir el aceite de la semilla, lo cual retrasa la oxidación.

El uso de antioxidantes podría ser una buena opción para retrasar la oxidación. Según las nuevas tendencias de los consumidores, los antioxidantes sintéticos son considerados

como perjudiciales pero son más eficientes en el retraso de la oxidación. En vista de ello, los antioxidantes naturales han entrado en apogeo, no solamente por su efectividad en el retraso de la oxidación, sino por su capacidad de prevenir enfermedades cardiovasculares, numerosos tipos de cáncer, alteraciones del sistema nervioso y retraso del proceso de envejecimiento (Norman 1983). También, los antioxidantes naturales juegan un papel importante en el control de la arteriosclerosis debido a que pueden bloquear los radicales libres que modifican el colesterol malo (LDL-c). Los antioxidantes naturales más usados son la vitamina E, β -carotenos y flavonoides.

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que el aceite de linaza es considerado como un producto naturista no se puede extraer por métodos químicos, por esta razón se debe aplicar un método mecánico usando una prensa hidráulica para extraer el aceite. Sin embargo, este método de extracción causa extrema oxidación por presencia de luz, oxígeno y el calor generado por la fricción. La exigencia del mercado del aceite de linaza y las características del mismo, no permite que se puedan usar antioxidantes artificiales para retrasar el proceso de oxidación. Por este motivo se debe hacer pruebas con antioxidantes naturales como el β -caroteno.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En la actualidad, se ha vuelto popular el desarrollo de alimentos funcionales que tienen efecto terapéutico y que sean saludables para el consumidor. El uso de antioxidantes naturales prolonga la vida de anaquel del aceite de linaza y a la vez protege al organismo humano, disminuyendo el riesgo de enfermedades causadas por una carencia en vitamina A, C y E.

La preservación de las sustancias naturales y funcionales del aceite de linaza es una prioridad para suplir las necesidades de los ácidos grasos esenciales. También aporta fibras dietéticas al consumidor.

La conservación del aceite de linaza usando antioxidantes naturales responde a las limitaciones impuestas por los consumidores de mentalidad naturista. Además, la adición de antioxidantes naturales aumenta la naturaleza medicinal del aceite de linaza. Este puede ayudar a prevenir las enfermedades relacionadas con los antioxidantes sintéticos como: el cáncer de próstata, entre otros.

Desde el punto de vista socio-económico, el aumento de la vida útil del aceite de linaza con base en antioxidantes naturales juega un papel importante en el desarrollo del sector agroindustrial. Se motiva a los agricultores a dedicarse más a la producción, en especial los agricultores nicaragüenses que están interesados en transformar la linaza en aceite y proceder a su comercialización.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la vida útil del aceite de linaza con el antioxidante natural β -caroteno.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición química de la linaza.
- Determinar el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.
- Evaluar la capacidad antioxidante del β -caroteno y TBHQ en el retraso de la oxidación del aceite de linaza.
- Evaluar la vida de anaquel del aceite de linaza usando β -caroteno y TBHQ.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LINO

El lino cultivado (*Linum usitatissimum* L.) es la única especie de importancia económica de la familia Linaceae. Dada la afinidad que existe entre *L. angustifolium* y el lino cultivado, se acepta que este sea el progenitor de *L. usitatissimum*. Existen más de noventa especies diferentes clasificadas en dos grandes grupos: linos silvestres y cultivados. La diferencia fundamental estriba en la facilidad de los linos silvestres para expulsar por sí mismos la semilla, permitiendo así que ésta caiga en la tierra y dé origen en el próximo ciclo a nuevas plantas (Kolodziejczyk y Fedec 2000).

Según la Comisión Canadiense de Granos, CGC (por sus siglas en inglés), el lino está compuesto por un tallo de 1 m de altura, presenta algunas ramificaciones, su sistema radicular es superficial y las hojas son enteras, estrechas, unidas al tallo por el pecíolo. Las flores terminales son de color blanco o azul. El fruto comúnmente llamado linaza es de color café.

2.1.1 Aspectos agronómicos del cultivo

Según DeClercq y Daun (2000), el cultivo de lino se adapta a climas templados y cálidos. Al tener la semilla un tamaño muy pequeño no se desarrolla bien en los terrenos arcillosos que forman costra en la superficie, esto impide la germinación de la semilla. Igualmente, los suelos ricos en cal no son aptos para el cultivo debido a su alta exigencia de zinc, el cual se ve bloqueado en terrenos excesivamente calizos. El lino es muy sensible a la sequía durante su floración, una falta de agua durante este período puede afectar fuertemente al rendimiento con pérdida hasta un 30% de la cosecha.

La planta se cultiva en Nicaragua en el departamento de Estelí cuyas condiciones climáticas son óptimas para su crecimiento. Por la diversidad climática que se encuentra en Honduras, el lino se puede adaptar fácilmente en la costa norte que presenta un clima caliente y húmedo.

2.1.2 Industrialización del cultivo

El lino se cultiva para la producción de aceite y la obtención de fibra apta para el hilado. Deben emplear determinadas variedades y cultivar cumpliendo técnicas que permitan lograr mayor rendimiento con un producto de mejor calidad.

En la actualidad, la industria alimentaria europea y norteamericana han mostrado gran interés por el consumo de la semilla de lino, basándose en evidencias de que la semilla de linaza posee alto contenido de grasas, proteínas, fibra soluble.

Debido a la composición química de la semilla que puede observarse en el cuadro 1, este se puede usar en diferentes procesos industriales y reemplazar un sin número de granos básicos en la dieta. La linaza puede jugar un papel importante para solventar el problema de escasez de proteína en la dieta humana.

Cuadro 1. Composición química (%) de algunas materias usadas en la industria.

Alimento	Proteína	Fibra	Grasa
Linaza ^a	29.2	4.8	36.0
Maíz ^b	9.4	12.2	4.3
Soya ^b	33.4	9.3	16.4

^a Fuente: FEDNA (1999)

^b Fuente: Menchú *et al.* (2000)

Según James y Jason (2003), Canadá es uno de los países que se ha ungido en la industrialización de la linaza, siendo el primer productor de harina y aceite de linaza. El aceite de linaza por ser un aceite vegetal con alto contenido de ácidos grasos esenciales omega 3, representa una fuente importante para suplir los requerimientos del organismo.

Según Kolodziejczyk y Fedec (2000), el rendimiento mundial del cultivo no llega a 700 kg/ha, siendo bajo en la India, llegando solo a 350 kg. En este sentido, el promedio ruso resulta menor, oscilando entre 240 y 260 kg. Los rendimientos de Canadá y EE.UU, los dos principales productores de occidente, son similares, fluctuando entre 1000 y 1100 kg/ha. La producción mundial de linaza fue aproximadamente de 2,54 millones de toneladas en el año 2003, de las cuales el 33% corresponde a Canadá, como se puede observar en la figura 1.

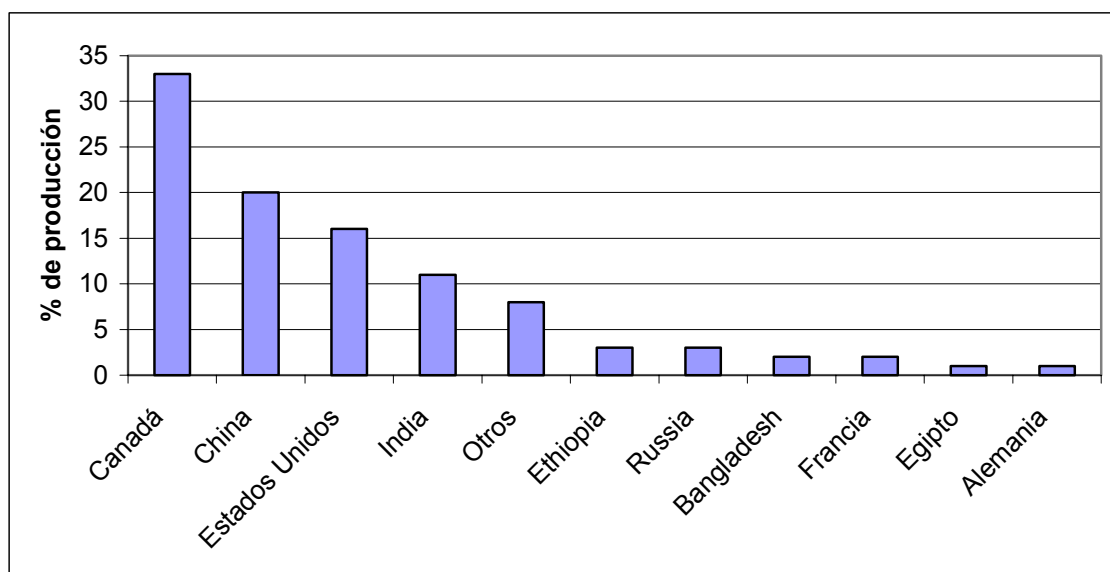


Figura 1. Principales países productores (%) de linaza para el año 2002
Fuentes: James y Jason (2003)

2.2 ACEITES VEGETALES

Los aceites vegetales se pueden definir como aceites comestibles provenientes de nueces o semillas. Son de consistencia líquida a la temperatura ambiente (26°C) y contienen mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados en comparación con las grasas animales.

Por su peculiar sabor y su fama de ser saludable por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los aceites vegetales se han popularizado en los países latinos, especialmente en el mercado femenino.

En los EUA, los últimos veinte años se ha visto la disminución gradual del consumo de mantequilla y manteca de origen animal. En el mismo período ha incrementado constantemente el uso de aceites vegetales, especialmente el aceite de soya. En informes de investigaciones económicas de la USDA, se reportó que el consumo de las grasas animales continuará a disminuir o quizás sea más significativo en los próximos años (Norman 1989).

Según los últimos análisis presentados por la USDA (2002), se estima que en las próximas décadas la producción y el consumo de aceites vegetales en el mundo tendrán un alto crecimiento cercano al 4% anual, con una recuperación de bajos precios vigentes en la actualidad.

2.3 ÁCIDOS GRASOS

Los triglicéridos están formados por tres moléculas de ácidos grasos esterificados con una molécula de glicerina. Los ácidos grasos alimentarios difieren en la longitud de la cadena de carbonos y en el número de enlaces dobles entre los átomos de carbono. Por las diversas combinaciones de distintos tipos de ácidos grasos en la naturaleza, existe un gran número de triglicéridos que son consumidos en la dieta (Ekhard y Filer 1997).

Los ácidos grasos se pueden clasificar en dos grupos: saturados que sólo tienen enlaces simples entre los átomos de carbono y los insaturados que tienen uno o varios enlaces dobles en su cadena, como se puede observar en la figura siguiente.

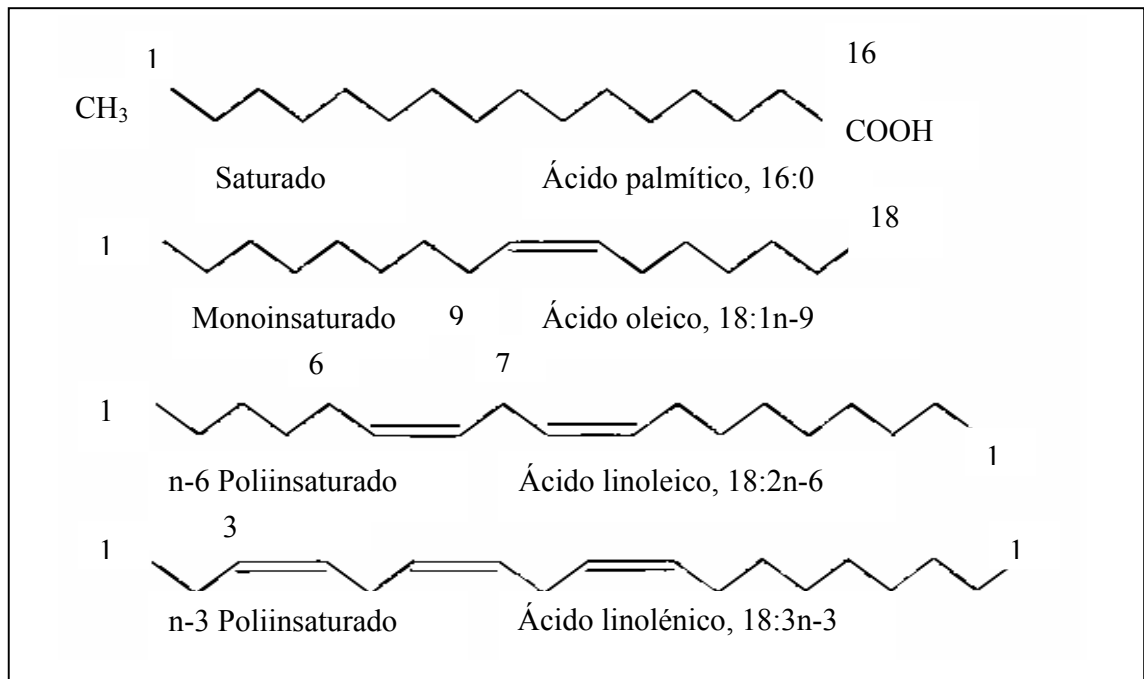


Figura 2. Ácidos grasos saturados, n-9 monoinsaturados, y n-6 y n-3 poliinsaturado.
Fuente: Ekhard y Filer (1997)

2.3.1 Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales son aquellos que no pueden ser sintetizados por el organismo humano, siendo necesarios consumirlo para cumplir con las necesidades alimenticias. Los ácidos grasos esenciales son encontrados en la dieta humana por el motivo de que están presentes en algunos aceites vegetales, como el aceite de maíz y de soya, también en los mariscos se encuentran en pocas cantidades.

Según Ekhard y Filer (1997), la ingestión de ácidos grasos esenciales en cantidades adecuadas, contribuye a estabilizar el metabolismo de las grasas en el organismo. Por esto es posible eliminar las grasas saturadas como el colesterol, reduciendo el riesgo de padecer una enfermedad cardiovascular. Además, los ácidos grasos esenciales juegan un papel importante en la prevención de enfermedades diabéticas en los adultos. La deficiencia de ácidos grasos esenciales en la dieta puede causar un sin número de desequilibrios corporales, enfermedades cutáneas, entre otros.

2.4 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Según McNair (1981), el uso de cromatografía de gases ha revolucionado la industria aceitera. Las nuevas técnicas de separación y caracterización de lípidos en sus componentes usando cromatografía de gases, muestran los principales beneficios que pueden aportar los aceites al organismo humano. El método es sencillo y rápido, consiste en la inyección de la sustancia volátil a una columna que contiene un solvente, en un material sólido inerte. El fundamento para la separación de los ácidos grasos es la diferencia de sus coeficientes de partición cuando se transportan a través de la columna, mediante un gas inerte (Helio). La figura 3 representa el esquema de un sistema de cromatografía de gases.

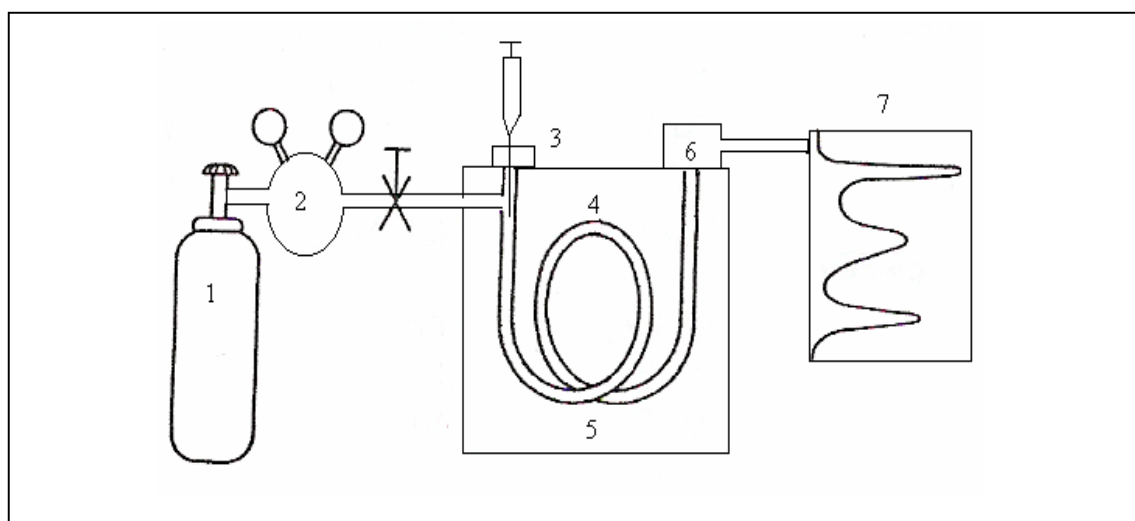


Figura 3. Esquema de un cromatógrafo de gas (Ver explicación en anexo 11)

Fuente: McNair (1981)

2.5 OXIDACIÓN LIPÍDICA

Norman (1983) reportó que la oxidación de lípidos causa el deterioro de la calidad de los aceites vegetales y sus derivados. La oxidación es una de las principales causas no

microbiológicas de deterioro de los aceites. La velocidad de la oxidación aumenta a medida que las insaturaciones son mayores en el ácido graso.

El desarrollo rápido de olores rancios crece más en los ácidos grasos poliinsaturados (Ω -3, Ω -6). Debido a esto, el aceite de linaza por su alto nivel de grasas insaturadas es propenso a la oxidación.

En el cuadro 2 se puede apreciar una gama de aceites comestibles usados en Centroamérica, siendo mayor el consumo del aceite de palma en Honduras, debido a que se encuentra extensiones grandes de palma africana en la región. Se reportó que el consumo del aceite de palma es nefasto para la salud por su alto contenido de ácidos saturados; lo que a su vez se ve propicio por su almacenamiento a condiciones de altas temperatura contrariamente al aceite de linaza que presenta gran inestabilidad a estas condiciones.

Cuadro 2. Comparación de algunos aceites comestibles comunes con base en su contenido de ácidos grasos.

Aceite	% Ácidos grasos				
	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
Soya	10	4	25	54	7
Girasol	7	5	19	68	1
Maíz	11	4	24	54	1
Palma	45	4	40	10	1
Oliva	13	3	71	10	1
Linaza	5	4	21	16	54
Promedio	15.17	4.00	33.33	35.33	10.83
Std. Dev.	14.89	0.63	19.89	26.16	21.28
Varianza	221.77	0.40	395.47	684.27	452.97

Fuente: Ekhard y Filer (1997), adaptado por el autor.

Según Soto (1999), la oxidación del aceite puede ser catalizada por:

1. Temperatura. La temperatura es un agente catalítico en cualquier reacción química. Siempre un aumento en la temperatura implica un aumento en la velocidad de reacción.
2. Luz. La radiación, en particular la ultravioleta promueve la formación de radicales libres que representa la etapa inicial de la reacción de autooxidación.
3. Iones Metálicos. Los iones metálicos, en particular hierro y cobre, catalizan la reacción de oxidación.
4. Disponibilidad de Oxígeno. Resulta evidente que la oxidación se presentará en mayor o menor grado según la cantidad de oxígeno presente.

Al igual, el método de extracción puede jugar un papel importante en el proceso de la reacción oxidativa. En los países desarrollados, se emplea un método de extracción por prensa al frío para contrarrestar el efecto de la temperatura y la luz durante el proceso.

De acuerdo a los mecanismos de reacción, la velocidad de la oxidación puede ser alta dependiendo del nivel de radicales libres que se encuentran en la etapa de propagación. La figura 4 muestra las etapas y los compuestos de la oxidación lipídica.

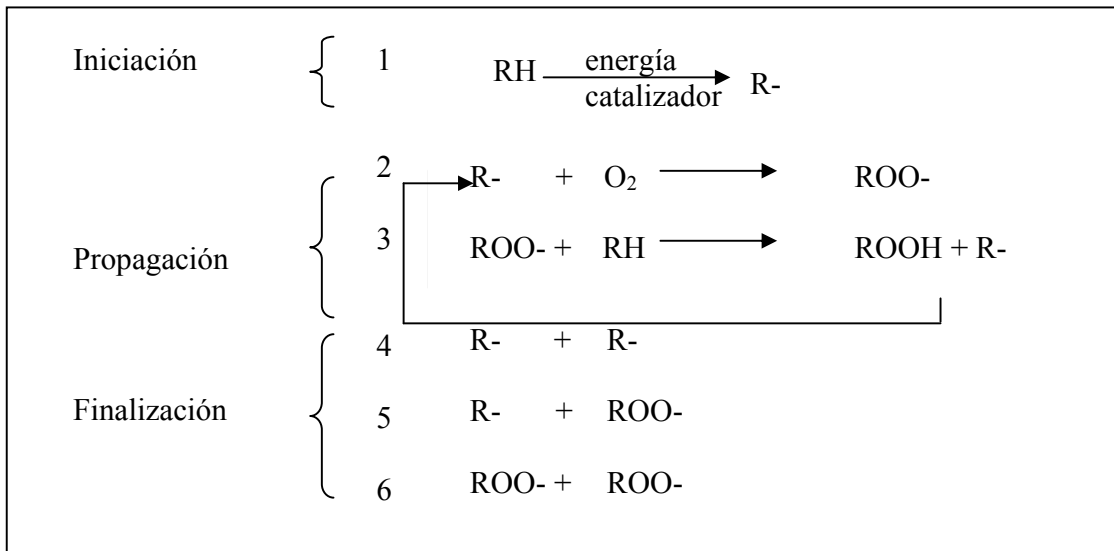


Figura 4. Etapas de la oxidación de lípidos
Fuente: Badui (1995)

2.5.1 Índice de peróxido

El hidroperóxido es el primer producto formado por la oxidación del aceite. Por ello el método usual para evaluar el grado de oxidación es determinar el valor peróxido, el cual se reporta en meq de oxígeno por kilogramo de aceite.

Según el Codex Alimentarius el valor máximo permisible de índice de peróxido en los aceites crudos es de 10 meq de O_2 / kg de aceite. Los olores a rancio en aceite se pueden determinar usando análisis sensorial descriptiva; sin embargo se puede encontrar diferencia significativa entre los datos debido a que en las etapas tempranas de la reacción no se puede percibir los olores a rancio.

2.5.2 Índice de TBA

El índice de TBA se basa en la reacción de una molécula de malonaldehído con dos moléculas de ácido tiobarbitúrico (TBA) para desarrollar un color rojo, que puede ser cuantificado en espectrofotómetro a 530 nm.

Clemente (2004), reportó que un valor de TBA inferior a 0,5 mg Ma/kg de aceite corresponde a un producto de calidad óptima. Cuando el índice se aproxima a uno se nota un efecto negativo en la calidad de los productos.

2.6 ANTIOXIDANTES

Según Norman (1983), los antioxidantes son cualquier sustancia capaz de atenuar los efectos de oxidación de las sustancias oxidantes. Son equivalentes a las sustancias tampón que pueden captar o liberar hidrogeniones que tienen una acción amortiguadora sobre los cambios de pH.

La aplicación de los antioxidantes en los alimentos se define como preservantes que retardan el deterioro, rancidez y decoloración. Los antioxidantes se unen a los agentes oxidantes, evitando su reacción con los ácidos grasos libres. Actúan por medio de diferentes mecanismos:

- Deteniendo la reacción en la cadena de oxidación de las grasas.
- Eliminando el oxígeno atrapado o disuelto en los productos.
- Eliminando ciertos metales, como el cobre o el hierro que facilitan la oxidación debido que funcionan como agentes quelantes.

Los antioxidantes inhiben la formación de radicales libres en el paso de la iniciación o interrumpiendo la propagación de la cadena del radical libre.

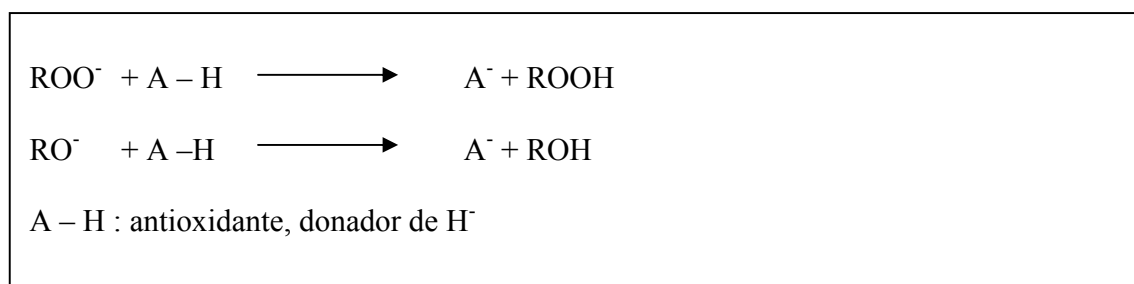


Figura 5. Reacción de los antioxidantes sobre los radicales libres
Fuente: Badui (1995)

Algunos antioxidantes en almacenamiento (por debajo de 12°C) sufren cambios químicos que sus soluciones llegan incluso a cristalizar, lo que ocasiona una reducción de su poder, además pueden oxidarse bajo las mismas condiciones que alteran a los lípidos: luz, alta temperatura y metales (Baduí 1995).

Según Rabinal (2003), existen dos grupos de antioxidantes:

- Antioxidantes naturales, presentes en la naturaleza o nuestro organismo tales como α -tocoferol y β -caroteno.
- Antioxidantes sintéticos los cuales en exceso pueden resultar nocivos para la salud tales como BHA, TBHQ.

2.6.1 Tocoferoles (Vitamina E)

Los tocoferoles son componentes menores de los aceites y grasas. Son biológicamente activos y afectan a la estabilidad y comportamiento de un aceite a elevadas temperaturas. Los tocoferoles son antioxidantes fenólicos que reaccionan con los radicales libres y sus concentraciones se reducen de forma considerable cuando se calienta el aceite. El alfa-tocoferol desaparece antes que sus homólogos, beta, gamma y delta durante la fritura en freidora. En presencia de un antioxidante más intenso, sintético o natural, las pérdidas de a-tocoferol se evitan (Boskou 1998).

Los tocoferoles son considerados más estables en alimentos que otros antioxidantes naturales debido a su estructura química (Figura 6).

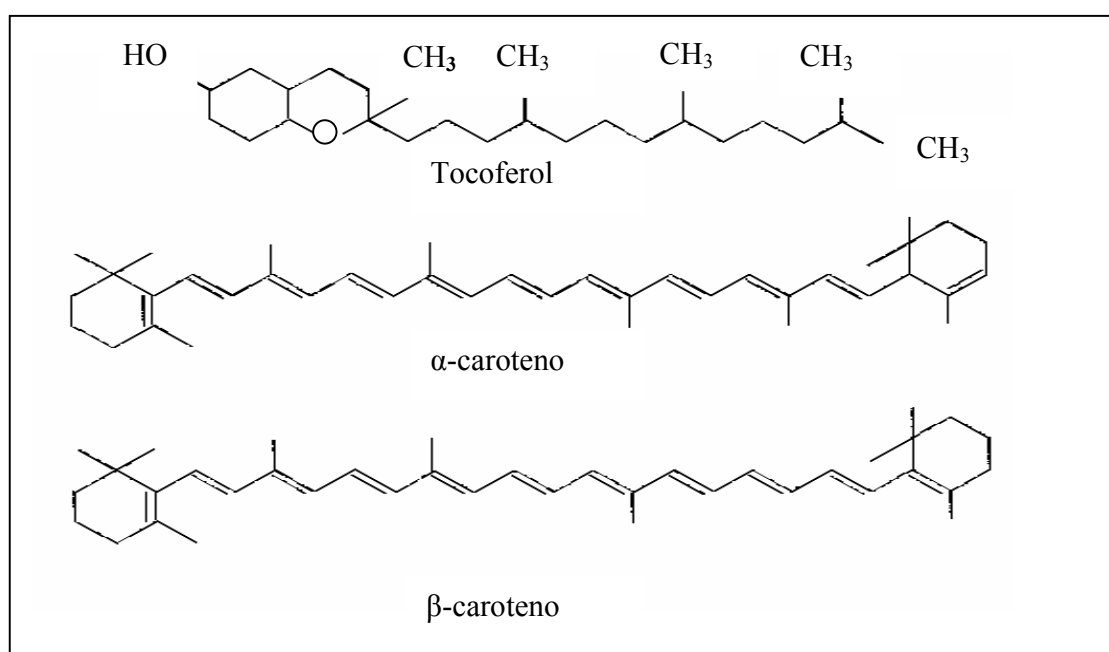


Figura 6. Estructura química de algunos antioxidantes

Fuente: FAO (1997)

2.6.2 Carotenoides

Los carotenoides son hidrocarburos liposolubles altamente insaturados derivados del poliisopreno. Se sabe que en las grasas animales y vegetales están presentes más de 75 carotenoides diferentes. Los más frecuentes son los carotenos β, φ, α, la licopina, la luteína y las xantofilas. Los carotenoides y sus derivados son normalmente los que dan el color amarillo a rojo intenso a las frutas, hortalizas, cereales y aceite de palma bruto. Los carotenoides son los precursores de la vitamina A, presentando el β-caroteno la mayor actividad de pro-vitamina A (FAO 1997).

El uso de los carotenoides en alimento como antioxidante es restringido debido a que son muy sensibles al oxígeno, ácido y alta temperatura los cuales tienden a bajar su efectividad durante el almacenamiento de los alimentos.

En un estudio que se realizó en Brasil, se ha probado el efecto antioxidante del β -caroteno en aceite de soya en comparación con el acetato de retinol. Se usó tres concentraciones 50, 100, 200 ppm. Se observó que el acetato de retinol tuvo una actividad antioxidante más que β -caroteno. La actividad antioxidante de acetato de retinol y β -caroteno fue comparada al BHT y se observó que la eficiencia antioxidante era directamente proporcional a la resistencia de la degradación de ellos en el sistema oxidativo.

2.6.3 TBHQ

El TBHQ es un antioxidante sintético mayormente utilizado en aceites vegetales. Según el Codex Alimentarius, la concentración máxima de TBHQ en las grasas es de 0.02%.

BHA y BHT poseen una baja eficiencia en la protección de aceites de origen vegetal, presentan una alta solubilidad y además son insolubles en agua. Por lo contrario TBHQ presenta una alta eficiencia en aceites poliinsaturados, se disuelve relativamente bien en aceites y presenta excelentes resultados durante los procesos de fritura (Giacaman 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Evaluación de Alimentos de la Carrera de Agroindustria de Zamorano, ubicado en el Valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, a 30 km al Este de Tegucigalpa, Honduras; con una altura de 800 msnm, una temperatura promedio anual de 24°C.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Materias primas

- Semilla de linaza, variedad criollo, cosechada Diciembre 2003.

3.2.2 Antioxidantes

- β -caroteno
- TBHQ

3.2.3 Reactivos

- 1-Butanol
- Ácido bórico al 4%
- Ácido tiobarbitúrico
- Cloruro de sodio
- CuSO_4

- Estándares de ácidos grasos: FAME 2
- H_2SO_4
- HCl 0.1N
- Heptano
- Hidróxido de potasio
- K_2SO_4
- NaOH
- Na_2SO_4
- Papel filtro Whatman No. 42
- Solución de ácido acético-cloroformo
- Solución de almidón al 1%
- Sulfato de sodio
- Trifluoruro de boro 10-14% metanol
- Tiosulfato de sodio
- Yoduro de potasio
- Zinc

3.2.4 Equipos y materiales

- Agitador magnético con calentador
- Balanza analítica, Mettler, AE200.
- Balón Kjeldahl
- Bikers
- Centrifugadora digicens
- ColorFlex
- Columna sílica gel, 30*0.25*0.25, DB-23, 40-250°C, J&W Scientific.
- Crisol
- Cromatógrafo de gases, Agilent 6890
- Digestor de proteínas, Kjeldhal
- Espectrofotómetro Spectronic 20
- Extractora de grasa, Goldfish 3500100
- Horno, Fisher Scientific
- Incubadora 36I
- Mufla, N3R, Geprüfte Sicherheit.
- Pipetas
- Probetas
- Tubos de ensayos
- Tubos de vidrio de 10-50 ml

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para determinar la composición química de la linaza, se tomaron seis muestras al azar de 10 g de semilla en un lote representativo.

Para estipular el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza, se tomaron seis muestras de 5 g de aceite en diferentes fechas.

Se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos (4, 26, 45 y 60°C) para determinar las temperaturas de almacenamiento a utilizar en la evaluación de las propiedades antioxidantes del β -caroteno en aceite de linaza.

Para determinar el efecto del β -caroteno en aceite de linaza, se usó un diseño de parcelas subsubdividas para analizar medidas repetidas en el tiempo, donde las temperaturas (4 y 26°C), los antioxidantes (β -Caroteno y TBHQ) y las concentraciones (100, 200 y 300 ppm) fueron sucesivamente considerados como parcelas, subparcelas y subsubparcelas.

3.4 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO

3.4.1 Análisis proximal

Se determinó la humedad, cenizas, grasas, proteínas y fibra usando métodos gravimétricos estipulados en la AOAC (M-920.86; M-945.15; M-960.52).

3.4.2 Extracción de aceite de linaza

Los ensayos preliminares que se realizaron, mostraron que no es recomendable extraer el aceite de linaza por método químico, lo cual acelera la oxidación en el momento de la separación de las dos fases (etanol-aceite).

Se utilizó una prensa hidráulica para extraer el aceite. La cantidad de semilla usada fue de 18.2 kg. La capacidad de la prensa utilizada fue de 1.4 kg. La figura 7 muestra el diagrama de flujo utilizado para la extracción del aceite.

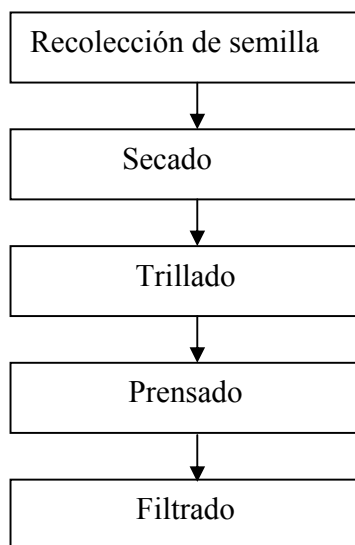


Figura 7. Diagrama de proceso de extracción del aceite de linaza.

3.4.2.1 Recolección de la semilla. La recolección de la semilla se realizó manualmente a los tres meses de su siembra.

3.4.2.2 Secado. En la región de Nicaragua donde el lino es cultivado, la semilla fue sometida a un proceso de secado solar por tres días.

3.4.2.3 Trillado. La Limpieza de la semilla se realizó mediante dos zarandas número 8 y 14 respectivamente. Este proceso se llevó a cabo en el aparato PSS (Portable Sieve Shaker, model Rx) para separar la semilla de elementos extraños (pajas, semilla de malezas, etc).

3.4.2.4 Prensado. La extracción del aceite se realizó mediante el prensado hidráulico que separó el aceite del resto de los componentes de la semilla.

3.4.2.5 Filtrado. Se filtró el aceite con una malla de polietileno de orificio pequeño para separarlo de partículas extrañas.

3.4.3 Perfil de los ácidos grasos

Se utilizó un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama para separar los ácidos grasos metilados. Se utilizó una columna capilar de sílica fundida con

la fase estacionaria en enlace apolar de metilhexano, DB-23 de 30 m x 0.25 mm x 0.25 μ . Las temperaturas del inyector y del detector fueron 160 y 220°C, respectivamente. El gas acarreador fue nitrógeno fluyendo aproximadamente 40 ml/min. La presión del gas hidrógeno se mantiene entre $3.72 \cdot 10^5$ a $4.13 \cdot 10^5$ Pa. La identificación y cuantificación de los ácidos grasos fueron obtenidas por comparación con estándares de referencia (RM-5, RM-6).

3.4.4 Índices de acidez

El índice de acidez del aceite de linaza se determinó en el mismo día que la extracción del aceite. Se tomaron cinco muestras de 10 g de aceite en envases de vidrio las cuales fueron sometidas a diferentes condiciones de temperatura. Se determinó el índice de acidez después de los siete días de almacenamiento según las descripciones de los procedimientos de la AOAC (M-965.33).

3.4.5 Evaluación de antioxidantes

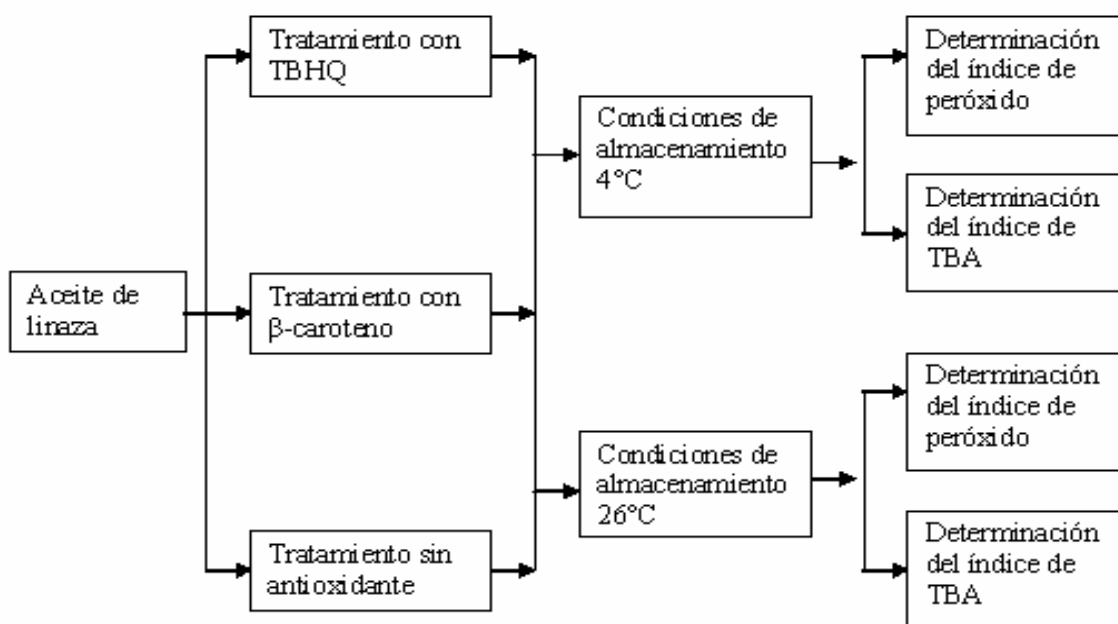


Figura 8. Procedimiento para la evaluación de los antioxidantes.

Se tomaron 14 muestras de 100 g de aceite de linaza, en los cuales seis muestras fueron tratadas con β -caroteno en tres concentraciones (100, 200, 300 ppm) por duplicado y tres muestras fueron sometidas a 4°C y los demás a 26°C (temperatura ambiente). Al igual,

seis muestras fueron tratadas con TBHQ y sometidas a las mismas condiciones que las precedentes. Finalmente, dos controles fueron almacenados a las temperaturas ya mencionadas. Los frascos fueron almacenados durante cuatro semanas y se determinó el grado de oxidación semanalmente de acuerdo a los procedimientos descritos en la AOAC.

3.3.6 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el programa SAS[®] para determinar la influencia de las variables independientes y también si existe una diferencia significativa entre los tratamientos. Se aplicó la prueba de LSD ($P \leq 0.05$) para la separación de medias.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición química

Es importante determinar la composición química de la semilla para definir nuevas alternativas de uso. En el cuadro 1 se mostraron los resultados del análisis químico proximal de la linaza realizado después de cinco meses de su cosecha.

Cuadro 3. Composición química de la linaza después de cinco meses de cosecha.

Componentes	Promedio*	Mínimo	Máximo	% CV
Humedad	8.328 ± 0.072	8.210	8.420	0.8639
Materia seca	91.672 ± 0.072	91.580	91.790	0.0785
Cenizas	3.399 ± 0.177	3.075	3.565	5.2123
Materia orgánica	88.273 ± 0.203	88.026	88.585	0.2300
Proteína cruda	21.217 ± 0.377	21.001	21.980	1.7757
Extracto etéreo	28.475 ± 0.658	27.385	29.104	2.3109
Fibra	13.398 ± 0.599	12.943	14.204	4.4726
Extracto libre de N.	25.182 ± 0.363	24.468	25.448	1.4409

*Resultados promedio de seis muestras.

El contenido de humedad en las muestras analizadas varió de 8.21 a 8.42% (Cuadro 3). El método usado fue adecuado (%CV =0.86). El contenido de proteína fue muy elevado de 21 a 22%. El contenido de grasas fue ligeramente menor (27.38 a 28.10%) en comparación al de 36% según la FEDNA (Cuadro 1).

La semilla de linaza usada tuvo más de 28% de aceite lo que representa 32% más que el aceite presente en la soya y 42% más que el maíz tal como se puede observar en el cuadro 1.

4.2 Perfil de ácidos grasos

Se identificaron y se cuantificaron cinco ácidos grasos en el aceite de linaza extraído en los cuales dos fueron ácidos grasos saturados presentes en un 11%, un monoinsaturado presente en un 25% y dos poliinsaturados con un 64% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Proporción de ácidos saturados e insaturados en aceite de linaza.

Semilla	Grasa	Ácidos Saturados	Ácidos Monoinsaturados	Ácidos Poliinsaturados
Linaza	28.47	3.13	7.11	18.22

El perfil de ácidos grasos mostró que el ácido graso más abundante del aceite de linaza es el linolénico presente en un 52.53%, el cual según Ekhard y Filer (1997) tiene como principal acción reducir los niveles de triglicéridos sobre las lipoproteínas plasmáticas.

Otro ácido graso poliinsaturado identificado en el aceite de linaza ha sido el linoleico que representó el 11.78% de los ácidos grasos del aceite extraído.

Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos del aceite de linaza

Ácidos grasos	No. C-Ins.	Promedio*	Mínimo	Máximo	% C V
Palmítico	C _{16:0}	5.858±0.504	5.321	6.474	8.617
Esteárico	C _{18:0}	4.827±0.238	4.570	5.071	4.949
Oleico	C _{18:1}	24.868±0.932	23.426	25.900	3.748
Linoleico	C _{18:2}	11.786±0.323	11.455	12.313	2.745
Linolénico	C _{18:3}	52.539±1.193	50.781	54.119	2.272

*Resultados promedio de seis muestras.

De acuerdo a los perfiles de ácidos grasos mostrados en el cuadro 2, la variedad del lino cultivado en Nicaragua es similar a las variedades más cultivadas en la región europea. La leve diferencia entre los valores de algunos ácidos grasos del aceite de la linaza puede ser afectada por la época de cosecha y el tiempo de almacenamiento de la semilla.

4.3 Porcentaje de ácidos grasos libres

De acuerdo al análisis estadístico existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las temperaturas de almacenamiento. El coeficiente de variación fue de $R = 0.962$. La separación de medidas mostró que no existe diferencia entre la temperatura de refrigeración y del medio ambiente ($LSD = 0.2164$).

La figura 9 muestra que el índice acidez del aceite de la linaza fue de 0.561, pero el porcentaje de acidez aumentó en el transcurso del tiempo, a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento. Esto dio lugar al deterioro del aceite, ya que se produjo una liberación de los ácidos grasos que forman partes del aceite.

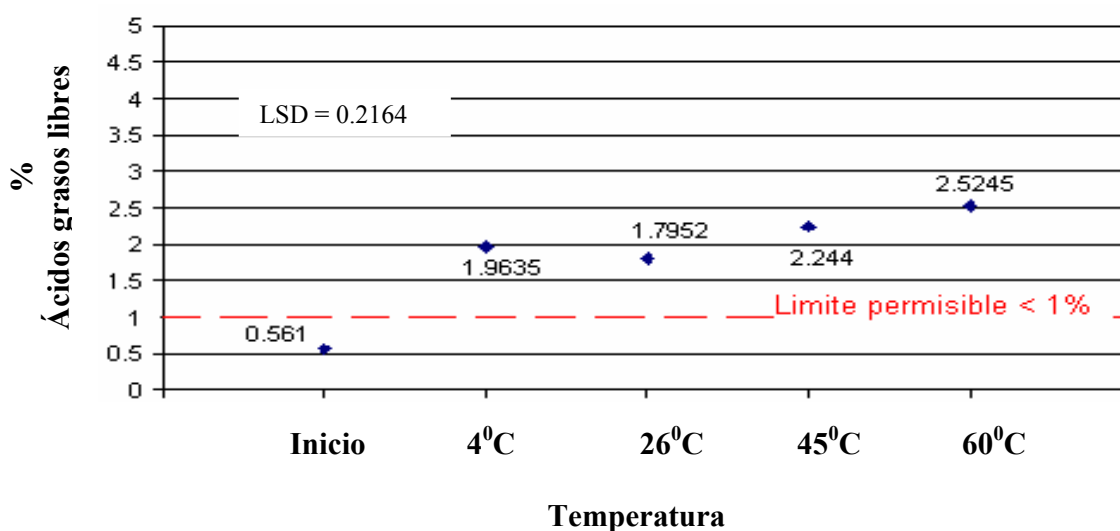


Figura 9. Índice de acidez del aceite de linaza sometida a diferentes temperaturas durante una semana.

En este estudio preliminar se concluyó que las temperaturas a las cuales el aceite de linaza pudo ser almacenado sin acelerar el proceso de oxidación del mismo son 4 y 26°C.

4.4 VIDA ÚTIL

4.4.1 Índice de peróxido

El índice de peróxido es una estimación del contenido de sustancias que oxidan el yoduro potásico y se expresa en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa. (FEDNA 1999).

Se encontró que existe diferencia estadística ($P < 0.05$) entre las interacciones de las variables medidas (antioxidantes, concentraciones y temperatura). El análisis de varianza (prueba F) mostró que existe diferencia significativa entre las semanas en el incremento del índice de peróxido. El aceite de linaza sin antioxidante almacenado a temperatura de refrigeración guardó sus características al final de las cuatro semanas, pero a temperatura ambiente no se mantuvo dentro de los límites permisibles.

El β -caroteno a 100 ppm en el aceite de linaza fue más efectivo a temperatura de refrigeración. El aceite de linaza guardó su calidad después de las cuatro semanas debido a que el valor de peróxidos se encuentra en el límite permisible.

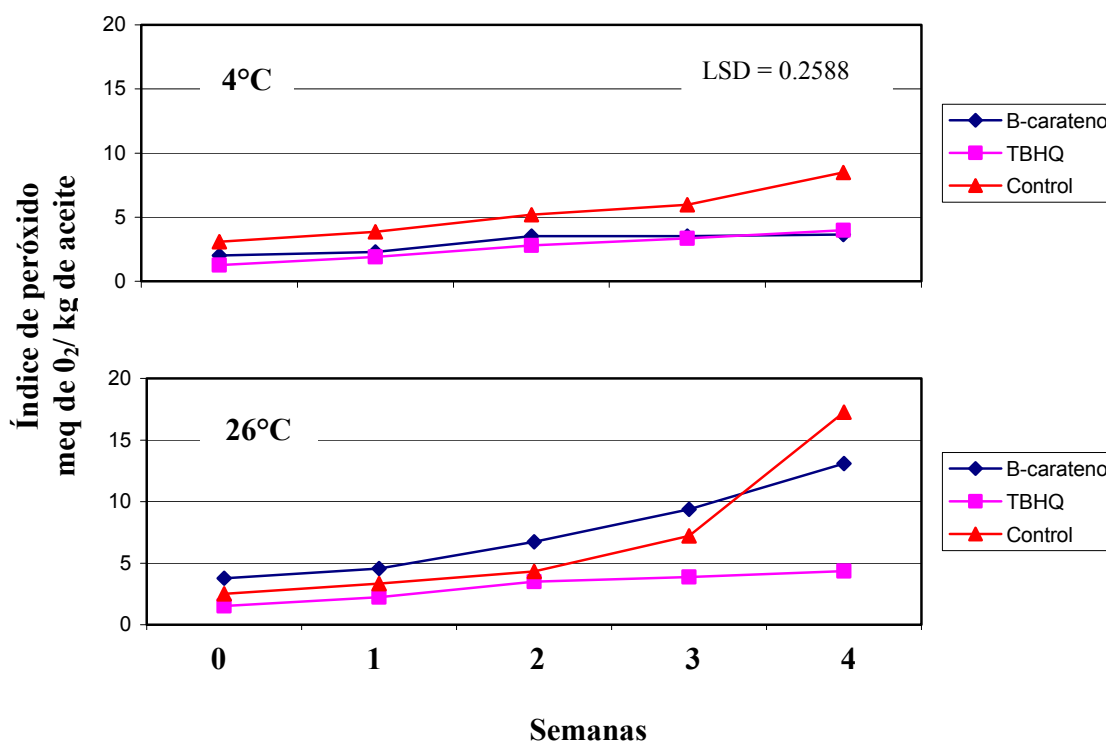


Figura 10. Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 100 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

Basando en las condiciones de temperatura de almacenamiento de los aceites comestibles, se puede mencionar que el aceite de linaza puede ser almacenado por un período de 3 semanas. El TBHQ tuvo mejor efectividad en el retardo de la reacción oxidativa que β -caroteno (figura 10).

En el segundo ensayo realizado con un nivel de 200 ppm, el análisis de media mostró que existe diferencia significativa entre los antioxidantes. El aceite de linaza tratado con β -caroteno y almacenado a temperatura de refrigeración mantuvo sus características sensoriales al final de las cuatro semanas, mientras que los valores del índice de peróxido a temperatura ambiente se encontraron por arriba de los límites permisibles (10 meq de O_2 / kg de aceite).

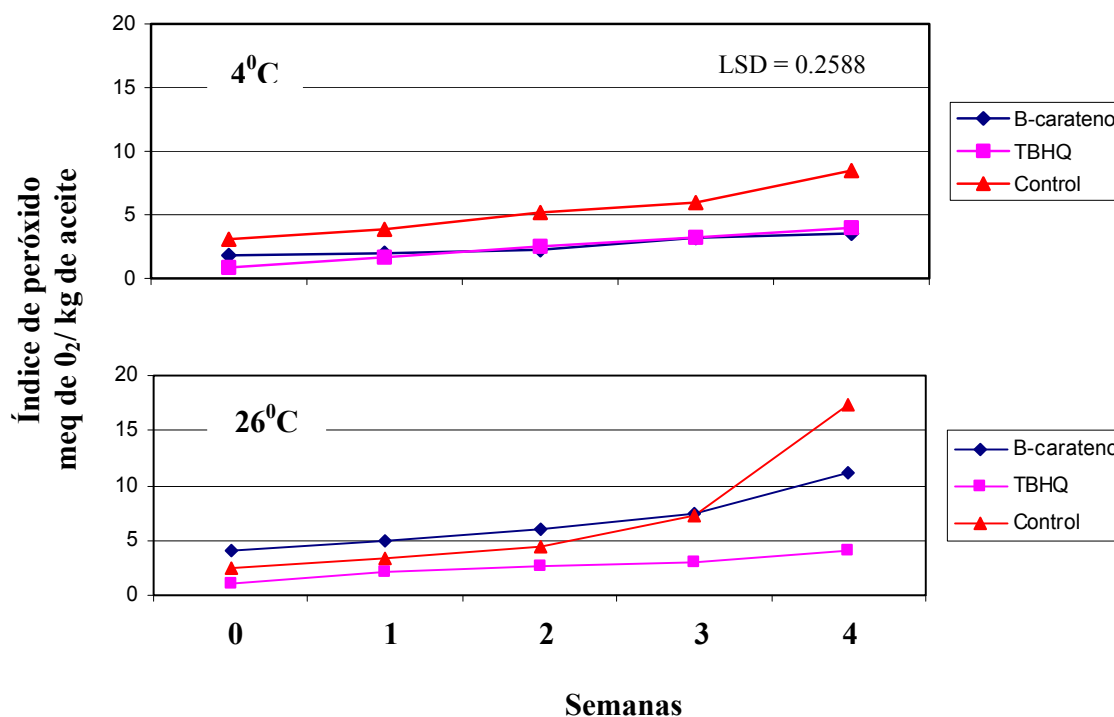


Figura 11. Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 200 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

Los resultados obtenidos al final del ensayo utilizando 200 ppm de β -caroteno mostraron que el índice de peróxido en el aceite de linaza se redujo a medida que aumentaron las concentraciones, lo que retardó la velocidad de la reacción oxidativa.

En la figura 12 se puede observar a una concentración de 300 ppm, el índice de peróxido del aceite de linaza tratado con β -Caroteno a 4°C presentó un leve ascenso durante las cuatro semanas. También en la figura 12 se pueden observar valores de índice de peróxido en el aceite tratado con β -caroteno más favorables que en los se trataron con TBHQ. Se cree que a una concentración más alta que 200 ppm de TBHQ en alimentos (límite permitido por la FDA) existe más posibilidad que ocurra la reacción oxidativa.

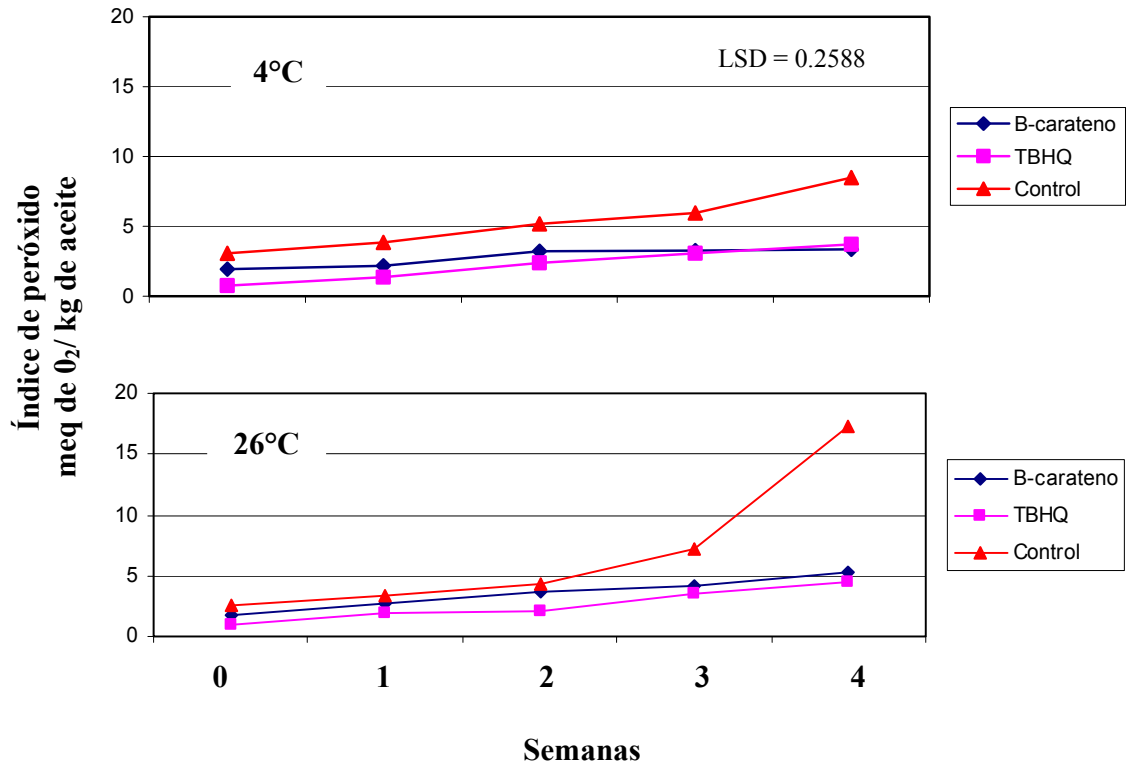


Figura 12. Cambios en índice de peróxido en aceite de linaza con 300 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

El aceite de linaza tratado con 300 ppm de β -caroteno almacenado a condiciones de temperatura de ventas de los aceites comestibles (26°C), guardó sus características al final de las cuatro semanas y pudo ser almacenado un poco más debido a que el índice de peróxido se mantuvo bajo los límites al final del ensayo (figura 12).

4.4.2 Índice de TBA

La medida del índice de peróxido es muy poco repetitiva porque mide compuestos intermedios de la oxidación que pueden aumentar o disminuir con el transcurso de la misma, por lo que se suele recurrir al índice del ácido tiobarbitúrico o TBA (Clemente 2004).

Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las variables independientes y sus interacciones a excepción de los antioxidantes. El análisis de separación de media mostró que existe diferencia significativa entre las temperaturas de almacenamiento, siendo más efectivo almacenar el aceite de linaza a temperatura de refrigeración ($\mu = 0.5077$) que al ambiente ($\mu = 0.54620$).

La figura 13 mostró el comportamiento de los valores del índice de TBA en el aceite de linaza tratado con 100 ppm de antioxidante. En las dos condiciones de almacenamiento, se observó que el aceite entró en un estado de baja calidad ($5 < \text{TBA} > 1 \text{ mg Ma/kg de aceite}$).

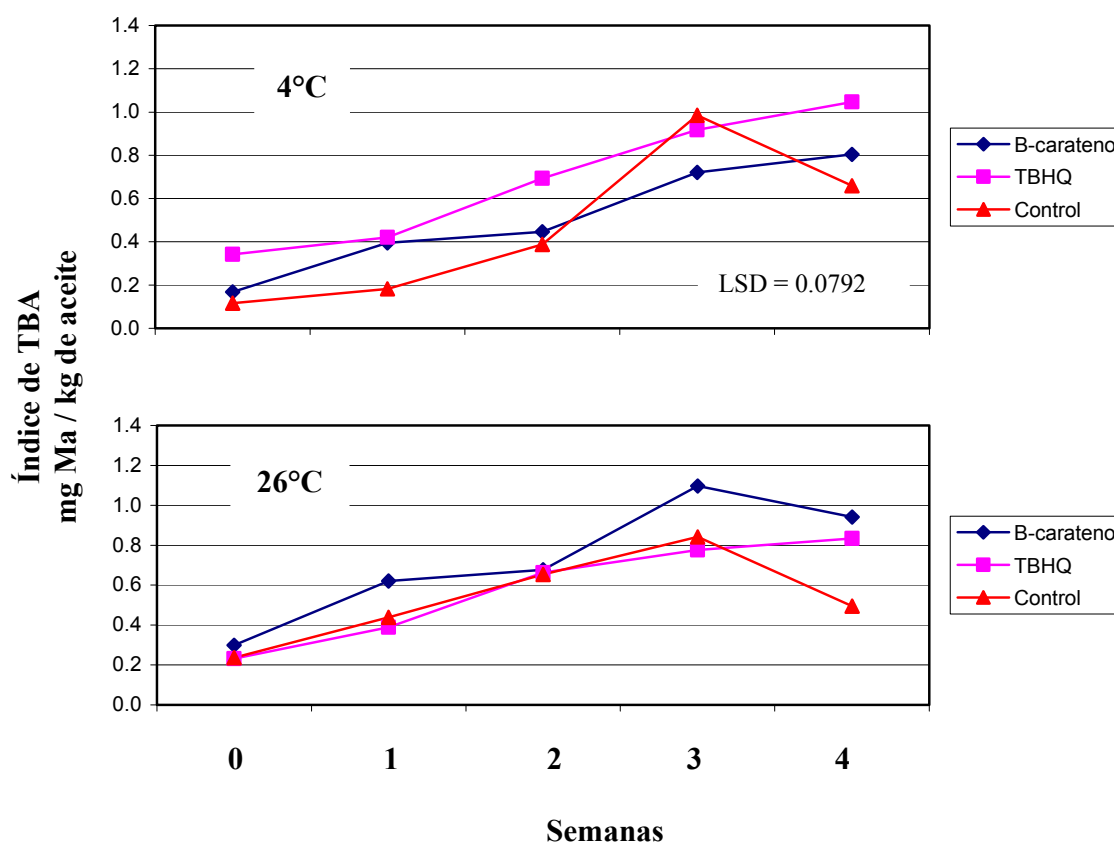


Figura 13. Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 100 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

En los ensayos realizados no se encontró defectos de tipo sensorial en el aceite que fue almacenado a temperatura de refrigeración, sin embargo, el aceite tratado con β -caroteno almacenado a temperatura ambiente presentó ligeros olores característicos de un enranciamiento tardío. El índice de TBA se mantuvo dentro de los límites permisibles (figura 14).

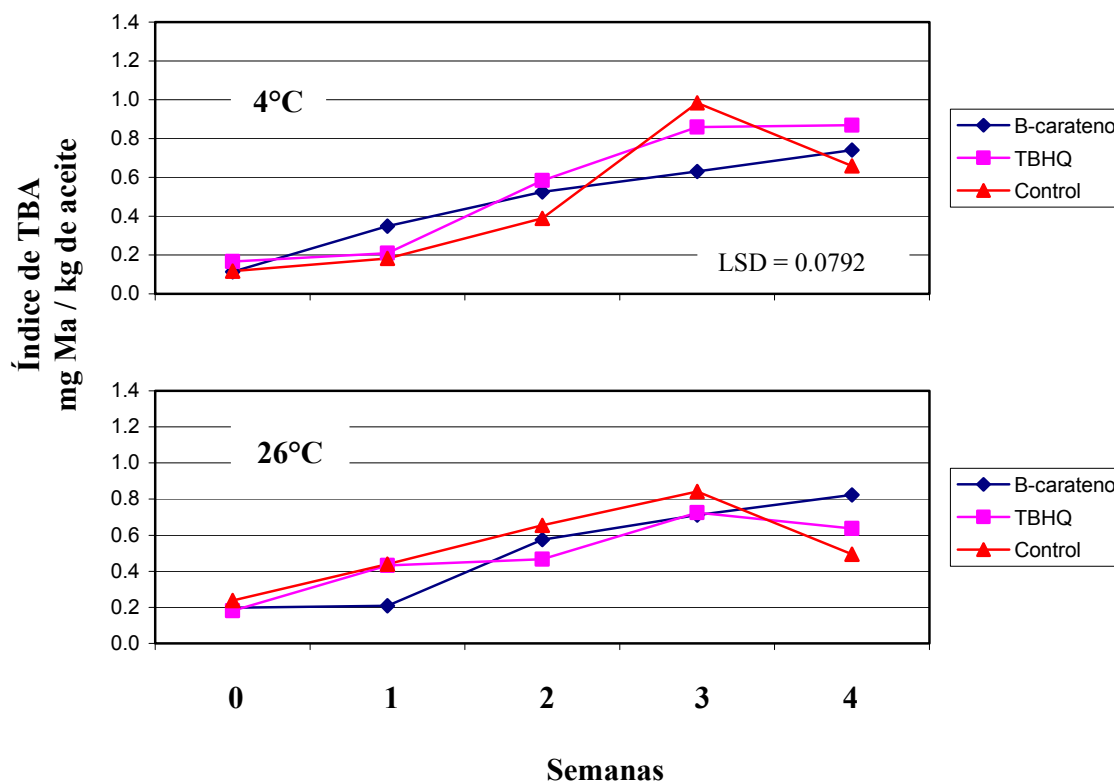


Figura 14. Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 200 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

En la figura 14 se puede notar que la temperatura tiene un efecto inverso al crecimiento de los aldehídos malónicos, debido a que son compuestos volátiles. Los valores de TBA se mantuvieron por debajo de los límites críticos al final de la segunda semana. El aceite almacenado a condiciones normales mostró un lento crecimiento de los valores de TBA con respecto al aceite que fue sometido a temperatura de refrigeración.

De acuerdo a los valores de TBA mostrados en la figura 15, el incremento en concentración de antioxidante en el aceite de linaza no presentó correlación lineal en cuanto al incremento de los valores de índice de TBA.

El índice de TBA en el aceite tratado con una concentración de 300 ppm de β -caroteno y almacenado a 4°C mostró un leve ascenso de los aldehídos malónicos durante las cuatro semanas. En el caso del aceite almacenado a 26°C se detectaron olores característicos de la rancidez (índice de TBA > 1 mg de Ma / Kg de aceite).

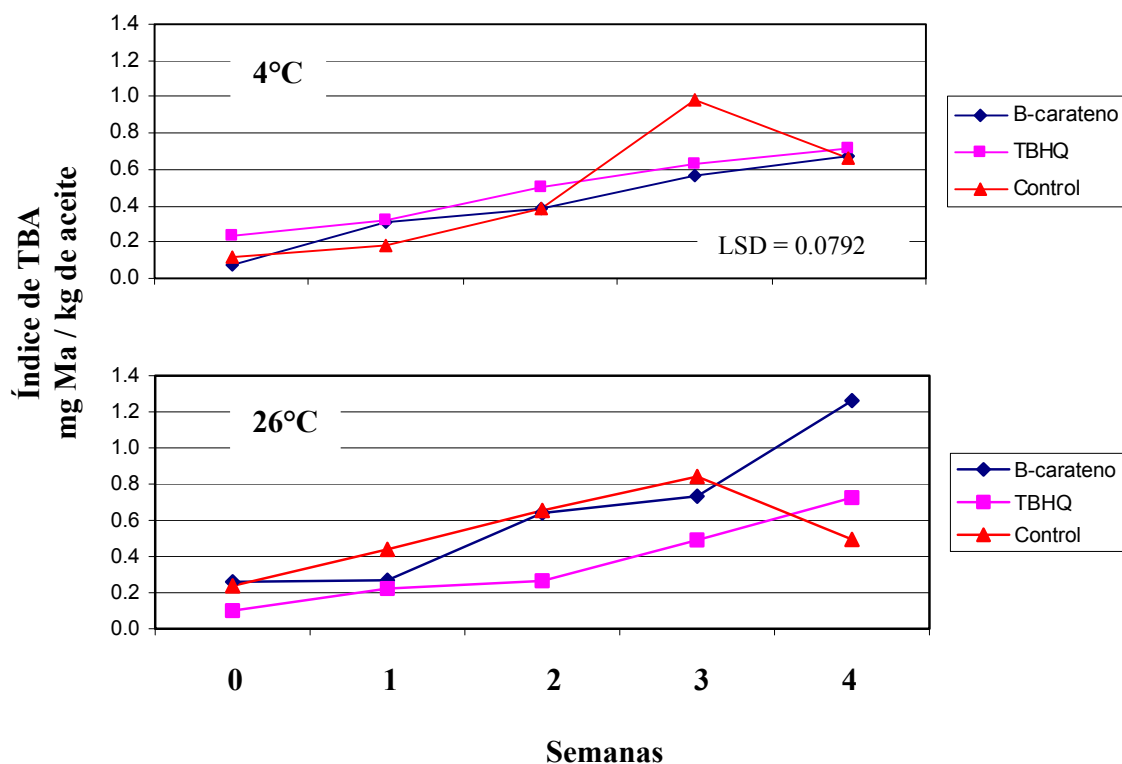


Figura 15. Cambios en índice de TBA en aceite de linaza con 300 ppm de antioxidante a 4 y 26°C.

5. CONCLUSIONES

- El perfil de ácidos grasos del aceite de linaza extraído de la variedad criolla, cultivado en Nicaragua, no difirió significativamente del perfil de ácidos grasos de la semilla canadiense.
- Las temperaturas de almacenamiento jugaron un papel importante en el retardo del proceso de oxidación, siendo mejor la temperatura de refrigeración.
- La efectividad del β -caroteno en el aceite de linaza fue similar al TBHQ a una concentración de 300 ppm.
- La vida útil del aceite de linaza fue de tres semanas bajo 26°C.

6. RECOMENDACIONES

- Cultivar de una forma orgánica la linaza y modificar las condiciones de siembra y manejo.
- Desarrollar prototipos utilizando el aceite de linaza para mejorar la funcionalidad de algunos alimentos.
- Evaluar otros antioxidantes naturales usados en la industria aceitera para alargar un poco más la vida de anaquel del aceite de linaza.
- Aumentar las concentraciones del β -Caroteno para mejorar su efectividad, debido a que no existe un límite permisible para su uso.
- Aumentar el tiempo de almacenamiento de las muestras tratadas con el β -Caroteno para maximizar la vida útil de anaquel del aceite de linaza.
- Realizar un estudio de factibilidad para determinar posibles oportunidades para la comercialización del aceite de linaza en el mercado local.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis of AOAC International. Patricia Cunniff. 16a. ed. Maryland, EE.UU. Editorial AOAC International. Volumen II, 86p.
- Badui, S. 1995. Química de Alimentos. Editorial Alhambra Mexicana. México D.F. México.
- Boskou, D. 1998. Temperaturas de fritura y constituyentes menores de los aceites y grasas (en línea). Consultado el 5 de oct. 2004. Disponible en: <http://www.ig.csic.es/Revis/Fas49/Res49/Re49f3412.html>
- Clemente, B. 2004. Control mediante la alimentación animal de la composición de la carne (en línea). Consultado el 28 de sep. 2004. Disponible en: http://www.racve.es/muestra_actividad.php?id=422
- Comisión Canadiense de Granos (CGC). 2003. Quality of western canadian flaxseed (en línea). Consultado el 10 sep. 2004. Disponible en: <http://www.grainscanada.gc.ca>
- Comisión Europea de Agricultura, CEA. 2004. Examen del sistema europeo de redes cooperativas de investigación agrícola (en línea). Consultado el 1 de Oct. 2004. Disponible en: http://www.fao.org/world/Regional/REU/Repository/ECA/ECA_33/J1320S
- DeClercq, D. y Daun, J. 2000. Quality of western Canadian flaxseed. Canadian Grain Commission (en línea). Consultado el 23 de sep. 2004. Disponible en: http://collection.nlc-bnc.ca/100/201/301/quality_west_can_flaxseed/2000-e.pdf
- Ekhard, E. y Filer, L. 1997. Conocimientos actuales sobre nutrición. Organización Panamericana de la salud. Washington. EUA. 7ed. 731p.
- FAO. 1996. Codex Alimentarius. 2da. ed. Editorial FAO. Vol. 8, Roma, Italia. 169 p.
- FAO. 1997. Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta OMS de expertos (Estudio FAO Alimentación y Nutrición - 57) (en línea). Consultado el 13 de Sep. 2004. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s00.htm#Contents>

- FEDNA. 1999. Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 496 p.
- Giacaman, E. 2002. Efecto de la adición de palmitato de ascorbita en la estabilidad oxidativa de hojuelas de papa, elaboradas con una mezcla de oleína de palma y aceite de raps tipo canola (en línea). Consultado el 23 sep. 2004. Disponible en: <http://www.ingenieriaenalimentos.cl/download/tesis/uach/FAG615e2002UACH.pdf>
- James, B. y Jason, J. 2003. Flaxseed. Agricultural Marketing Policy Center Linfield may, Montana State University Bozeman. Briefing No. 56.
- Kolodziejczyk, P. y Fedec, P. 2000. El procesamiento de la semilla de lino para consumo humano. Revista A&G n° 38.
- Masis, P. 2001. Alimentos funcionales: Análisis general acerca de las características químicas, nutricionales, desarrollo industrial y legislación alimentaria (en línea). Consultado el 1 de Sep. 2004. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S140914292001000100005&script=sci_arttext&tlng=es
- McNair, H. 1981. Cromatografía de gases. Department of Chemistry College of Art and Sciences. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 90p.
- Menchú, M. *al et.* 2000. Instituto de Nutrición de centro América y Panamá (INCAP); Oficina Panamericana de la Salud (OPS). Valor nutritivo de los alimentos de Centroamérica. 2ed. Guatemala.
- Norman, W. 1983. Elementos de tecnología de alimentos. AVI Publishing Company, Inc. Connecticut. USA. 1ed. 783p.
- Ozilgen, S. y Ozilgen, M. 1990. Kinetics model of lipid oxidation in foods. Journal Food Science., 55, 498 –536
- Rabinal, P. 2003. Antioxidantes naturales para extender la vida útil de la carne. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos aceite (en línea). Consultado el 12 feb. 2004. Disponible en: <http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2003/11/26/9574.php>.
- SAS Institute. 1985. SAS Introductory Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. NC: SAS Institute.

- Soto, R. 1999. Uso de Antioxidantes en Productos Fritos Influencia Genética y Nutritional en la Calidad de la Carne de Cerdo (en línea). Consultado el 5 oct. 2004. Disponible en:
<http://www.ag.uiuc.edu/~asala/espanol/profiles/NOTMar99.htm>
- USDA. 2002. USDA Monthly Reports. Consultado el 20 sep. 2004. Disponible en:
<http://www.ag.uiuc.edu/~asala/english/market/UEAug02.htm>

8. ANEXOS

Anexo 1. Determinación de humedad (H), materia seca (MS), materia orgánica (MO) y cenizas (Cz) de la linaza.

1. Pre-secar crisoles de porcelana en horno a 105°C durante 12 horas.
2. Enfriar los crisoles en el desecador por una hora.
3. Registrar el número y peso del crisol.
4. Pesar aproximadamente 1 g de muestra en cada crisol. Registrar el peso del crisol más la muestra. Hacer por duplicado.
5. Secar en horno a 105°C por 24.
6. Enfriar los crisoles con la materia seca en el desecador por una hora y registrar el peso.
7. Incinerar crisoles con materia seca en la mufla a 580°C por un mínimo de 6 horas.
8. Enfriar crisoles en el desecador y registrar los pesos.
9. Cálculos:

Peso de muestra = (peso de crisol + muestra) – peso de crisol)

$$\%H = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{muestra}) - (\text{peso de crisol} + \text{materia seca})}{(\text{peso de muestra})} * 100$$

$$\%MS = 100 - \%H$$

$$\%Cz = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso de crisol})}{(\text{peso de muestra})} * 100$$

$$\%MO = \%MS - \%Cz$$

Anexo 2. Determinación de extracto etéreo (EE) de la linaza

1. Pesar alrededor de 1 g de muestra por duplicado, usando papel filtro corriente. Doblarlo y engrapar los extremos de modo que quede sellado y quepa en el dedal de alundum.
2. Pesar beakers de Goldfish con 3-4 perlitas de vidrio (pre-secados a 105°C y enfriados libres de humedad).
3. Colocar los paquetes de muestras en los dedales y soportes del extractor de grasa Goldfish.
4. Agregar alrededor de 30 ml de éter etílico a cada beaker y ajustarlos al condensador del extractor. Prender las hornillas y el agua del condensador. La velocidad de goteo del éter debe ser de 3-4 gotas por segundo y por un período de 6 horas.
5. Quitar la muestra y recuperar el éter. Secar los beaker con el extracto etéreo a 105°C por 6 horas. Enfriar y Pesar.
6. Cálculos:

$$\%EE = \frac{(\text{beaker} + EE) - (\text{peso de beaker}) * 100}{(\text{peso de muestra})}$$

Anexo 3. Preparación de muestras para determinar el índice de peróxidos en el aceite de linaza.

1. Pesar aproximadamente 5 g de aceite en un Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 30 ml de una mezcla cloroformo metanol 2:1.
3. Agregar 0.5 ml de solución de KI saturada.
4. Agitar alrededor de un minuto y agregar 30 ml de agua destilada.
5. Titular la muestra lentamente con la solución de tiosulfato de sodio 0.01 N agitando vigorosamente hasta que se pierda ligeramente el color amarillo.
6. Agregar 1 ml de solución de almidón y continuar la titulación agitando hasta perder el color violeta.
7. Cálculos:

Índice peróxido (meq peróxido/kg) = $S * N * 100 / g$ muestra

Anexo 4. Preparación de muestra y determinación del perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.

1. Tomar cuatro gotas de aceite y colocar en un tubo de ensayo, agregar 0.8 ml de hexano y 0.5 ml KOH
2. Agitar durante 8 min exactos en el vortex y dejar luego reposar por 10 min.
3. Tomar 0.3 ml de la fase nadante con hexano y diluir con 4 ml de hexano, agregar 1 g de sulfato de sodio, agitar y reposar nuevamente durante 10 min.
4. Inyectar 1 μ l de la muestra en un cromatógrafo de gases de acuerdo al método cromatográfico.

Anexo 5. Preparación de muestra de aceite y determinación del índice de TBA en el aceite de linaza.

Pesar 50 a 200 mg de muestra en un balón volumétrico de 25 ml.

Disolver la muestra con 5ml de 1-butanol y luego agregar 20 ml más de 1-butanol.

Transferir 5 ml de la solución de muestra a un tubo seco, añadirle 5 ml de TBA, tapar y agitar bien.

Poner el tubo en baño a 95°C durante 2 hrs, después remover el tubo y enfriar en agua corriente por 10 min hasta temperatura ambiente.

Medir la absorbancia de la muestra en espectrofotómetro a 530 nm.

Usar agua destilada en el tubo de referencia como blanco.

Cálculos:

$$\text{Índice de TBA} = 50 * \frac{(\text{absorbancia de la muestra} - \text{absorbancia del blanco})}{(\text{peso de muestra})}$$

$$\text{Absorbancia} = 2 - \log.(\text{transmitancia})$$

Anexo 6. Actividad de agua de la linaza y de su aceite.

Alimentos	A_w	Temperatura
Semilla de lino	0.631	26.3°C
Aceite de linaza	0.678	26.1°C

Anexo 7. Cromatógrafo del aceite de linaza.

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ESTERES\M1579918.D

Sample Name: Aceite de linaza

Muestra #3; aceite de linaza; Patrick Vilus; 5 de Julio del 2004; determinación de ácidos grasos.

Injection Date : 07/07/04 12:29:08 p.m.

Sample Name : Aceite de linaza

Acq. Operador : Patrick Vilus

Location : Vial 1

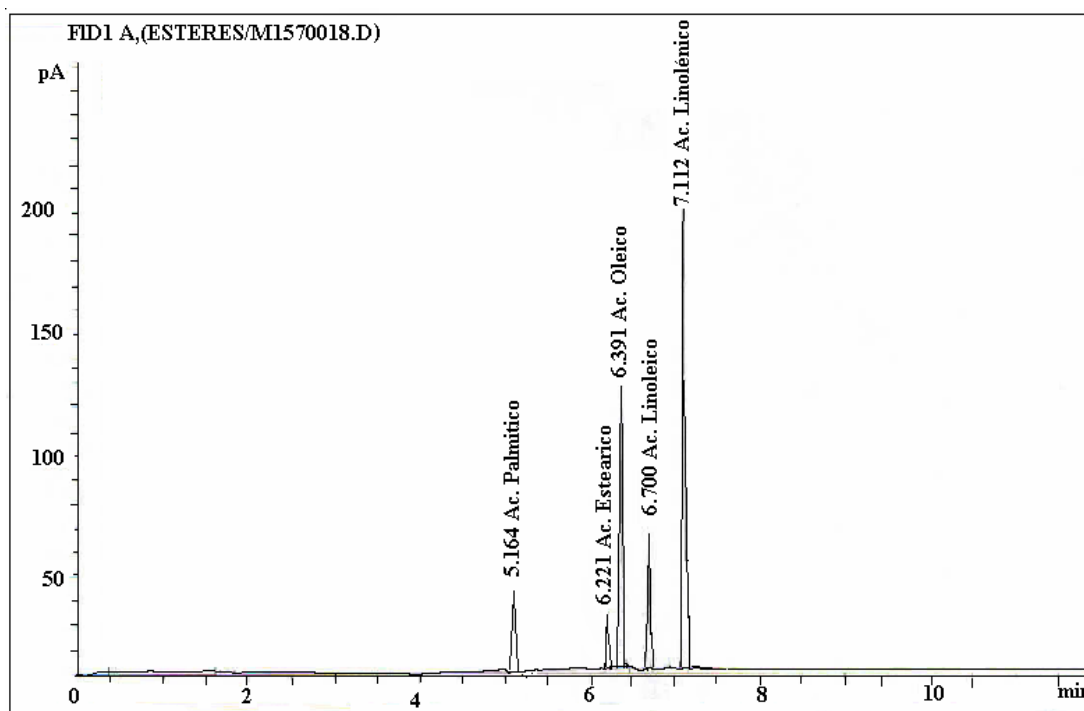
Inj : 1

Inj Volume : Manually

Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\FAMES2.M

Last changes : 06/07/04 06:57:59 a.m. by Patrick Vilus

Aceites



Area percent report

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Simple : 1.0000 [ng / ul] (not used in calc.)

Signal 1: FID1 A,

Anexo 8. Análisis de varianza para el grado de acidez durante una semana.

The SAS System

03:16 Friday, September 2, 1999

The GLM Procedure

Dependent Variable: IA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.61685316	0.20561772	33.83	0.0027
Error	4	0.02430863	0.00607716		
Corrected Total	7	0.64116179			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	IA Mean
0.962087	3.656822	0.077956	2.131800

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TEMP	3	0.61685316	0.20561772	33.83	0.0027

The SAS System 03:16 Friday, August 27, 1999 3

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for IA

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error Mean Square	0.006077
Critical Value of t	2.77645
Least Significant Difference	0.2164

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	TEMP
A	2.52450	2	60°C
B	2.24400	2	45°C
C	1.96350	2	26°C
C	1.79520	2	4°C

Anexo 9. Análisis de varianza para el valor de peróxido durante las cinco semanas.

The SAS System 21:43 Friday, September 3, 2004

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance

Repeated Measures Level Information

Dependent Variable	s0	s1	s2	s3	s4
Level of ip	1	2	3	4	5

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

	DF = 14	s0	s1	s2	s3	s4
s0	1.000000	0.348414 0.2031	0.125685 0.6554	0.799543 0.0003	0.553593 0.0323	
s1	0.348414 0.2031	1.000000	0.666529 0.0067	0.167142 0.5516	-0.211625 0.4490	
s2	0.125685 0.6554	0.666529 0.0067	1.000000	0.104332 0.7114	-0.388754 0.1521	
s3	0.799543 0.0003	0.167142 0.5516	0.104332 0.7114	1.000000	0.690506 0.0044	
s4	0.553593 0.0323	-0.211625 0.4490	-0.388754 0.1521	0.690506 0.0044	1.000000	

t Tests (LSD)

S0	S1	S2	S3	S4
0.1418	0.0907	0.1024	0.2588	1.0361

Anexo 10. Análisis de varianza para el valor de TBA durante las cinco semanas.

The SAS System 22:27 Friday, September 3, 2004

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance

Repeated Measures Level Information

Dependent Variable	s0	s1	s2	s3	s4
Level of tba	1	2	3	4	5

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

DF = 14	s0	s1	s2	s3	s4
s0	1.000000	0.348414 0.2031	0.125685 0.6554	0.799543 0.0003	0.553593 0.0323
s1	0.348414 0.2031	1.000000	0.666529 0.0067	0.167142 0.5516	-0.211625 0.4490
s2	0.125685 0.6554	0.666529 0.0067	1.000000	0.104332 0.7114	-0.388754 0.1521
s3	0.799543 0.0003	0.167142 0.5516	0.104332 0.7114	1.000000	0.690506 0.0044
s4	0.553593 0.0323	-0.211625 0.4490	-0.388754 0.1521	0.690506 0.0044	1.000000

t Tests (LSD)

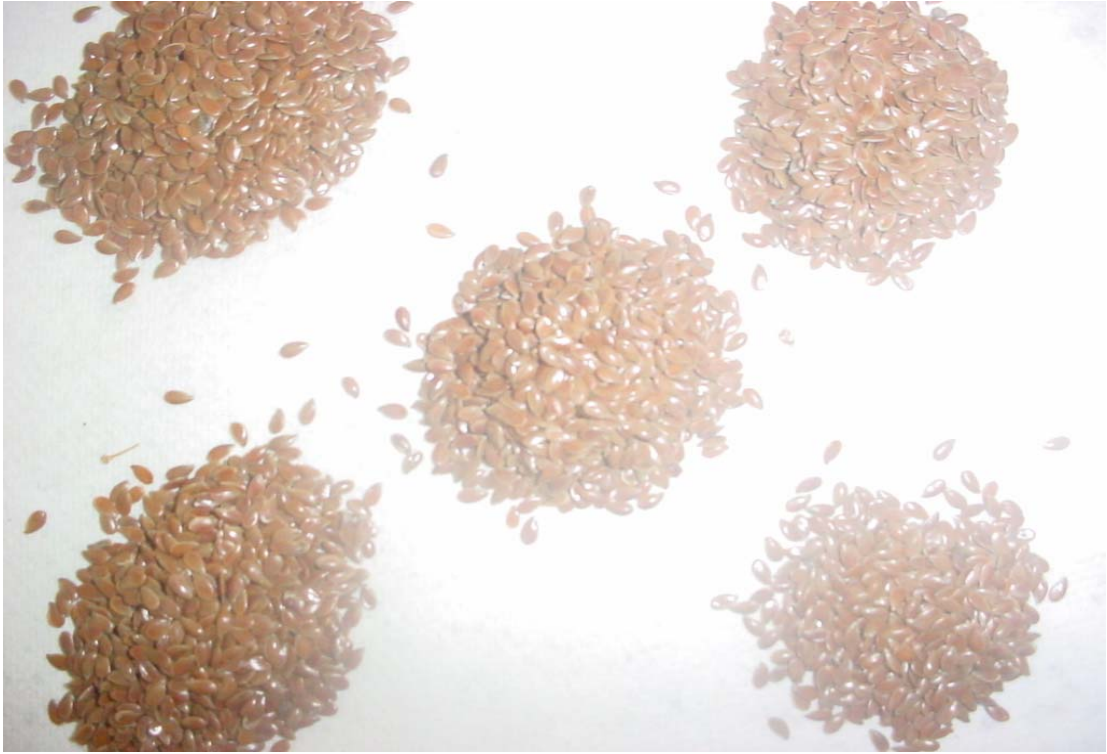
S0	S1	S2	S3	S4
0.0207	0.0265	0.0387	0.0792	0.0627

Anexo 11. Instrumental para cromatografía de gases.

La figura 3 representa el esquema de un sistema para cromatografía de gases. Las partes básicas son:

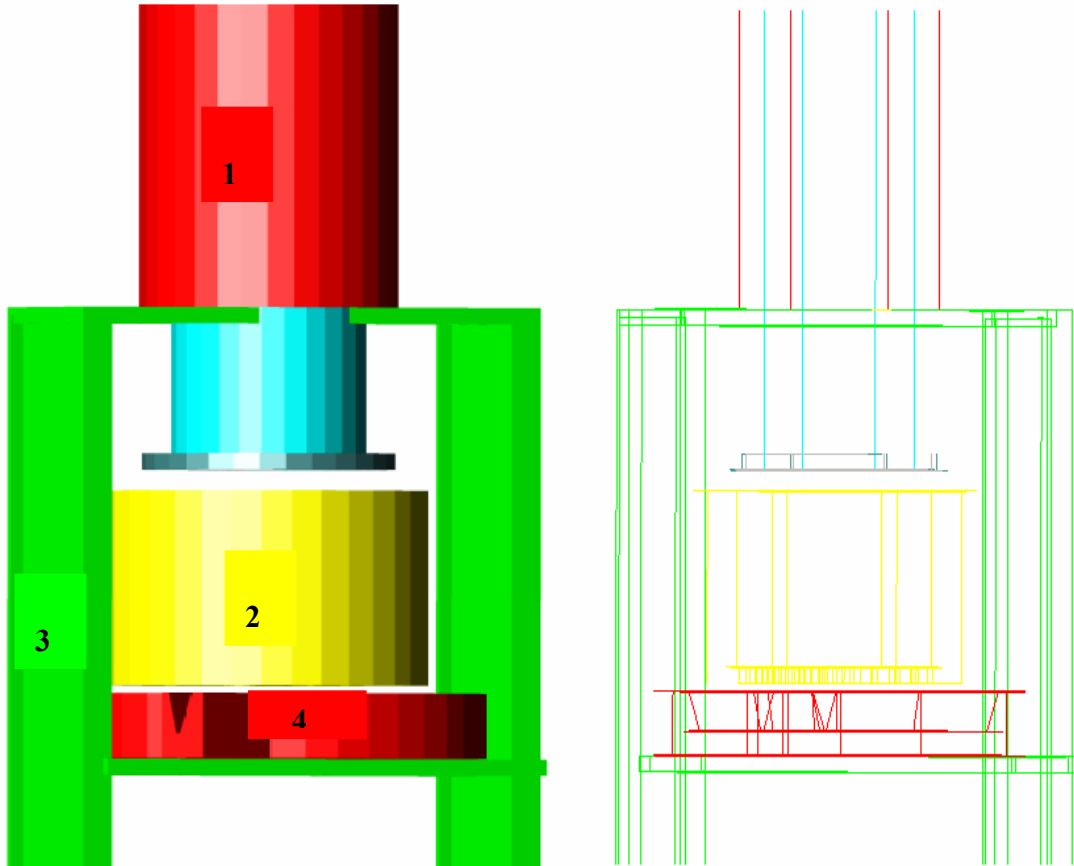
1. Cilindro de gas portador
2. Control del caudal de gas
3. Entrada de la muestra
4. Termostato de la columna
5. Columna
6. Detector
7. Registro

Anexo 12. La linaza antes de la extracción del aceite.



Anexo 13. La linaza después de la extracción del aceite.



Anexo14. Diseño de un prototipo de prensa para extraer aceite de linaza.

Las diferentes partes de la maquina son:

1. La prensa hidráulica
2. Recipiente
3. Soporte
4. Recolector de aceite