

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E. A. P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

TÍTULO:

**CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE DE
CASTAÑA (*Bertholletia Excelsa*) MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS.**

PERSONAL INVESTIGADOR:

- Domínguez Alba Alejandro Paul
- Jimenez Gonzales Dina Liliana

ASESOR:

- Dr. Gilbert Rodríguez Paucar

NUEVO CHIMBOTE - PERU

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR

El presente trabajo de este título: “**CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE DE CASTAÑA (*Bertholletia Excelsa*) MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS**”. Ha contado con el asesoramiento que quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de Asesor-Designado por Resolución Decanatural N° 764-2014-UNS-FI.

DR. GILBERT RODRÍGUEZ PAUCAR
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



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

**“CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE
DE CASTAÑA (*Bertholletia Excelsa*) MEDIANTE PRUEBAS
ACELERADAS”**

TESISTAS

Bach. Domínguez Alba Alejandro Paul

Bach. Jimenez Gonzales Dina Liliana

Revisado y Aprobado el día 08 de Febrero de 2017, por el siguiente Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Decanatural N° 279-2016-UNS-CCFI:

**DR. VÍCTOR CASTRO ZA VALETA
PRESIDENTE**

**DR. GILBERT RODRÍGUEZ PAUCAR
SECRETARIO**

**ING. ROGGER ROMERO USQUIANO
INTEGRANTE**

DEDICATORIA

A mi madre, por su apoyo infinito en mis años de estudio, por ser motivo de superación y por enseñarme a no rendirme. Gracias por creer en mí.

Jimenez Gonzales Liliana

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y fortaleza, por formar parte de cada momento y paso que doy. Por permitirme cada día avanzar en la realización de mis sueños y metas. Gracias a su amor y bondad infinita.

A mis padres, por ser mi razón de superación, por el amor y por el apoyo incondicional. Por sus consejos, valores y principios impartidos, por hacer de mí, una persona de bien.

A mi hermana gemela, por ser ejemplo de valentía y lucha constante, por enseñarme que con dedicación y esfuerzo las cosas son posibles. A mis hermanos por ser símbolo de esfuerzo, trabajo y respeto.

A mis sobrinos, porque me enseñan a seguir soñando en un futuro mejor, por la ternura y alegría de cada momento.

A mis profesores por compartir sus conocimientos, vivencias y experiencias que influenciaron en mi formación profesional.

A mi asesor de Tesis, Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la presente investigación.

A mi compañero de Tesis, Domínguez Alba Alejandro, por su dedicación, esfuerzo y empeño en la realización de la presente investigación, quien sin su invaluable apoyo no hubiese sido posible la culminación de esta investigación.

A mi persona favorita, por ser un eje principal en mi vida para la realización de mis sueños, proyectos y anhelos. Gracias por acompañarme en este camino.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Jimenez Gonzales Liliana.

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional en mis años de estudio, por ser motivo de superación y por enseñarme a no rendirme. Gracias por creer en mí.

Domínguez Alba Alejandro Paul

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y fortaleza, por formar parte de cada momento y paso que doy. Por permitirme cada día avanzar en la realización de mis sueños y metas. Gracias a su amor y bondad infinita.

A mis padres, por el apoyo incondicional. Por sus consejos, valores y principios impartidos, por hacer de mí, una persona de bien.

A mis hermanos por ser símbolo de esfuerzo, trabajo y respeto.

A mis profesores por compartir sus conocimientos, vivencias y experiencias que influenciaron en mi formación profesional.

A mi asesor de Tesis, Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la presente investigación.

A mi compañera de Tesis, Jimenez Gonzales Liliana, por su dedicación, esfuerzo y empeño en la realización de la presente investigación, quien sin su invaluable apoyo no hubiese sido posible la culminación de esta investigación.

A mi compañera, Ing. Diana Cortez Ibañez, por su apoyo en la ejecución del presente trabajo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Domínguez Alba Alejandro Paul.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
	2.1. Los lípidos.....	3
	2.2. Los aceites.....	3
	2.3. Aceites vegetales.....	3
	2.3.1. Aceite de castaña	4
	2.4. Producción de aceites vegetales	8
	2.4.1. Comercio internacional de aceites vegetales.....	10
	2.5. Composición de los aceites vegetales.....	13
	2.5.1. Componentes mayoritarios	13
	2.5.1.1. Los ácidos grasos.....	14
	2.5.1.2. Los ácidos grasos esenciales.....	15
	2.5.2. Componentes minoritarios	19
	2.5.2.1. Esteroles.....	19
	2.5.2.2. Tocoferoles.....	20
	2.5.2.3. Carotenoides.....	21
	2.6. Propiedades Antioxidantes de los componentes minoritarios de los Aceites Vegetales	22
	2.6.1. Principales mecanismos de acción de los antioxidantes.....	23
	2.7. Los aceites vegetales en la salud humana.....	24
	2.8. Extracción de aceite de semillas oleaginosas.....	26
	2.8.1. Extracción por prensado.....	26
	2.8.2. Extracción con disolventes.....	27
	2.9. Oxidación de los aceites.....	28
	2.9.1. Iniciación.....	29
	2.9.2. Propagación.....	30
	2.9.3. Terminación.....	31
	2.10. Vida útil.....	32

2.11. Método Rancimat.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Lugar de ejecución.....	37
3.2. Insumos y reactivos.....	37
3.3. Equipos y materiales.....	42
3.4. Métodos.....	46
3.4.1. Limpieza.....	47
3.4.2. Trozado.....	47
3.4.3. Prensado.....	47
3.4.4. Envasado.....	48
3.4.5. Centrifugación.....	49
3.4.6. Envasado y almacenamiento.....	49
3.4.7. Caracterización.....	50
3.4.8. Pruebas aceleradas con Rancimat.....	50
3.5. Metodología de los Análisis.....	51
3.5.1. Perfil de ácidos grasos por Cromatografía de Gases.....	51
3.5.2. Índice de Peróxido.....	51
3.5.3. Índice de acidez.....	52
3.5.4. Índice de yodo.....	52
3.5.5. Índice de anisidina.....	54
3.6. Procedimiento experimental.....	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	56
4.1. Caracterización del aceite obtenido.....	56
4.2. Estimación de la vida útil del aceite	58
4.2.1. Tiempo de inducción a diferentes temperaturas y flujos de aire...	58
4.2.2. Estimación de Vida Útil.....	59
4.3. Determinación de la Energía de Activación (Ea).....	60
4.4. Resultados del aceite oxidado.....	61
4.4.1. Índice de Anisidina	61

4.4.2. Perfil de ácidos grasos.....	62
4.5. Análisis Estadístico.....	66
V. CONCLUSIONES.....	68
VI. RECOMENDACIONES.....	69
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	70
VIII. ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 01: Composición química de la castaña (<i>Bertholletia Excelsa</i>).....	6
TABLA 02: Contenido de ácidos grasos en Aceite de Castaña.....	8
TABLA 03: Proyección mundial de producción de aceite vegetal.....	9
TABLA 04: Producción de principales productos agroindustriales; año 2002-2010.....	12
TABLA 05: Clasificación y contenido de ácidos grasos en aceites vegetales.....	19
TABLA 06: Ácidos grasos en lípidos de alimentos.....	25
TABLA 07: Caracterización química del aceite de castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	57
TABLA 08: Composición en ácidos grasos del aceite de castaña.....	57
TABLA 09: Tiempo de inducción (horas) del aceite de <i>Bertholletia Excelsa</i>	58
TABLA 10: Tiempo de vida útil del aceite según temperatura y flujo de aire.....	60
TABLA 11: Índice de Anisidina del aceite oxidado.....	61
TABLA 12: Perfil de ácidos grasos de aceites oxidados.....	63
TABLA 13 Variación % de los ácidos grasos del aceite al ser sometidos al Método Rancima	64
TABLA 14: Análisis de Varianza para el TIEMPO DE INDUCCION (h).....	66
TABLA 15: Análisis de Varianza para IAN.....	67
TABLA 16: Resultados de Tiempo de inducción.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01: Comparación de las tasas de crecimiento anual promedio del aceite vegetal..	11
FIGURA 02: Participación de exportaciones de aceite vegetal en 2022.....	12
FIGURA 03: Triacilglicérido.....	14
FIGURA 04: Molécula de un ácido esteárico, un ácido graso saturado.....	14
FIGURA 05: Molécula de Campesterol.....	20
FIGURA 06: Moléculas de tocoferoles.....	20
FIGURA 07: Estructura química del Retinol.....	21
FIGURA 08: Consecuencias de los RL en la salud.....	22
FIGURA 09: Mecanismo SET de un antioxidante.....	23
FIGURA 10: Procedimiento de extracción de aceite por prensado en frío.....	27
FIGURA 11: Procedimiento de extracción de aceite con disolventes.....	28
FIGURA 12: Formación de un radical libre.....	30
FIGURA 13: Formación de un hidroperóxido.....	30
FIGURA 14: Formación de compuestos estables.....	31
FIGURA 15: Etapas de la oxidación lipídica.....	31
FIGURA 16: Partes del método y equipo Rancimat.....	34
FIGURA 17: Tiempo de inducción de una muestra oleosa.....	35
FIGURA 18: Tiempo de inducción de almendras, maní, papas fritas, bollos, galletas de mantequilla, papas a la francesa, y fideos instantáneos.....	36
FIGURA 19: Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>)	38
FIGURA 20: Isooctano.....	38
FIGURA 21: Muestra de Anisidina.....	38
FIGURA 22: Ácido Acético Glacial.....	39
FIGURA 23: Alcohol etílico al 96% de pureza.....	39
FIGURA 24: Fenolftaleína.....	39
FIGURA 25: Hidróxido de sodio anhidro, solución de NaOH.....	40
FIGURA 26: Cloroformo	40
FIGURA 27: Solución de Ioduro de Potasio saturado.....	40
FIGURA 28: Tiosulfato de sodio 0.01N, tiosulfato de sodio 0.1N.....	41
FIGURA 29: Solución de almidón a concentración 1%.....	41

FIGURA 30: Botella de reactivo Wijs.....	41
FIGURA 31: Solución de Ioduro de potasio al 15%.....	42
FIGURA 32: Expeller semi industrial.....	42
FIGURA 33: Rancimat Metrohm 743.....	43
FIGURA 34: Balanza analítica PRECISA modelo 321.....	43
FIGURA 35: Refractómetro RUDOLPH modelo A24051-CC J-157.....	44
FIGURA 36: Densímetro RUDOLPH Research Analytical DDM2911.....	44
FIGURA 37: Espectrofotómetro UV visible marca JASCO V-670, JASCO LSE-701.....	44
FIGURA 38: Agitador BOECO Vortex V Plus.....	45
FIGURA 39: Baño María.....	45
FIGURA 40: Frascos de color ámbar.....	45
FIGURA 41: Limpieza de las semillas de castaña (<i>Bertholletia Excelsa</i>)	46
FIGURA 42: Trozado de las semillas mediante uso de cuchillos.....	47
FIGURA 43: Semillas cortadas.....	47
FIGURA 44: Prensado de las castañas mediante el Expeller.....	48
FIGURA 45: Envasado del aceite proveniente del prensado.....	48
FIGURA 46: Aceite en envase listo para centrifugar.....	49
FIGURA 47: Envasado y adición de nitrógeno al aceite centrifugado.....	49
FIGURA 48: Almacenamiento del aceite de castaña, en refrigeración.....	50
FIGURA 49: Análisis de densidad del aceite.....	50
FIGURA 50: Diseño experimental para la determinación del tiempo de inducción del aceite de castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	55
FIGURA 51: IAN de aceites oxidados.....	62
FIGURA 52: Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 10 L/h.	65
FIGURA 53: Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 15 L/h.	65
FIGURA 54: Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 20 L/h.	66
FIGURA 55: Perfil de ácidos grasos del aceite virgen de castaña.....	77

FIGURA 56: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	78
FIGURA 57: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	78
FIGURA 58: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	79
FIGURA 59: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	79
FIGURA 60: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	80
FIGURA 61: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	80
FIGURA 62: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	81
FIGURA 63: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	81
FIGURA 64: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	82
FIGURA 65: Determinación de vida útil a 23 °C y 10 L/h, por extrapolación.....	83
FIGURA 66: Determinación de vida útil a 23 °C y 10 L/h, por extrapolación.....	83
FIGURA 67: Determinación de vida útil a 23 °C y 20 L/h, por extrapolación.....	84
FIGURA 68: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	88
FIGURA 69: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	88
FIGURA 70: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	89
FIGURA 71: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	89
FIGURA 72: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	90

FIGURA 73: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	90
FIGURA 74: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire.....	91
FIGURA 75: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire.....	91
FIGURA 76: Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01: Perfil de ácidos grasos del aceite de castaña.....	77
ANEXO 02: Tiempo de inducción de muestras de aceite (10 l/h).....	78
ANEXO 03: Tiempo de inducción de muestras de aceite (15 l/h).....	79
ANEXO 04: Tiempo de inducción de muestras de aceite (20 l/h).....	81
ANEXO 05: Estimación de vida útil por extrapolación.....	83
ANEXO 06: Determinación de la energía de activación a partir de la ecuación de Arrhenius	85
ANEXO 07: Perfil de ácidos grasos de aceite oxidado (después de Rancimat).....	88

RESUMEN

Bertholletia excelsa (nuez de Brasil), es un árbol nativo de la amazonia sudamericana. Sus frutos son conocidos como “castaña”, el cual es uno de los productos forestales no maderables más importantes de Bolivia y parte de la selva de Perú y Brasil. Por ello que es necesario conocer la composición química de dicho producto oleo además de su conservación a través del tiempo.

La caracterización química del aceite se realizó mediante un análisis por Cromatografía de Gases para determinar la composición de ácidos grasos, además de análisis estandarizados para la acidez, índice de yodo y anisidina; en cuanto a la caracterización física se usó un refractómetro y un densímetro para sus análisis correspondientes. La vida útil se determinó mediante el método Rancimat.

Los resultados obtenidos durante la caracterización mostraron una composición de ácidos grasos de 14.39% en Acido Palmítico, 9.25% en Acido Esteárico, 33.94% en Ácido Oleico y 42.41% en Ácido Linoleico, mostró una Acidez de 0.1358%, Índice de yodo de 93.877, Índice de refracción de 1.471, y una Densidad de 0.9105 g/cm³. Además, mostró una vida útil promedio de 153 días, bajo condiciones ambientales.

ABSTRACT

Bertholletia excelsa (Brazil nut), is a tree native of the South American Amazon. Its fruits are known as "chestnut", which is one of the most important non-timber forest products from Bolivia and part of the jungle of Peru and Brazil. Therefore it is necessary to know the chemical composition of the oil product, in also to its shelf life.

The chemical characterization of the oil was through an analysis by gas chromatography, to determine the fatty acid composition, also standardized analysis for acidity, iodine index and anisidine index; to the physical characterization refractometer and a densimeter for their corresponding analysis it was used. Shelf life was determined by the Rancimat method

The results obtained during characterization showed a fatty acid composition of 14.39% in palmitic acid, 9.25% in stearic acid, 33.94% of oleic acid and 42.41% in linoleic acid, showed an acidity of 0.1358%, iodine index of 93 877, Refractive index of 1.471, and a density of 0.9105 g / cm³. Also showed an average shelf life of 153 days under ambient conditions.

I. INTRODUCCIÓN

La nuez de Brasil contiene más de un 66.2% de grasas que se enrancian con cierta facilidad, constituidas en una proporción de hasta 25% por ácidos grasos saturados. Las nueces de Brasil son ricas en proteínas (14.3%), vitamina E y en minerales (fósforo, magnesio, calcio y hierro). Pero su propiedad dietética más importante es su elevado contenido de vitamina B1, esto las hace muy recomendables en caso de trastornos nerviosos, como irritabilidad, depresión, pérdida de memoria y falta de concentración o rendimiento intelectual. (Pamplona, 2006).

El aceite de nuez de Brasil tiene propiedades antioxidantes por su composición rica en omegas y selenio. Los análisis sobre su composición han determinado que es un aceite muy rico en ácido linoleico (omega 6), ácido oleico (omega 9), tocoferoles (vitamina E), fosfolípidos y esteroides. Evita la formación de coágulos en las arterias, que son los responsables de disminuir la fluidez de la sangre.

Nutricionalmente, las nueces de Brasil son una buena fuente de vitaminas y minerales. Una taza o 133 gramos contienen vitaminas como tiamina en 0,8 mg-55% VD (cantidad de ingesta diaria recomendada para una dieta de 2000 Kcal) y vitamina E en 7,6 mg-38% VD (cantidad de ingesta diaria recomendada para una dieta de 2000 Kcal), minerales como calcio en 213 mg, 21% VD (cantidad de ingesta diaria recomendada para una dieta de 2000 Kcal), magnesio en 500 mg, 125% VD (cantidad de ingesta diaria recomendada para una dieta de 2000 Kcal), fósforo en 946 mg-96% VD, cobre en 2,3 mg-116% VD y manganeso en 1,6 mg-81% VD y son, quizás, la más rica fuente dietética de selenio. Investigaciones recientes sugieren que una buena ingesta de selenio se relaciona con un menor riesgo de cáncer de mama y cáncer de próstata.

Las nueces de Brasil tienen una de las mayores concentraciones de ácido fólico. Las propiedades de absorción de metales pueden prevenir el cáncer de colon por reducción del estrés oxidativo en el lumen del tracto intestinal. Los

investigadores ahora creen que el ácido fólico es el ingrediente principal responsable de la prevención del cáncer de colon y otros cánceres. Su alto contenido en selenio da excelentes propiedades antioxidantes

El método Rancimat mide la estabilidad oxidativa de aceites y grasas en condiciones aceleradas, basado en el tiempo de oxidación de la muestra por exposición a elevadas temperaturas y flujo de aire. De esta manera, permite estimar el tiempo de inducción o tiempo de estabilidad oxidativa, siendo este el momento a partir del cual la muestra ha superado el tiempo en el que permanece estable, y siendo por tanto indicativo de una pérdida de calidad y vida útil de la muestra (www.uam.es).

El objetivo de este trabajo es determinar el tiempo de vida útil del aceite de castaña a condiciones de ambiente, previa caracterización.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.Los lípidos

Los lípidos son un conjunto de moléculas orgánicas que están constituidas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida por oxígeno. También pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno. Debido a su estructura, son moléculas hidrófobas (insolubles en agua), pero son solubles en disolventes orgánicos como la bencina, el benceno y el cloroformo.

Los lípidos cumplen funciones diversas en los organismos vivientes, entre ellas la de reserva energética (como los triglicéridos), estructural (como los fosfolípidos de las bicapas) y reguladora (como las hormonas esteroides).

2.2.Los aceites

Los aceites son lípidos en estado líquido, la distinción genérica entre un aceite y una grasa es que los aceites son líquidos a temperatura ambiente, mientras que las grasas son sólidas. Por lo común los aceites son de origen vegetal de semillas oleaginosas y las grasas son de origen animal. Entre las de semillas oleaginosas encontramos a la soya, algodón, la oliva, ajonjolí, la castaña, este último es motivo de esta investigación.

2.3.Aceites vegetales

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Los aceites vegetales se extraen de semillas oleaginosas, por ejemplo soya, colza, girasol o algodón, o bien de las partes blandas de algunos frutos, como el aceite de palma y el de oliva (CFC Naciones Unidas, 2004). Los aceites vegetales están compuestos por lípidos, es decir, ácidos grasos, ya sean saturados o insaturados. La proporción de estos ácidos grasos y sus diferentes

características, son las que confieren las diferentes propiedades a los distintos aceites vegetales que se pueden encontrar.

Los aceites vegetales, extraídos de las semillas oleaginosas y nueces, se utilizan principalmente como aceites comestibles. El color amarillo rojizo, se debe a la presencia de diversos pigmentos carotenoides (Vega, 2004).

El estado habitual de los aceites vegetales es líquido a temperatura ambiente, a diferencia de las grasas que son sólidos a esta temperatura, esto se debe a que estas últimas tienen mayor contenido de ácidos grasos saturados.

Del grupo de estos aceites, se diferencian los aceites saturados e insaturados, estos últimos en monoinsaturados o poliinsaturados, todo esto depende de la estructura de los ácidos grasos que componen estos aceites. El ácido graso monoinsaturado más utilizado en la gastronomía y en nuestra alimentación, es el oleico, el cual lo podemos encontrar en el aceite de oliva, aunque los aceites de colza o maní también pertenecen a este grupo.

2.3.1. Aceite de castaña

La castaña (*Bertholletia excelsa*), también llamada Nuez de Brasil, Nuez de Para, Castaña de Brasil, Castaña de los Andes; es un árbol nativo de Sudamérica, distribuida en la selva amazonia que incluye a Bolivia, Brasil, Colombia, Perú, Guyana y Venezuela (Sotero et al, 2011).

En el Perú, la producción se localiza en el departamento de Madre de Dios en el sudeste del país. (FAO, 2007, p.83). En el año 2011 la exportación de la castaña llegó a los 28 US\$ millones y hasta junio del 2014 llegó a los US\$ 10.2 millones (www.siicex.gob.pe).

Denominaciones:

- Inglaterra : Brazilnut Tree, Paranut Tree.
Francia : Noix du Bresil, Chataigne du Bresil, Amande du Pará.
Alemania : Brasilnussbaurn, Paranussbaum.
Italia : Castagna del Brasile.
Portugal : Castanha do Brasil, Castanha do Pará, Erai, Juvia, Touca, Yuvia.
Otras : Coquito del Pará, Almendron, Avellano de Brasil, Nuez Americana.

La importancia de la castaña no solo radica en su aporte a la economía, sino por su componente ecológico en la preservación de la amazonia, ya que su explotación permite frenar la depredación de los bosques.

Nombre (*Clasificación científica*)

- Reino : Plantae
Subreino: Tracheobionta
División: Magnoliphyta
Clase : Magnoliopsida
Subclase: Dilleniidae
Orden : Ericales
Familia : Lecythidacea
Género : Bertholletia
Especie : Bertholletia excelsa

TABLA 01Composición química de la castaña (*Bertholletia Excelsa*)

Composición por 100 gr de parte comestible cruda	
Energía	703 Kcal
Proteínas	14.3 g
Carbohidratos	12.2 g
De los cuales azucares	2.3 g
Lípidos	66.2 g
De los cuales saturadas	15.1 g
De las cuales monoinsaturadas	24.5 g
De las cuales poliinsaturadas	20.6 g
Vitamina B1	1. mg
Vitamina B2	0.122 mg
Niacina	5.96 mg
Vitamina B6	0.251 mg
Vitamina C	0.70 mg
Vitamina E	7.60 mg
Colesterol	0.0 mg
Fibra	7.1 g
Sodio	2.0 g
Hierro	3.4 mg
Fósforo	725 mg
Magnesio	376 mg
Calcio	176 mg
Potasio	600 mg
Zinc	4.59 mg
Selenio	1300 mg

Nota: Adaptado de Pamplona, J. (2006) Salud por los Alimentos. España

La castaña es uno de los pocos productos con altos valores en selenio (Se), con hasta 512 ppm, la presencia de selenio en la dieta ha sido asociada con la protección contra el desarrollo de tumores en estudios realizados con animales de laboratorio (Sotero et al, 2011).

El aceite de obtiene de los frutos, es rico en grasas insaturadas, que tienen tendencia a reducir el nivel de colesterol en la sangre. La castaña contiene aproximadamente 67% de oleo en el estado de madurez óptima de la semilla. El aceite de castaña es rico en omega 6 y vitamina E, se caracteriza por su agradable sabor, contiene 46% de omega 6 y 30% de omega 9, además de calcio, fósforo, potasio, selenio, magnesio, hierro, vitaminas C y B2 (AGECEX, 2009).

El aceite de castaña se utiliza para la alimentación y también como lubricante de relojes, para hacer pinturas y en la industria cosmética. El aceite de castaña se utiliza como emoliente en todo tipo de productos para el cuidado de la piel y el cabello (AGECEX, 2009).

El aceite de castaña presenta diversas características, en cuanto a sus propiedades químicas presenta un Índice de Acidez (IA) de 0.05 (+- 0.0), un Índice de Peróxidos de 1.96 (+- 0.26) (García et al, 2013), un Índice de Yodo (II) de 96.74 (+-1.03), según García et al, 2013, y 95.4 según Polakiewicz, 2001.

El producto oleo de la nuez de Brasil presenta cuatro principales ácidos grasos, el ácido linoleico (C-18:2) que varía de 36,1% a 41,1% de acuerdo a la castaña entera y 51.1% en base al total de materia oleosa según Limachi et al, 2009; 20.5% (Thomson, 2009); 31.499% (García et al, 2013); 37.8% para el aceite de castaña proveniente del estado de Pará (Brasil) según Polakiewicz et al, 2001; 35.48% (Rodrigues et al, 2005); 42.80% (Yang, 2009); también contiene el ácido oleico (C-18:1) que varía de 33,6% a 39,3%

de acuerdo a la castaña entera y 32,7% en base al total de materia oleosa según según Limachi et al, 2009; 24.2% (Thomson, 2009); 34.5% (Polakiewics et al, 2001); un 38.44% según Rodrigues et al, 2005; 29.09% (Yang, 2009); también presenta el ácido palmítico (C-16:0), con un 9.4% en la castaña de Bolivia según Limachi et al, 2009; 9.1% (Thomson, 2009), un 15.2 % en la castaña proveniente de Pará (Brasil) según Polakiewics et al, 2001; un 16.18% (Rodrigues et al, 2005); y 13.5% (Yang, 2009); y esta semilla también contiene el ácido esteárico (C-18:0) con 6,8% en la castaña de Pará (Brasil) según Polakiewics et al, 2001; un 9.85% (Rodrigues et al, 2005) y 11.77% según Yang, 2009.

TABLA 02

Contenido de ácidos grasos en Aceite de Castaña

	Ácidos Grasos			
	Palmítico C:16	Esteárico C:18	Oleico C:18:1	Linoleico C:18:2
NUEZ DE BRASIL	9.4 %	6.8 %	32.7 %	51.1 %

Nota: Tomado de Limachi, I et al. (2009)

2.4. Producción de aceites vegetales

En valores de las transacciones, los aceites vegetales y las semillas oleaginosas representan el segundo gran grupo de productos agrícolas en el comercio internacional, después de los cereales. Doce tipos de aceite vegetal- de soya, palma, almendra de palma, colza (canola), girasol, algodón, cacahuete (maní), coco, oliva, ricino, sésamo (ajonjolí) y lino se comercian internacionalmente. Los tipos más extendidos son los de soya, palma, colza y girasol que abastecen tres cuartas partes del consumo mundial de aceite. (CFC Naciones Unidas, 2004).

Entre 1994 y 2002, la producción mundial de aceites vegetales creció a un ritmo anual de aproximadamente 4.5%, hasta totalizar cerca de 100 millones de toneladas métricas. Corresponde a los aceites vegetales el 80% de la producción mundial de materias grasas. (CFC Naciones Unidas, 2004)

Varios factores influyen en el crecimiento sostenido de la demanda de aceites vegetales, entre otros está el incremento constante de la población de los países en desarrollo de mayor consumo, el desarrollo de la elaboración de productos alimenticios y los nuevos usos, como los biocombustibles.

El consumo de aceite de soya fue predominante desde los años 50, pero el aceite de palma ha registrado un crecimiento considerable en los últimos 25 años y hoy le iguala en difusión. (CFC Naciones Unidas, 2004)

TABLA 03

Proyección mundial de producción de aceite vegetal

Proyección mundial de producción de aceite vegetal según informe “Perspectivas agrícolas 2013/2022” de OCDE-FAO

Nota:

Periodo	En millones de toneladas
Promedio 2010/11/12	156.2
2013/2014	163.3
2014/2015	166.9
2015/2016	170.9
2016/2017	174.3
2017/2018	177.5
2018/2019	181.2
2019/2020	184.6
2020/2021	188.3
2021/2022	192.1
2022/2023	195.7

Adaptado de “Perspectivas Agrícolas. OCDE-FAO 2013/2022”. En la producción se computa la campaña comercial que se inicia el 1 de octubre

Se espera que la producción mundial de aceite vegetal, encabezada por los países en desarrollo, aumente más de 30% para 2020. Sin embargo, en términos de la tasa anual de crecimiento, la producción aminora el paso en comparación con la década anterior. En Malasia e Indonesia, la producción combinada de aceite de palma se expandirá de todos modos con casi 45%, con lo que aumentaran su participación en la producción mundial a 36%. Otras fuentes importantes esperadas de crecimiento de la producción de aceite vegetal son China, Argentina, la Unión Europea y Brasil. (OCDE/FAO, 2011)

El aumento anual promedio en el consumo mundial de aceite vegetal baja a 2.2% en comparación con el 5.3% de la década pasada. Con base en el ingreso *per cápita* y en el crecimiento de la población, China deberá permanecer como el mayor consumidor de aceite vegetal del mundo, seguido por la Unión Europea, India y Estados Unidos de América. (OCDE/FAO, 2011).

2.4.1. Comercio internacional de aceites vegetales

El comercio internacional de aceites vegetales se ve afectado por los mecanismos de ayuda a la agricultura en los países desarrollados, que ha dado lugar algunas veces a la creación de excedentes, con el consiguiente descenso de los precios. También los aranceles impuestos en muchos países a la importación de aceites vegetales y semillas oleaginosas son elevados (CFC Naciones Unidas, 2004).

Los países en desarrollo, en particular China y otras naciones asiáticas, deberán continuar dominando el aumento en el consumo de aceite vegetal (OCDE/FAO, 2011).

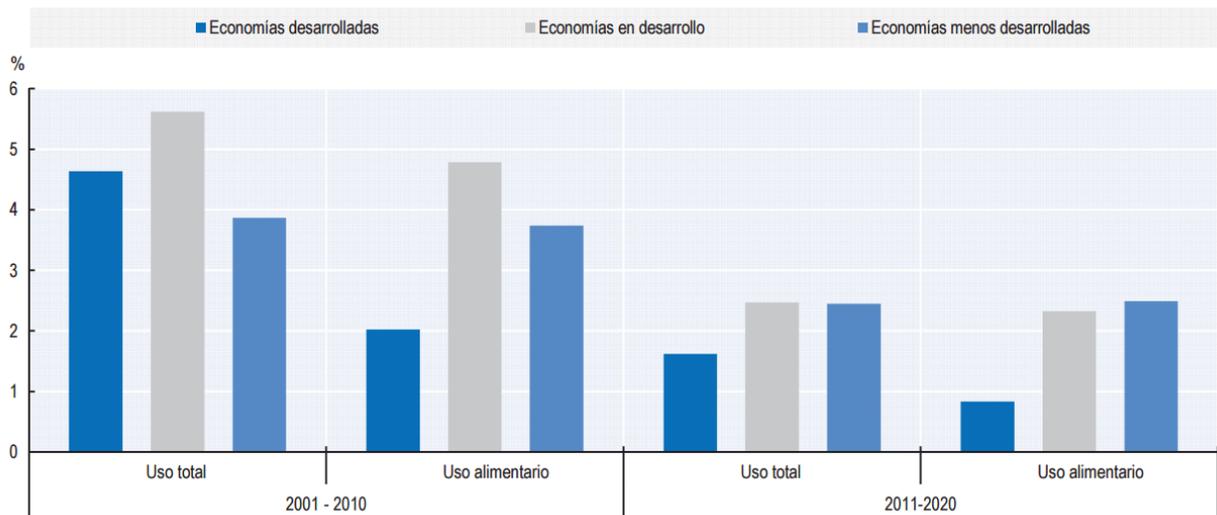


Figura 01. Comparación de las tasas de crecimiento anual promedio del aceite vegetal.

Fuente: Secretariados de la OCDE y la FAO

Nota: Los países en desarrollo dominaran en el aumento en el consumo de aceite vegetal

Los países en desarrollo de Asia, encabezados por India y China, deberán presentar casi 50% de las importaciones mundiales de aceite vegetal en 2020. En promedio, en las naciones en desarrollo de Asia, 45% del consumo provendrá de importaciones. En la Unión Europea, para cubrir la demanda de aceite vegetal industrial y tradicional, las importaciones deberán subir 42%, manteniéndose, así como el mayor importador del mundo. (OCDE/FAO, 2011).

Indonesia y Malasia continuaran representando casi dos terceras partes de las exportaciones totales de aceites vegetales durante la próxima década. Se espera que Argentina sea el tercer exportador más grande con una participación no menos de 10%. (OCDE/FAO, 2013).

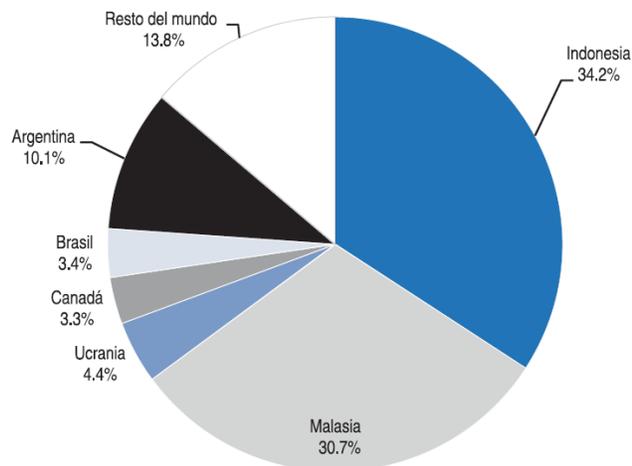


Figura 02. Participación de exportaciones de aceite vegetal en 2022
Fuente: Secretariado de la OCDE y la FAO

La producción de aceites vegetales en el Perú, no es ajena a la creciente producción y comercio de estos productos, ya que desde el 2002 hasta el presente año, la producción ha aumentado notoriamente.

TABLA 04
Producción de principales productos agroindustriales; año 2002-2010

Línea de producción/producto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Aceites y grasas comestibles									
Aceite compuesto	34.7	41.7	41.4	15.6	--	--	--	--	--
Aceite vegetal	137.1	142.4	143.3	171.1	202.0	204.2	188.1	205.0	240.6
Manteca	50.9	48.4	50.6	50.8	51.9	62.1	61.0	62.2	74.8
Margarina	13.2	12.6	11.4	16.2	16.4	16.4	16.7	18.1	21.9
Aceite esencial de limón	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3

Nota: Fuente: Adaptado de MINAG-Oficina de Estudios Económicos y estadísticos-Unidad de Estadística

2.5. Composición de los aceites vegetales

Los componentes de los aceites se pueden clasificar en componentes mayoritarios y los minoritarios. En los mayoritarios se encuentran los acilglicérols de donde vienen los ácidos grasos, y en los minoritarios encontramos por restantes como vitaminas o antioxidantes.

2.5.1. Componentes mayoritarios

Los acilglicéridos o acilglicérols 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. Las cadenas carbonadas de los ácidos que reaccionan con el glicerol, pueden ser saturadas o insaturadas.

Según el número de ácidos grasos que se unan a la molécula de glicerina, existen tres tipos de acilglicérols:

- Monoacilglicérols. Sólo existe un ácido graso unido a la molécula de glicerina. Son los precursores de los siguientes. Son componentes minoritarios de los tejidos que no se acumulan debido a que tienen un importante carácter detergente y pueden dañar las membranas biológicas.
- Diacilglicérols. La molécula de glicerina se une a dos ácidos grasos; son los precursores de los triglicéridos.
- Triacilglicérols. También se nombran triglicéridos, puesto que la glicerina está unida a tres ácidos grasos. Se los conoce también como grasas neutras. Se presentan en todo tipo de células, pero de forma particularmente abundante en los adipocitos y en las vacuolas de las células vegetales

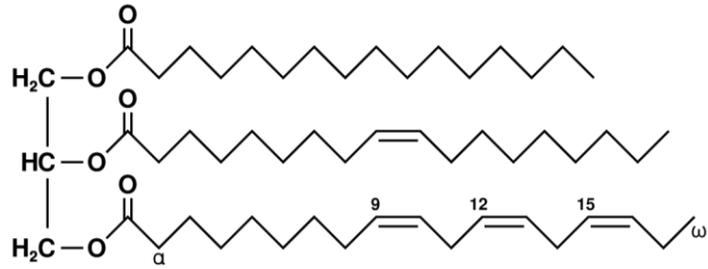


Figura 03. Triacilglicérido.

2.5.1.1. Los ácidos grasos

Un ácido graso es una biomolécula de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal, de diferente longitud o número de átomos de carbono, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo (son ácidos orgánicos de cadena larga). Cada átomo de carbono se une al siguiente y al precedente por medio de un enlace covalente sencillo o doble. Al átomo de su extremo le quedan libres tres enlaces que son ocupados por átomos de hidrógeno (H_3C-). Los demás átomos tienen libres los dos enlaces, que son ocupados igualmente por átomos de hidrógeno ($-CH_2-CH_2-CH_2-$). En el otro extremo de la molécula se encuentra el grupo carboxilo ($-COOH$) que es el que se combina con uno de los grupos hidroxilos ($-OH$) de la glicerina.

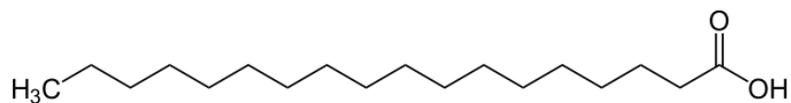


Figura 04: Molécula de un ácido esteárico, un ácido graso saturado.

1. 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.

2. 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 ($-\text{CH}=\text{CH}-$).
3. Ácidos grasos poliinsaturados: Los ácidos grasos poliinsaturados 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 ($\text{C}=\text{C}$). Al ser “insaturados” son capaces de fijar más hidrógeno

2.5.1.2. Los ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas largas (de 4 a 24 átomos de carbono) no ramificadas (Koolman y Rohm, 2004).

Los ácidos grasos esenciales son compuestos necesarios para ciertas funciones que el organismo no puede sintetizar, por lo que deben administrarse con la dieta (Koolman y Rohm, 2004). La esencialidad está dada porque los mamíferos carecen de las enzimas necesarias para insertar dobles enlaces en los átomos de carbono que están más allá del carbono 9 (Ronayne, 2000). Los únicos ácidos grasos esenciales para el ser humano son el α -linolénico (18:3 ω -3) y el linoleico (18:2 ω -6), ya que si estos dos ácidos grasos se suministran, el cuerpo humano puede sintetizar el resto de ácidos grasos que necesita.

Los ácidos grasos que se encuentran en los aceites que consumimos, pasan a través del metabolismo para ser convertidos en energía a través de una oxidación, o también almacenados en tejido adiposo.

Los ácidos grasos que no son oxidados ni almacenados en el tejido adiposo, se incorporan selectivamente en las membranas celulares. Allí pueden influir, directa o indirectamente, en muchas funciones celulares afectando la permeabilidad celular, las actividades de transporte y el comportamiento de enzimas asociadas a membranas y receptores que controlan la partición de metabolitos y señales (hormonas) entre las células y dentro de ellas (Ronayne, 2000).

Los ácidos palmíticos, oleicos y esteáricos son los ácidos grasos más comunes en los aceites vegetales, pero el grupo de ácidos grasos presentes en cantidad apreciable en los aceites vegetales comestibles, van desde el ácido octánico, el cual lo podemos encontrar en el aceite de coco en una concentración de 5 a 10%, hasta el ácido erúico que lo podemos encontrar en el aceite de colza con una concentración mayor del 50%.

Los aceites poliinsaturados contienen dos ácidos grasos esenciales (Pitchford, 2007), la insaturación de los ácidos grasos ocurre principalmente en los que cuentan con una cadena de 18 carbonos.

Actualmente se considera que la necesidad esencial de los ácidos grasos $\omega 6$ y $\omega 3$ en la nutrición se relaciona tanto con sus funciones como precursores de los eicosanoides, los cuales cumplen funciones en la integridad de la dermis, como precursor del factor activador de las plaquetas, desempeñan un papel estructural en el encéfalo y la retina (Ronayne, 2000).

La mayor parte de los ácidos grasos que se encuentran en las materias oleosas se esterifican con el glicerol para formar los glicéridos, sin embargo en algunos aceites y grasas podemos encontrar ácidos grasos libres que conllevan a una actividad enzimática excesiva. Los ácidos grasos libres (no esterificados) con los componentes secundarios que se deben eliminar para evitar que el aceite se deteriore

- **Omega 3**

Los ácidos grasos omega 3 son ácidos grasos esenciales poliinsaturados, de él derivan los ácidos eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) que se encuentran en los pescados de carne azul (Nasiff y Meriño, 2003), como la anchoa (1.4%), arenque (1.7%), salmón (1.4%), jurel, sardina (3.3%), atún, y en algunas fuentes vegetales como la perilla (50-60%), semillas de chía, sacha inchi (48%).

Se recomienda una dosis diaria de omega 3, entre 1.3 g y 2 g diarios, más exactamente 1.6 g para mujeres y 2 g para hombres (Dufour y Festy, 2007), ya que este ácido graso esencial ayuda a prevenir la diabetes por la producción de glucemia, la hipertensión arterial por el incremento de compliance arterial y producción de vasodilatadores, la hemostasia mediante una reducción de la actividad protrombotica del plasma (Nasiff y Meriño, 2003).

- **Omega 6**

Los ácidos grasos omega 6 son ácidos grasos esenciales poliinsaturados, los cuales los podemos encontrar en el aceite de cártamo (74%), aceite de girasol (66%), aceite de maíz (53%), aceite de soja (50%), aceite de canola (30%), según el Servicio de Datos Nacional de Nutrientes del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Estudios han encontrado que el consumo de omega 6, comparado con el omega 3, en niveles excesivos incrementa el riesgo de contraer diferentes enfermedades, por ello se estima que la proporción de ácidos grasos omega 6 y omega 3 en la dieta es de 20-25 a 1, sin embargo el omega 6 es beneficioso porque ayuda en

la función cerebral en las funciones de sinapsis de los tejidos neuronales, previene problemas cardiovasculares en la modulación de la contracción cardíaca, ayudan a prevenir la diabetes por resistencia de la insulina, también en la prevención de procesos cancerígenos (Coronado et al, 2006).

- **Omega 9**

Los ácidos grasos omega 9 con ácidos grasos monoinsaturados, que tienen efectos biológicos al interactuar con los ácidos grasos omega 3 y omega 6. A diferencia del omega 3 y omega 6, el omega 9 el cuerpo si lo puede fabricar, por lo tanto no es un ácido graso esencial, y se recomienda una dosis diaria de 1 ½ cucharadita de aceite de canola al día.

El omega 9 ayuda reduciendo el colesterol malo en la sangre, aumenta el colesterol bueno impidiendo la formación de placas ateromas en las paredes de las arterias, disminuye el riesgo de artritis reumatoidea, aumenta la cantidad de linfocitos. Podemos encontrar el omega 9 en el aceite de canola, el aceite de oliva, en frutos secos como almendras, maní, también en peces como trucha y sardina.

Los ácidos grasos ω 9 reducen la tendencia a la formación de trombos ya que aumentan el tiempo de sangría; disminuyen la segregación plaquetaria y aumentan la deformabilidad eritrocitaria. Una dieta excesivamente rica en ω 6 desplazaría el equilibrio fisiológico hacia un estado protrombotico, con aumento en la viscosidad sanguínea, vasoconstricción y disminución del tiempo de sangría (Ronayne, 2000).

TABLA 05*Clasificación y contenido de ácidos grasos en aceites vegetales.*

ACEITE	CONTENIDO DE ACEITE (% EN PESO)	PRINCIPAL ACIDO GRASO	CONTENIDO DEL PRINCIPAL ACIDO GRASO (% EN PESO)
Coco	65-68	Láurico	44-52
Palma	45-50	Palmítico	32-47
Oliva	15-40	Oleico	65-86
Maní	45-55	Oleico	42-72
Sésamo	44-54	Oleico	34-45
Soya	18-20	Linoleico	52-60
Algodón	15-24	Linoleico	40-55
Maíz	33-39	Oleico, linoleico	34-62
Girasol	22-36	Linoleico	58-67

Nota: Fuente: Encyclopedia of chemical technology, "Vegetable Oils", Kirk-Othmer. 1994

2.5.2. Componentes minoritarios

2.5.2.1. Esteroles

Los esteroles son lípidos insaponificables formados por alcoholes esteroides que contienen un hidroxilo en el carbono 3 del anillo A y una cadena ramificada de ocho o más átomos de C en el carbono 17 del anillo D. Son alcoholes cristalinos (del griego, "stereos", sólido), que incluyen varias moléculas C27-C30. Se encuentran en una cantidad apreciable en todos los tejidos animales y vegetales.

Los principales esteroles en aceites vegetales son los fitosteroles. Tienen la misma estructura básica que el colesterol, pero difieren en la cadena lateral unida al carbono 17 (habitualmente tiene 29 o 30 átomos de Carbono).

Los principales el beta-sitosterol (presente en todas las plantas con lípidos), el campesterol, estigmasterol.

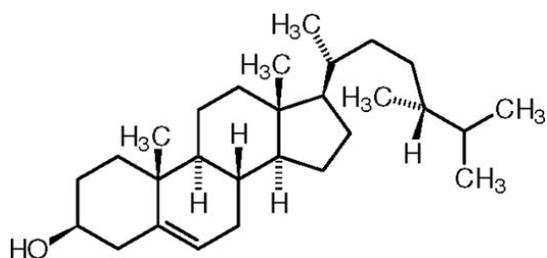


Figura 05. Molécula de Campesterol.

2.5.2.2. Tocoferoles

El tocoferol es el nombre de varios compuestos orgánicos conformados por varios fenoles metilados, que forman una clase de compuestos químicos llamados tocoferoles de los cuales varios actúan como Vitamina E.

Los tocoferoles son sustancias de gran poder antioxidante, previenen la oxidación de los ácidos grasos y, según varios estudios, de las lipoproteínas (LDL), reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer. Muchos aceites vegetales y los productos fabricados con ellos contienen concentraciones apreciables de vitamina E (tocoferoles), que también pueden perderse como consecuencia de algunos métodos de elaboración.

El α -tocoferol o vitamina E es una vitamina liposoluble que actúa como antioxidante a nivel de las membranas en las células (citoplasmática, del lisosoma, del retículo endoplasmático, etc.).

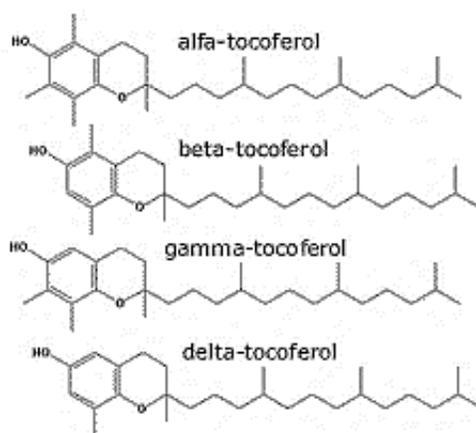


Figura 06. Moléculas de tocoferoles.

2.5.2.3. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos orgánicos del grupo de los isoprenoides que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. Se conoce la existencia de más de 700 compuestos pertenecientes a este grupo.

Los carotenoides son el grupo más representativo de los tetraterpenos, compuestos que se caracterizan por una estructura con 40 átomos de carbono, aunque no todos los carotenoides se ajustan estrictamente a esta regla. Estos átomos de carbono se encuentran ordenados formando cadenas poliénicas conjugadas en ocasiones terminadas en anillos de carbono. A los carotenoides que contienen átomos de oxígeno se les conoce más específicamente como xantofilas. Los restantes constituyen el grupo de los llamados carotenos. Su color, que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro, se encuentra directamente relacionado con su estructura: los enlaces dobles carbono-carbono interactúan entre sí en un proceso llamado conjugación.

La vitamina A (todo trans-retinol y retinoides), implicada en diferenciación de tejidos y en buena visión. Se encuentra principalmente en las mantecas y en la grasa de la mantequilla. Los retinoides están formados por 4 unidades de isoprenoides. Son inestables en presencia de luz y oxígeno.

Las margarinas, que se enriquecen con vitaminas A y D por exigencias legales en la mayoría de los países, también contribuyen de forma importante a asegurar una ingestión adecuada de estos nutrientes.

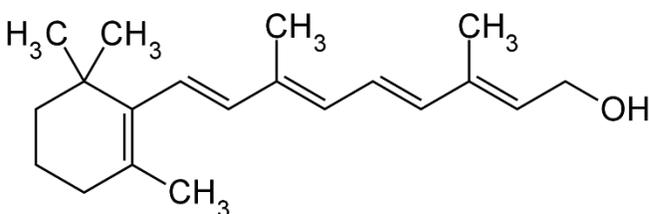


Figura 07. Estructura química del Retinol.

2.6. Propiedades Antioxidantes de los componentes minoritarios de los Aceites Vegetales

El envejecimiento por radicales libres se debe a la producción de estas moléculas cerca de las mitocondrias, con la consecuente lesión de ADN mitocondrial y la pérdida de la capacidad de regeneración. 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 acción del ozono, los pesticidas, las reacciones fotoquímicas, las radiaciones ionizantes o el estrés.

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.

En 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 aceites vírgenes son los responsables de la reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares.

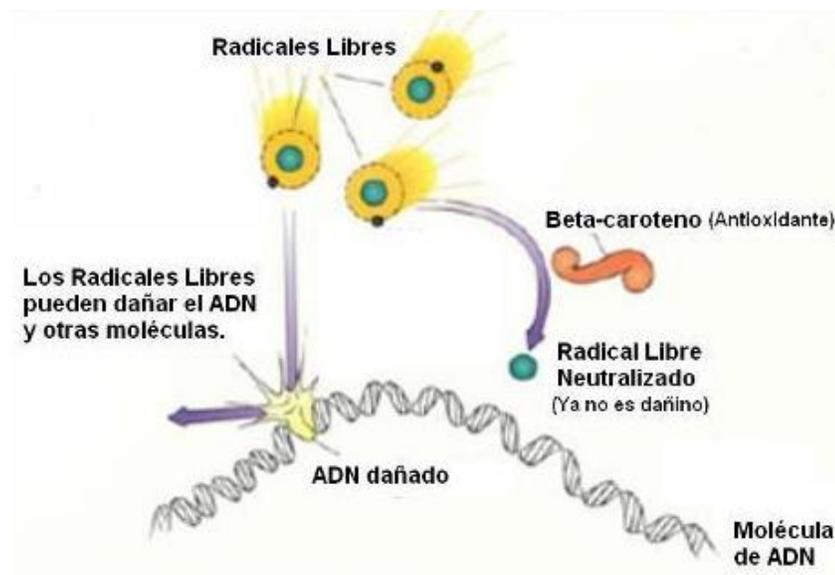


Figura 08. Consecuencias de los RL en la salud.

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.

2.6.1. Principales mecanismos de acción de los antioxidantes

Los antioxidantes pueden prevenir o retardar la oxidación de un sustrato biológico, y en algunos casos revertir el daño oxidativo de las moléculas afectadas.

- **Interacción directa con especies reactivas:** El mecanismo más conocido se refiere a la capacidad que tienen muchos antioxidantes para actuar como “estabilizadores o apagadores de diversas especies reactivas”, tal acción implica la estabilización de los radicales libres a través de la cesión de un electrón libre, tal mecanismo es definido como SET (single electron transfer), permite que el radical libre pierda su condición por “pareamiento” de su electrón desapareado.

Una consecuencia para el antioxidante es que, como resultado de ceder un electrón, este se convierte en un radical libre y termina oxidándose bajo una forma que es de baja o nula reactividad.

Mecanismo SET

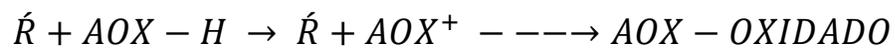


Figura 09. Mecanismo SET de un antioxidante.

- **Prevención de la formación enzimática de especies reactivas:** Algunos antioxidantes pueden actuar previniendo la formación de radicales libres, lo hacen inhibiendo, ya sea la síntesis o la actividad de enzimas pro-oxidantes involucradas en la generación de especies reactivas.

- **Prevención de la formación de especies reactivas dependiente de metales:** Un mecanismo que también implica la inhibición de la formación de especies reactivas se relaciona con contraponer la capacidad que tiene ciertos metales de transición, como hierro y cobre, para catalizar la formación de radicales superóxido a partir de la reducción de oxígeno a partir de peróxido de hidrogeno.
- **Activación o inducción de la actividad de enzimas antioxidantes:** El organismo sintetiza ciertas enzimas cuya función es remover especies reactivas. Estas defensas antioxidantes reducen radicales superóxido a peróxido de hidrogeno. Reducen peróxido de hidrogeno a agua, o reducen lipo-hidroperóxidos a sus alcoholes correspondientes.

2.7.Los aceites vegetales en la salud humana

Las grasas y aceites son las principales fuentes de energía de la dieta, pues son los productos alimenticios más concentrados (suministran unas 9.3 Kcal de energía por gramo). El consumo de aceites vegetales es recomendado por la ciencia médica debido a la acción positiva de estos frente a los problemas cardiovasculares. (Vega, 2004)

Los aceites comestibles de origen vegetal tienen efectos protectores frente al riesgo de padecer enfermedades crónicas, tales como la diabetes, la hipertensión, la obesidad, las patologías cardiovasculares o la tumorigenesis. Las propiedades saludables han sido relacionadas con algunos tipos de ácidos grasos incluidos en sus composiciones específicas (Gutiérrez, 2005).

Los aceites vegetales en su mayoría, nos proveen de dos ácidos grasos llamados *ácidos grasos esenciales*, porque el organismo no los puede sintetizar y se deben ingerir en la dieta. Estos son el ácido linoleico y el ácido linolénico que agrupados forman la vitamina F. (Vega, 2004)

Los aceites vegetales tienen funciones importantes en nuestro organismo, además de constituir una de las más importantes fuentes de energía que el cuerpo necesita, indispensable para mantener el equilibrio de lípidos, colesterol y lipoproteínas que circulan en la sangre, proporcionan vitamina A, vitamina D, vitamina E y vitamina K.

TABLA 06
Ácidos grasos en lípidos de alimentos

	Porcentaje total de lípidos (%)			
	Saturados	$\omega 6$	$\omega 3$	Mono insaturados
Aceite de pescado	27	3	28	42
Canola	7	21	11	61
Cártamo	9	78	---	13
Girasol	11	69	---	20
Maíz	14	60	1	25
Oliva	14	8	1	77
Soja	15	54	7	24
Maní	18	34	---	48
Algodón	27	54	---	19
Grasa de cerdo	41	11	1	47
Palma	51	10	---	39
Grasa de vaca	52	3	1	44
Manteca	66	2	2	30
Coco	92	2	---	6

La castaña es altamente recomendable por su alto contenido de vitaminas y minerales como el calcio, potasio, magnesio, proteínas (20%), lípidos

insaturados y principalmente por la presencia de Omega 6 y selenio (AGECEX, 2009).

Entre las principales funciones del ácido linoleico se encuentran las siguientes:

- I. La formación de las membranas celulares.
- II. La formación de hormonas.
- III. El correcto funcionamiento del sistema inmunológico.
- IV. La correcta formación de la retina.
- V. El funcionamiento de las neuronas y las transmisiones químicas.

El organismo necesita el ácido graso omega 6- para trabajar correctamente (AGECEX, 2009), ya que una deficiencia de este ácido graso puede ocasionar caída de cabello, degeneración del hígado y riñón, problemas de comportamiento, sequedad en los conductos auditivos y de las glándulas salivares, infecciones, deficiente cicatrización, esterilidad en los hombres, artritis, diversos problemas circulatorios.

2.8. Extracción de aceite de semillas oleaginosas

Se puede distinguir dos métodos de extracción, el prensado (extracción mecánica) y la extracción con disolventes (extracción química).

2.8.1. Extracción por prensado

El prensado se realiza mediante diversos dispositivos mecánicos, se aplica presión a la pasta de semillas o frutos triturados hasta exprimir el aceite que contiene. Puede hacerse en frío o en caliente, siendo el más método mayor usado el prensado en frío.

En el presando en frío, la pasta se exprime a temperatura ambiente, con lo cual se obtiene menos cantidad de aceite, comparando con el prensado en caliente, pero más rico en sustancias insaponificables.

Estas sustancias están constituidas por los componentes no grasos del aceite, como las vitaminas y los fitoesteroles, a los que debe su sabor y muchas de sus propiedades medicinales.

El aceite obtenido por prensado en frío no precisa ser refinado en la misma medida que el obtenido por prensado en caliente. Gracias a ello sufre una menor pérdida de vitaminas y fitoesteroles; con lo cual resulta más rico en sustancias activas.

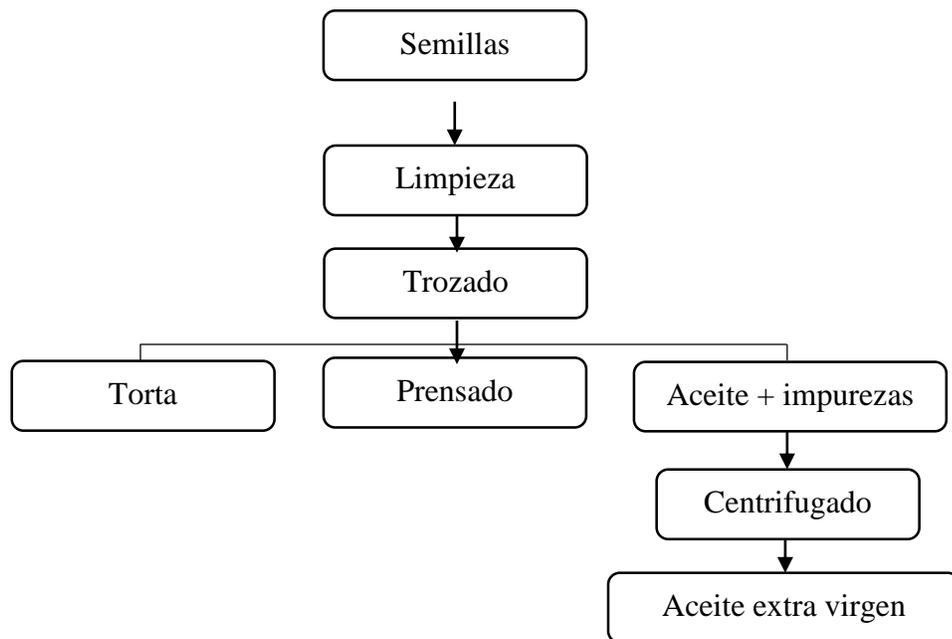


Figura 10. Procedimiento de extracción de aceite por prensado en frío.

2.8.2. Extracción con disolventes

La torta o residuo que queda después de aplicar presión a la pasta, contiene todavía un porcentaje de aceite, que se puede recuperar. Para aprovechar ese aceite residual, se realizan procesos químicos, donde la torta es sometida a la acción de un disolvente orgánico, siendo el hexano el más utilizado, el disolvente arrastra las grasas a un evaporador desde son separadas, y el aceite se recupera.

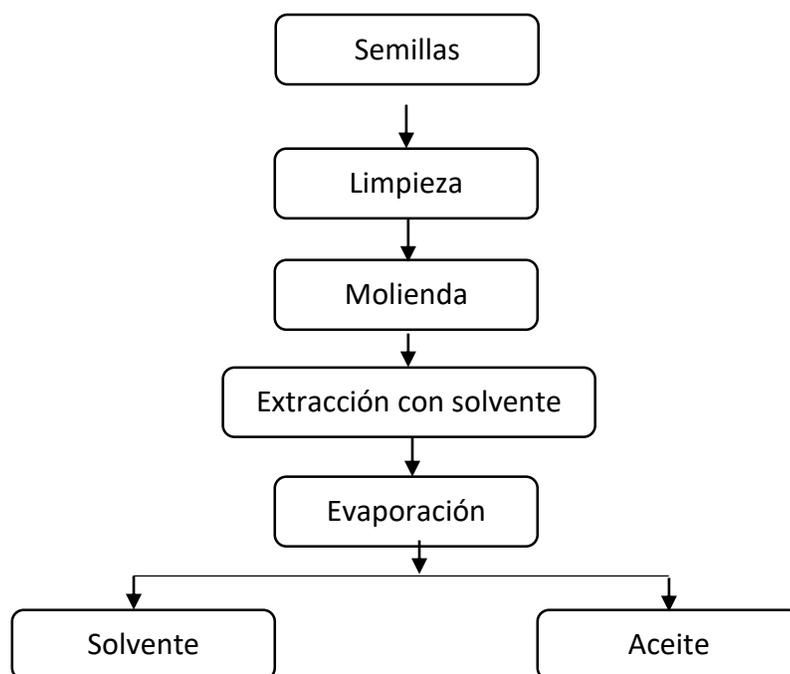


Figura 11. Procedimiento de extracción de aceite con disolventes.

2.9. Oxidación de los aceites

La autooxidación o enranciamiento oxidativo se le considera como el proceso común y más importante de todos los que afectan a la alteración de los alimentos, puesto que la sufren prácticamente todas las grasas y aceites comestibles (Bello, 2000).

La oxidación lipídica es una de las alteraciones más importantes de los alimentos porque puede ocurrir en cualquier etapa de su elaboración, procesado y conservación; y afecta a la calidad y seguridad de los alimentos. Los efectos adversos para la salud atribuidos a los compuestos de oxidación lipídica están particularmente relacionados con el inicio y desarrollo de procesos crónicos y degenerativos como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Márquez, 2013).

La autooxidación o enranciamiento de los ácidos grasos insaturados se debe a la susceptibilidad del grupo que se encuentra entre dos dobles enlaces para perder un átomo de hidrogeno y formar un radical libre, a la reacción de los dobles enlaces con el oxígeno, donde los dobles enlaces se rompen y las moléculas de ácidos grasos se escinden originando aldehídos volátiles, de olor y sabor rancio. La oxidación de los lípidos puede estar catalizada por iones metálicos en presencia de agentes reductores presentes en los alimentos (Gil, 2010).

La causa inicial de la perdida de hidrogeno es la adición de radicales derivados del oxígeno. La luz y otras radiaciones, las altas concentraciones de oxígeno, toxinas y otras sustancias, forman radical superóxido y peróxido de hidrogeno en el interior de las células. La alteración suele comenzar con la aparición de un sabor suave y dulzón, que se hace cada vez más picante a medida que progresa la oxidación, como consecuencia de la formación de productos secundarios: aldehídos, cetonas, ácidos, etc. (Bello, 2000).

La oxidación lipídica es una reacción en cadena promovida por los radicales libres que originan un producto que también es radical y que, a su vez reacciona y origina otro radical (ITFP, 2004). Se denomina radical a cualquier especie química con uno o más electrones desapareados (ITFP, 2004).

2.9.1. Iniciación: Un radical libre ataca a un grupo metileno de la cadena carbonada del ácido graso, extrayendo un átomo de hidrógeno, lo que da lugar a un nuevo radical libre (Navarro et al, 2004).

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 del ácido graso para formar hidroperóxidos que se descomponen a radicales.

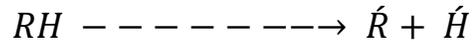


Figura 12. Formación de un radical libre.

2.9.2. Propagación: El radical R' producido en la fase de iniciación, puede reaccionar para formar un radical lipídico peroxi ROO' el que puede reaccionar posteriormente para dar un hidroperóxido ROOH. En la segunda reacción dentro de la fase de propagación, además se produce un nuevo radical R', haciendo que el proceso se auto-propague (Navarro et al, 2004).

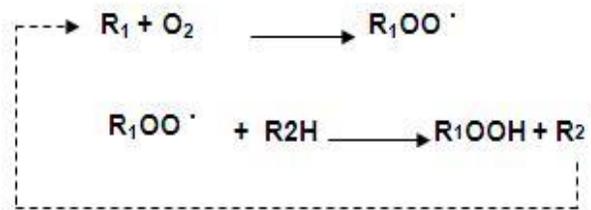


Figura 13. Formación de un hidroperóxido.

En la etapa de propagación el oxígeno se suma a las tasas de difusión controlada a radicales alquilo de lípidos relativamente no reactivos, R', convirtiéndolos en radicales peroxilo reactivos, ROO'.

Los radicales peroxilo extraen hidrógenos a partir de moléculas de lípidos adyacentes para formar hidroperóxidos, ROOH, y generar nuevos radicales R' en el proceso.

2.9.3. Terminación: La reacción puede detenerse mediante la incorporación de un antioxidante. El antioxidante actúa como un atrapante de radicales libres, finalizando la fase de propagación. El electrón no apareado del

antioxidante se deslocaliza dentro de la estructura de anillo aromático, lo que estabiliza al compuesto formado. Otra vía de que concluya la auto-oxidación es que cualquier clase de radical libre alquílico del lípido $R\cdot$ reacciones con un radical libre lipídico peroxi $ROO\cdot$ dando lugar a una especie relativamente estable, no iniciadora y no propagadora (Navarro et al, 2004).

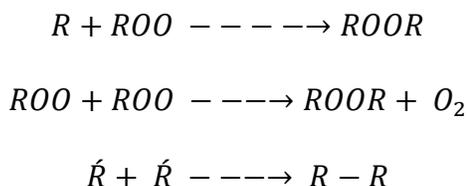


Figura 14. Formación de compuestos estables.

En la siguiente figura se resume las etapas de la oxidación lipídica, la etapa de iniciación, la etapa de propagación y la terminación.

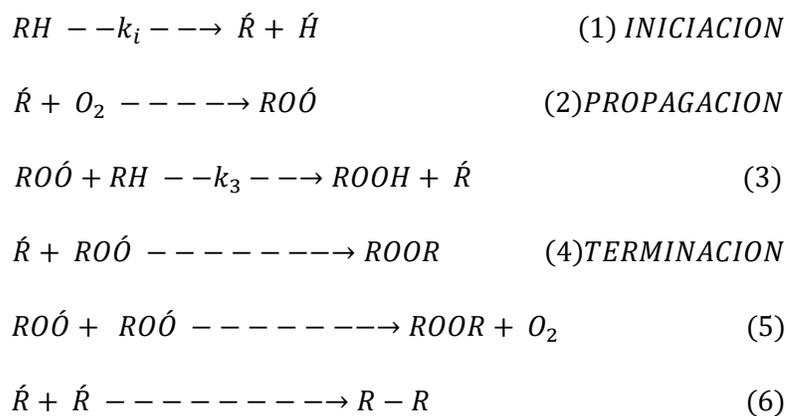


Figura 15. Etapas de la oxidación lipídica.
Fuente: Rojano et al, 2008

2.10. Vida útil

La vida útil, se define como el tiempo en el cual un alimento o producto conservara sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales (Chica y Osorio, 2003), la capacidad que tiene un producto o un principio activo de mantener por determinado tiempo sus propiedades originales dentro de las especificaciones de calidad establecidas.

La vida de anaquel abarca varias facetas del valor nutritivo incluyendo seguridad, valor alimenticio y características sensoriales, cuando se afecta este valor nutritivo, esto influye en las decisiones de compra del consumidor (Chica y Osorio, 2003).

Los estudios de estabilidad son pruebas que se efectúan para obtener información sobre las condiciones en las que se deben procesar y almacenar las materias primas o los productos semielaborados o terminados, según sea el caso; las pruebas de estabilidad oxidativa también se emplean para determinar la vida útil de los aceites, en su envase y condiciones de almacenamiento específicas.

La vida útil de un producto oleoso se puede determinar mediante su estabilidad fisicoquímica y estabilidad sensorial, donde para determinar la estabilidad fisicoquímica se realizan análisis de Índice de p-anisidina, Índice de acidez, Viscosidad, Color, entre otros; y en la estabilidad sensorial se realizan pruebas de apariencia, sabor, gusto, textura, otros, según Blanco y (López, 2006).

Desde el punto de vista la Industria Alimentaria

La vida útil está basado en la cantidad de pérdida de calidad que se permitirá antes del consumo del producto. Para los consumidores, el extremo de vida útil es el tiempo cuando el producto absolutamente ya no tiene un sabor aceptable. Para la alta calidad del arte culinario, esto significa un cambio

muy pequeño que puede tener lugar, cuando los consumidores quieren una calidad igual a “gusto a fresco” o “como recién preparado”. Comprendiendo que nunca se puede satisfacer a todos los consumidores en todo el tiempo, sobre todo para un cierto nivel de calidad y de esos sistemas alimentarios juntamente con sus mecanismos de deterioro es inherentemente complejo, una definición universal de la vida útil es casi imposible establecer

Desde el punto de vista de la producción de un nuevo producto

El conocimiento de la vida útil es un aspecto muy importante. Esta vida debe al menos exceder el tiempo mínimo requerido de distribución del productor al consumidor.

La determinación oportuna y objetiva de la "vida útil" de sus productos le permitirá a los empresarios evitar pérdidas por devolución, ampliar su mercado nacional y de exportación, la confianza del consumidor. También cuando se lance un nuevo producto al mercado, haya sustitución ó cambio de especificaciones de alguna materia prima, se hace también necesario la determinación de la "vida útil".

La vida de almacén es controlada por:

- ❖ La interacción de los componentes del sistema.
- ❖ El proceso empleado.
- ❖ La permeabilidad del empaque a la luz, la humedad y los gases.
- ❖ La distribución de la humedad y tiempo-temperatura relativa durante el transporte y almacenaje.

El productor debe tener un conocimiento de estos factores así como de las maneras críticas de falla del alimento. Con esta información, el productor puede entonces elegir los mejores sistemas para maximizar la vida de almacén

2.11. Método Rancimat

El método Rancimat es un método ampliamente aceptado para la determinación de la estabilidad a la oxidación en grasas y aceites naturales. Su principal aplicación es el control de calidad en los molinos de aceite y la industria de proceso de aceite. En temperaturas elevadas y bajo la exposición de aire, los ácidos grasos son oxidados.

En el método Rancimat, se acelera el proceso de oxidación calentando el recipiente de reacción y haciendo pasar aire continuamente a través de la muestra. Este proceso produce la oxidación de las moléculas de ácidos grasos en la muestra. En primer lugar se forman peróxidos como productos de oxidación primarios. Al cabo de un tiempo, los ácidos grasos se descomponen completamente y se forman productos de oxidación secundarios, entre ellos, ácidos orgánicos volátiles de bajo peso molecular como, por ejemplo, ácido acético y ácido fórmico. Estos son transportados por una corriente de aire a un segundo recipiente con agua destilada. Allí tiene lugar una medición continua de la conductividad. El aumento de la conductividad indica la presencia de ácidos volátiles.

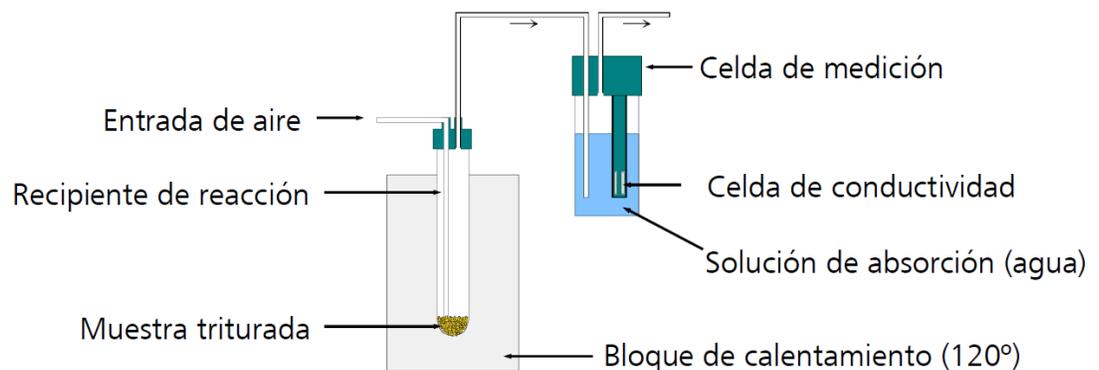


Figura 16. Partes del método y equipo Rancimat.

Fuente: www.metrohm.com

El tiempo transcurrido hasta la formación de estos productos de reacción secundarios es lo que se denomina «tiempo de inducción», «periodo de inducción» o «índice de estabilidad oxidativa» (OSI, por sus siglas en inglés). Este valor es indicativo de la resistencia de la muestra a la oxidación. Cuanto más largo es el tiempo de inducción, más estable es la muestra.

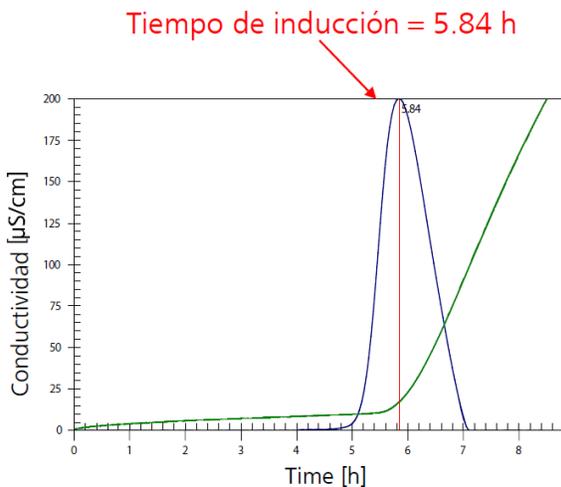


Figura 17. Tiempo de inducción de una muestra oleosa.
Fuente: www.metrohm.com

El tiempo de inducción determinado por medio del método Rancimat es un parámetro estándar del control de calidad en la producción, del control de recepción y del procesamiento ulterior de aceites y grasas en la industria de alimentos. Es utilizado tanto por las empresas productoras de aceites y grasas como por las que se dedican a su elaboración ulterior.

Además de la estabilidad a la oxidación de aceites y grasas de origen vegetal, con el Rancimat también es posible determinar la estabilidad de grasas de origen animal como manteca de cerdo, cebo o aceite de pescado.

Los alimentos contienen comúnmente antioxidantes que retardan la descomposición oxidativa de los aceites y las grasas. Estos antioxidantes pueden estar presentes naturalmente o agregarse artificialmente. El Rancimat se utiliza también para controlar la efectividad de los antioxidantes existentes y futuros.

La cantidad de grasa contenida en los alimentos sólidos, tales como almendras, maní, papas fritas, bollos, galletas de mantequilla, papas a la francesa, y fideos instantáneos se probaron con éxito con el método Rancimat y se reveló que la trituración de la muestra es uno de los pasos más importantes del proceso.

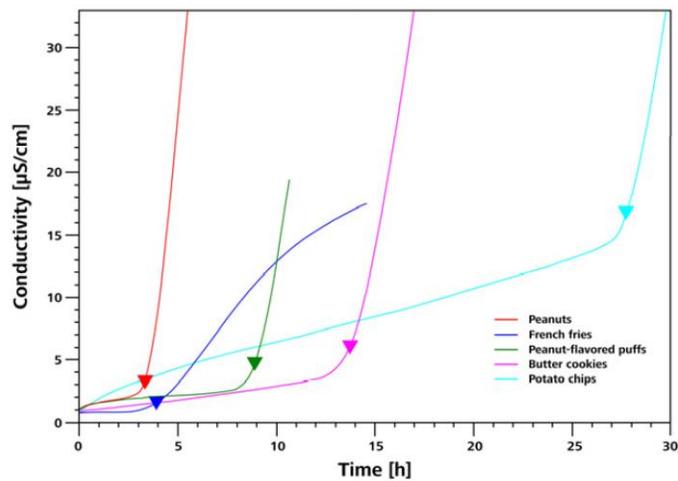


Figura 18. Tiempo de inducción de almendras, maní, papas fritas, bollos, galletas de mantequilla, papas a la francesa, y fideos instantáneos.

Fuente: www.metrohm.com

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Lugar de ejecución

- Laboratorios de Control de Calidad del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial: Lugar donde se realizaron las pruebas de caracterización química del aceite, índice de peróxido, índice de yodo, índice de acidez, índice de anisidina, perfil de ácidos grasos, además se llevó a cabo la estimación de la vida útil mediante el método Rancimat.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial: Lugar donde se llevó a cabo la extracción del aceite de castaña, por medio de prensado en frío en el Expeller.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial: Lugar donde se llevó a cabo la caracterización física del aceite de castaña, índice de refracción, densidad, viscosidad.

3.2.Insumos y reactivos

4. Castaña (*Bertholletia excelsa*) procedente de los bosques del distrito De Las Piedras en Tambopata de la región de Madre de Dios-Perú, que se ubica entre las coordenadas geográficas 12° 35' 36" latitud Sur y 69° 10' 35" longitud Oeste y a una altitud de 183 msnm.



Figura 19. Castaña (*Bertholletia excelsa*).

5. Isooctano (1 L.)

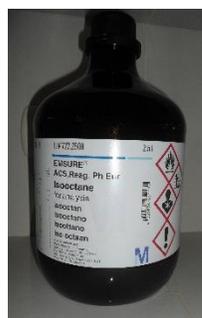


Figura 20. Isooctano.

6. Anisidina cristalina



Figura 21. Muestra de Anisidina.

7. Ácido Acético Glacial (1 L.)

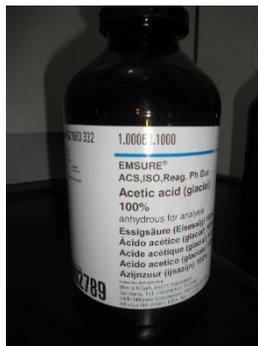


Figura 22. Ácido Acético Glacial.

8. Alcohol etílico al 96% (2 L.)



Figura 23. Alcohol etílico al 96% de pureza.

9. Fenolftaleína



Figura 24. Fenolftaleína.

10. Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N

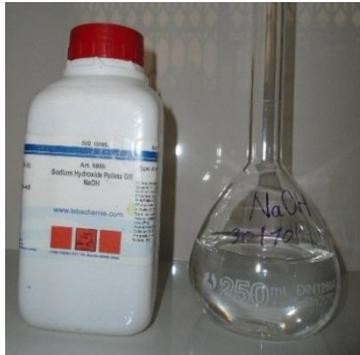


Figura 25. Hidróxido de sodio anhidro (izquierda), solución de NaOH 0.1N (derecha).

11. Cloroformo (1 L.)

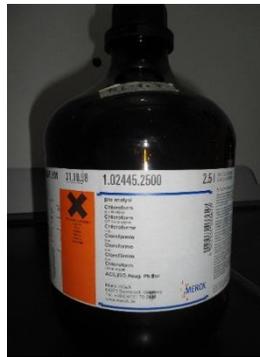


Figura 26. Cloroformo.

12. Solución KI saturado



Figura 27. Solución de Ioduro de Potasio saturado.

13. Solución Tiosulfato de sodio 0.01N y 0.1N



Figura 28. Tiosulfato de sodio 0.01N (derecha), tiosulfato de sodio 0.1N (izquierda).

14. Solución de Almidón al 1%

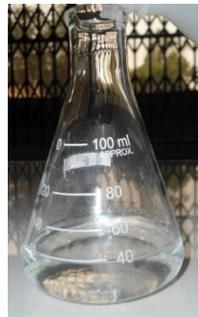


Figura 29. Solución de almidón a concentración 1%.

15. Reactivo Wijs



Figura 30. Botella de reactivo Wijs.

16. Solución KI al 15%

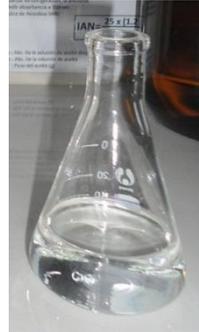


Figura 31. Solución de Ioduro de potasio al 15%.

3.3.Equipos y materiales

1. Expeller



Figura 32. Expeller semi industrial.

2. Equipo Rancimat



Figura 33. Rancimat Metrohm 743.

3. Cromatógrafo de gases marca Shimadzu, modelo 2010, con Puerto de inyección Split, Detector de ionización de llama, Columnas capilares restec-07248, stabilwax, diámetro interno 0.25x0.5 μm y de longitud de 30 m; con Headspace Teledyne TEKMAR HT3.

4. Balanza analítica

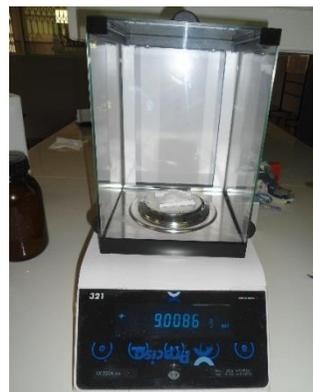


Figura 34. Balanza analítica PRECISA modelo 321.

5. Refractómetro



Figura 35. Refractómetro RUDOLPH modelo A24051-CC J-157.

6. Densímetro



Figura 36. Densímetro RUDOLPH Research Analytical DDM2911.

7. Espectrofotómetro



Figura 37. Espectrofotómetro UV visible marca JASCO V-670, JASCO LSE-701.

8. Agitador de tubos

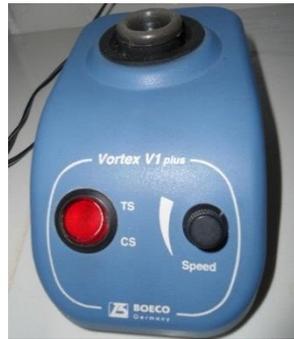


Figura 38. Agitador BOECO Vortex V Plus.

9. Equipo de Baño María



Figura 39. Baño María.

10. Frascos de color ámbar por 500 ml



Figura 40. Frascos de color ámbar.

OTROS MATERIALES

1. Fiolas de 25 y 250 ml
2. Pipetas de 5 y 10 ml
3. Micropipeta
4. Tubos de ensayo
5. Vaso de precipitación de 100 y 250 ml
6. Matraz de 250 ml con tapa
7. Bureta de 50 ml

3.4.Métodos

3.4.1. Limpieza: Las castañas se limpiaron manualmente, se eliminaron las impurezas como cascaras. Polvo o cualquier agente extraño.



Figura 41. Limpieza de las semillas de castaña (*Bertholletia Excelsa*).

3.4.2. Trozado: Se cortaron las castañas haciendo uso de un cuchillo, se trozaron por la mitad o en cuatro partes, dependiendo del tamaño de las castañas, para una mejor extracción del aceite durante el prensado.



Figura 42. Trozado de las semillas mediante uso de cuchillos.



Figura 43. Semillas cortadas.

3.4.3. Prensado: El prensado se realizó haciendo uso de un Expeller semi industrial, se recolecto el aceite en un recipiente de vidrio color ámbar, mientras que la torta se desechó, por no ser motivo de este trabajo de investigación, se obtuvo un rendimiento del 65% aproximadamente.

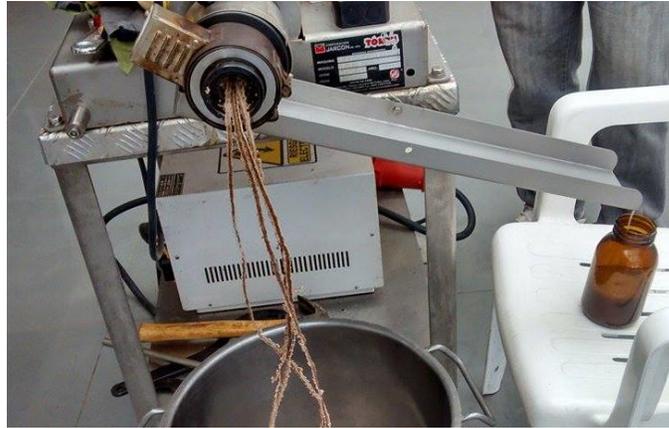


Figura 44. Prensado de las castañas mediante el Expeller.

3.4.4. Envasado: El aceite extraído se recolecto en dos frascos de vidrio, a los cuales se le agregaron nitrógeno para su mejor conservación y guardado en refrigeración.



Figura 45. Envasado del aceite proveniente del prensado.

3.4.5. Centrifugación: El aceite obtenido del prensado, se centrifugó posteriormente para eliminar restos de cáscara y residuos de la torta que pudieron quedar.



Figura 46. Aceite en envase listo para centrifugar.

3.4.6. Envasado y almacenamiento: El aceite centrifugado se colocó en frascos de vidrio de color ámbar y se le agregó nitrógeno para su mejor conservación y guardado en refrigeración.



Figura 47. Envasado y adición de nitrógeno al aceite centrifugado.

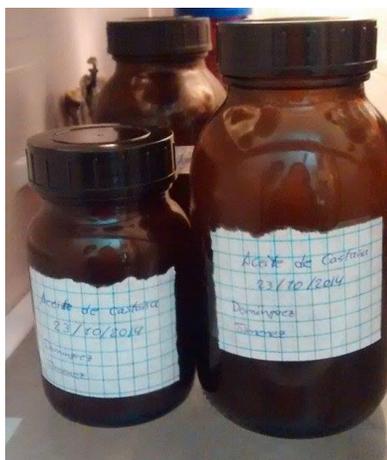


Figura 48. Almacenamiento del aceite de castaña, en refrigeración.

3.4.7. Caracterización: Se realizó la caracterización física (índice de refracción, densidad) y química (índice de yodo, índice de peróxido, índice de acidez, perfil de ácidos grasos) haciendo uso de equipos y métodos estandarizados.



Figura 49. Análisis de densidad del aceite

3.4.8. Pruebas aceleradas con Rancimat: Se procedió a la determinación de la vida útil del aceite de castaña haciendo uso del equipo Rancimat, y en condiciones de tres flujos de aire y tres temperaturas.

3.5. Metodología de los Análisis

3.5.1. Perfil de ácidos grasos por Cromatografía de Gases: Se realizó de acuerdo la AOCS método oficial Ce 1b-89, aprobado nuevamente en el 2009, se utilizó el cromatógrafo de grasas con sistema de inyección capilar CGC AGILENT 6850 SISTEMA DE GC SERIES, con columna capilar AGILENT TECHNOLOGIES 7890 A GC-System (sílice fundida) de 25mm de tamaño y 0,35 mm de diámetro interno.

3.5.2. Índice de Peróxido: Realizado según el método ISO 3960, “Determinación del índice de peróxidos”, o AOCS Cd 8b-90, o NTP 209.006 1968 (Revisada el 2011). Es el método más común para determinar el grado de deterioro de una muestra oleosa, se expresa en mili equivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite (mili eq O₂ / Kg).

Procedimiento:

- Pesar 5 g de aceite en un matraz Erlenmeyer con tapa.
- Añadir 30 ml de solución de ácido acético: cloroformo y agitar.
- Agregar 0.5 ml de solución saturada de KI.
- Dejar reposar en a oscuridad por 2 minutos.
- Añadir 30 ml de agua destilada.
- Titular con Tiosulfato de sodio 0.1 N, agitar hasta que el color amarillo desaparezca.
- Adicionar 0.5 ml de solución de almidón al 1%. Continuar la titulación hasta que desaparezca el color azul. Si se gasta menos cantidad a 0.5 ml de Tiosulfato, repetir el análisis con tiosulfato 0.01 N.
- Hacer un blanco con los reactivos utilizados.
- Determinar el índice de peróxido mediante la siguiente formula:

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{N \times V \times 56.1}{P}$$

Donde:

N: Normalidad de la disolución de Tiosulfato de sodio empleada

V: Es el volumen gastado en la titulación (ml)

P: Peso de la muestra (g)

3.5.3. Índice de acidez: Se realizó según el método ISO 660, “Determinación del índice de ácido y de la acidez”, o AOCS Cd 3d-63, o NTP 209.005 1968 (Revisada el 2011). La valoración debe realizarse siempre con una solución etanólica de hidróxido de potásico (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) de concentración exactamente conocida (0,1 o 0,5 N), utilizando fenolftaleína como indicador.

Procedimiento:

- a) Pesar la muestra oleosa en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- b) Agregar 50 ml de alcohol neutralizado y caliente.
- c) Adicionar 2 gotas de solución de fenolftaleína alcohólica.
- d) Titular con NaOH 0.1 N, agitando hasta que vire a un color rosado.
- e) Anotar el gasto y calcular con la siguiente formula:

$$\text{Índice de acidez (\%)} = \frac{N \times V \times Peq}{P}$$

Donde:

V: Volumen de NaOH gastado en la valoración (ml)

N: Normalidad de la solución de NaOH

Peq: Peso equivalente del ácido predominante en la muestra

P: Peso de la muestra de aceite (g)

3.5.4. Índice de yodo: Se obtendrá mediante el método AOAC, 920.159, 1990. El índice de Yodo es el número de gramos de yodo absorbido por

100 g de muestra oleosa y es una de las medidas más útiles para conocer el grado de saturación de estos. Los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos no saturados reaccionan con el yodo, formando compuestos por adición.

Procedimiento:

- Pesar 5 g de aceite en un matraz Erlenmeyer con tapón esmerilado.
- Agregar 10 ml de tetracloruro de carbono y 20 ml de la solución de Wijs.
- Tapar humedeciendo antes el tapón del matraz con KI al 10%. Dejar en la oscuridad por 30 minutos.
- Agregar 15 ml de KI al 10% agitando, añadir 100 ml de agua destilada, lavando cualquier cantidad de yodo libre de la tapa.
- Mezclar bien y titular con solución $S_2O_3Na_2$ 0.1N el yodo liberado que estará en la capa de CCl_4 añadiendo gradualmente con agitación constante hasta que el color amarillo de la solución casi desaparezca.
- Añadir 10 a 15 gotas de solución de almidón al 1%, continúe la titulación lenta hasta que el color del almidón agregado se torne amarillo pálido.
- Titular el reactivo de Wijs con la disolución valorada de $S_2O_3Na_2$ 0.1N, sin añadir aceite, por lo que no es necesario dejar reposar en la oscuridad, el volumen de Tiosulfato empleado en esta situación se le llama T2 y se emplea en el cálculo del índice de yodo.
- Determinar el Índice de yodo mediante la siguiente relación:

$$\text{Índice de yodo} = \frac{100 \times (b - a) \times N \times mEq}{P}$$

Donde:

b: Volumen de Tiosulfato de sodio consumido por el blanco (solución Wijs sin aceite).

a: Volumen de Tiosulfato de sodio consumido por la muestra.

N: Normalidad del Tiosulfato de sodio.

mEq: Mili equivalentes del yodo.

P: Peso de la muestra de aceite (g).

3.5.5. Índice de anisidina: Se obtendrá mediante el método AOAC cd 18-90-IUPAC 2.504, AOCS Cd 18-90, ISO 6885:1998

Procedimiento:

- Pesar en un matraz de 50 ml una muestra de aceite de aproximadamente 0.5 a 4.0 gramos.
- Agregar 25 ml de Isooctano o n-hexano.
- Leer en el Espectrofotómetro a 350 nm.
- Añadir luego la solución p-anisidina (25% p/v en ácido acético glacial) a una alícuota de la solución anterior.
- Dejar reposar 10 minutos y luego leer la absorbancia a 350 nm.
- Determinar el índice de anisidina (IAN) mediante el siguiente calculo:

$$IAN = \frac{25 (1.2x A_R - A_0)}{P}$$

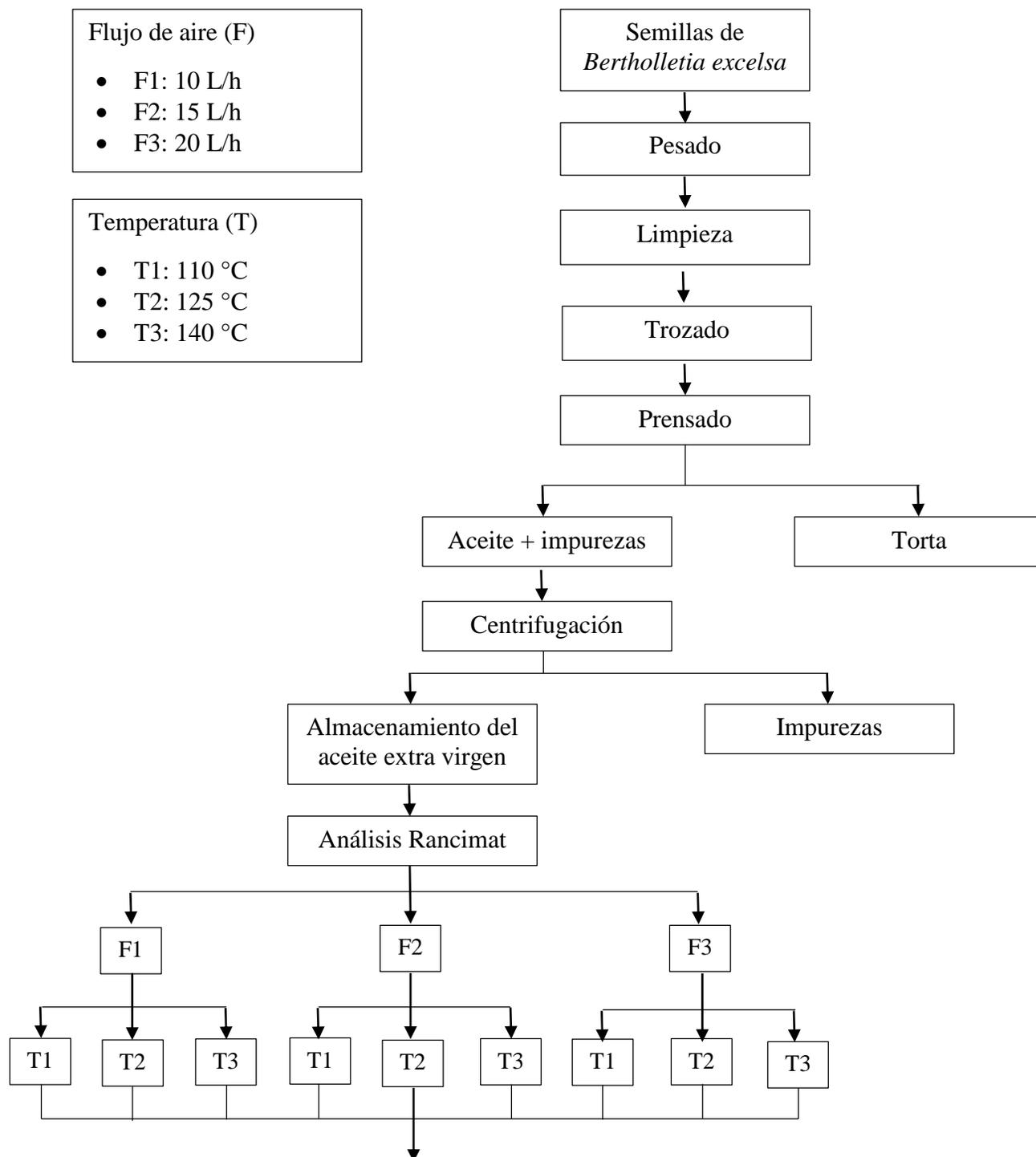
Donde:

A₀ = Absorbancia inicial de la solución oleosa.

A_R = Absorbancia después de añadir el reactivo

P = Peso del aceite (gr).

3.6.Procedimiento Experimental



Tiempo de inducción

Figura 50. Diseño experimental para la determinación del tiempo de inducción del aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización del aceite obtenido

El aceite de castaña fue extraído de las semillas mediante prensado en frío, luego centrifugado y finalmente almacenado a $4\pm 1^\circ\text{C}$.

En la extracción del aceite de la castaña, se obtuvo un 67.4% de producto oleo. Es decir, la semilla de castaña tiene más contenido de aceite que oliva (40%), palma (45 – 50 %), girasol (22 – 36%), soya (18 – 20%), pero similar al coco (65 – 68%), según Kirk-Othmer, 1994.

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos realizados para la caracterización fisicoquímica del aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*), se tuvo los siguientes resultados: Índice de refracción de 1.471 (a 20°C) y una densidad de 0.9105 g/cm^3 (a 20°C) los cuales son cercanos con lo reportado por García et al., (2013): Índice de Acidez ($0.1358 \pm 0.0005\%$), índice de peróxido (no detectable), índice de yodo ($93.877 \pm 0.949\text{ g I/10 g de aceite}$); estos resultados coincidieron con lo reportado por García et al., (2013):

Según el valor de acidez del aceite de castaña ($0.1358 \pm 0.0005\%$), se puede calificar a este aceite como aceite extra virgen, que según la calificación del aceite de oliva, es aceite extra virgen el aceite que debe tener como máximo, una acidez libre de 0.8 g por 100 g (0.8%), (expresada en ácido oleico).

Además, cabe resaltar que los valores obtenidos cumplen con lo referido por el Codex Alimentarius (Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del Codex sobre grasas y aceites) para aceites prensados

en frío, donde el índice de acidez debe ser menor a 2%, el índice de peróxido menor a 15 meqO₂/Kg, el índice de yodo de 94 – 105, el índice de refracción de 1.469 – 1.471 y la densidad de 0.910 – 0.916 g/cm³.

Análisis	Valor	Unidad
Índice de peróxido	No detectable	meqO ₂ /Kg
Índice de acidez	0.1358 ± 0.0005 a	%
Índice de yodo	93.877 ± 0.949 a	g I/100 g aceite
Índice de refracción	1.471 ± 0.081 a	
Densidad	0.9105 ± 0.0053 a	g/ cm ³

TABLA 07

Caracterización química del aceite de castaña (Bertholletia excelsa)

Nota: *: desviación estándar (n=3)

La Composición de ácidos grasos del aceite de castaña se muestra en la Tabla 08. Se puede observar su alto contenido de ácidos grasos insaturados (76%), principalmente el ácido Linoleico de 42.41% que coincide con lo reportado por Yang, 2009, seguido una concentración de ácido Oleico de 33.94% que coincide con lo reportado por Polakiewics et. al (2001), además la presencia de ácidos grasos saturados (24%), como el ácido Palmítico de 14.39% el cual coincide con lo reportado por Limachi et. al (2009) y ácido Esteárico de 9.25% el cual coincide con lo reportado por Rodríguez et. al (2005).

TABLA 08

Composición en ácidos grasos del aceite de castaña.

Ácidos grasos (%) (p/p)					
Ácido Palmítico (C 16:0)	Ácido Esteárico (C 18:0)	Ácido Oleico (C 18:1)	Ácido Linoleico (C 18:2)	Saturados	Insaturados
14.39 ± 0.03 a	9.25 ± 0.01 a	33.94 ± 0.07 a	42.41 ± 0.01 a	24	76

Nota: a: desviación estándar

El contenido de ácido oleico del aceite de castaña, es parecido al del aceite de algodón, pues este tiene 33.10% de este ácido graso, según Limachi et. al (2009). Además, su contenido de ácido linoleico es parecido al del aceite de sésamo, que tiene 40.40% de este ácido, reportado por Limachi et. al (2009).

4.2. Estimación de la vida útil del aceite

4.2.1. Tiempo de inducción a diferentes temperaturas y flujos de aire

Se determinó el tiempo de inducción (h.) para el aceite de castaña sometido a temperaturas de 110°, 125° y 140°C, y flujos de aire de 10, 15 y 20 L/h, en el equipo Rancimat.

Los resultados de los promedios de tiempos de inducción (h) obtenidos se muestran en el cuadro siguiente:

TABLA 09

Tiempo de inducción (horas) del aceite de Bertholletia Excelsa.

Flujo de aire (L/h)	Temperatura (°C)		
	110	125	140
10	9.23 ± 0.040 a	3.10 ± 0.113 a	1.16 ± 0.078 a
15	9.70 ± 0.096 a	3.18 ± 0.035 a	1.22 ± 0.040 a
20	9.78 ± 0.270 a	3.38 ± 0.026 a	1.22 ± 0.015 a

Nota: a: desviación estándar

Los resultados muestran un descenso de tiempo de inducción por causa de la temperatura, esto es normal debido a que la temperatura es el principal factor de oxidación y deterioro de los aceites, 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 ocurren (Navas, P. 2010), sin embargo esto no ocurre en cuanto al flujo de aire ya que el tiempo de inducción se incrementa.

En el cuadro se muestra que todos los tratamientos tienden un ligero aumento de los valores de tiempo de inducción debido al incremento del flujo de aire, esta tendencia ha sido señalada por Jebe et al, 1993 y Farhsooh R, 2007.

Farhoosh T, 2007, explica el aumento del tiempo de inducción debido al flujo de aire, basado en que a elevados flujos de aire se hace más difícil alcanzar una condición de saturación del oxígeno en la masa del 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.

El aumento de conductividad del agua desionizada se debe a la disolución de los ácidos orgánicos volátiles producidos en la etapa final del proceso acelerado de oxidación (Méndez et al, 1996). Además, el tiempo requerido para producir un aumento repentino de la conductividad es debido a la formación de ácidos volátiles, principalmente el ácido fórmico.

4.2.2. Estimación de Vida Útil

Los resultados del tiempo de inducción del aceite de *Bertholletia excelsa*, una vez obtenidos se procedió a extrapolar a 23°C para obtener el tiempo en que se mantiene estable el aceite antes de oxidarse, es decir,

la vida útil. Los resultados se dieron para los tres flujos de aire de 10, 15 y 20 L/h, y se muestran en el cuadro siguiente.

TABLA 10
Tiempo de vida útil del aceite según temperatura y flujo de aire

	Flujo de aire (L/h)		
	10	15	20
Vida útil a 23°C (días)	153	160	167
Vida útil a 23°C (meses)	5.10	5.33	5.56

La vida útil estimada del aceite de castaña a 23°C es 5.1 meses, el cual es menor al aceite de oliva (13.1 a 22.2 meses) a 25°C (Farhoosh, R. 2013), también en cuanto el aceite de sacha inchi (1.79 años) a 25°C (Rodríguez et.al, 2015) y el aceite de sésamo (214 días) a 25°C (Villanueva et.al, 2013).

La vida útil de las grasas y aceites comestibles en condiciones ambientales se estima mediante el trazado del logaritmo de los resultados del tiempo de inducción frente a altas temperaturas y extrapolando a la temperatura ambiente. La extrapolación de los valores Rancimat a condiciones ambientales conllevan a un déficit o exceso en la predicción de la vida útil real, lo cual depende de la composición de ácidos grasos de los aceites analizados.

4.3. Determinación de la Energía de Activación (Ea)

La energía de activación se calculó con la Ecuación de Arrhenius. El valor se encuentra dentro del rango reportado por Torres (2000) y Vergara (2000) quienes indican que la energía de activación para reacciones de

oxidación de lípidos se encuentra entre 41.842 KJ/mol a 104.605 KJ/mol y 42.00 a 104.60 KJ/mol respectivamente. La energía de activación obtenida fue de 88.06 ± 0.089 KJ/mol.

De acuerdo a bibliografía, tiene una energía de activación moderadamente baja, por ello es que el aceite tiene poca estabilidad a la oxidación.

4.4. Resultados del aceite oxidado

4.4.1. Índice de Anisidina

TABLA 11
Índice de Anisidina del aceite oxidado

Temperatura	Índice de Anisidina		
	Flujo de aire(L/h)		
	10	15	20
110 °C	44.9 ± 17.68 a	48.37 ± 2.18 a	130.03 ± 0.40 a
125 °C	182.35 ± 32.24 a	242.28 ± 8.76 a	438.98 ± 9.22 a
140 °C	299.56 ± 25.68 a	347.6 ± 7.61 a	409.93 ± 7.18 a

Nota: a: desviación estándar

De acuerdo a los datos encontrados, se muestra un aumento notorio en el índice de anisidina con respecto al índice inicial (0.00). El aumento de este índice es producto de la oxidación de los ácidos grasos presente en el aceite de castaña, debido a la temperatura y el flujo de aire que entran en contacto con la materia oleosa hacen que se produzcan peróxidos y posteriormente aldehídos. Es por el ello el aumento del índice de anisidina, ya que este valor cuantifica los productos de la oxidación en su segunda etapa, donde se producen compuestos estables como aldehídos, cetonas y ácidos, utilizándose como un indicador que determina la cantidad de material peroxidado que ha sido desdoblado dando lugar a diferentes tipos de compuestos fenólicos (Navas P, 2010).

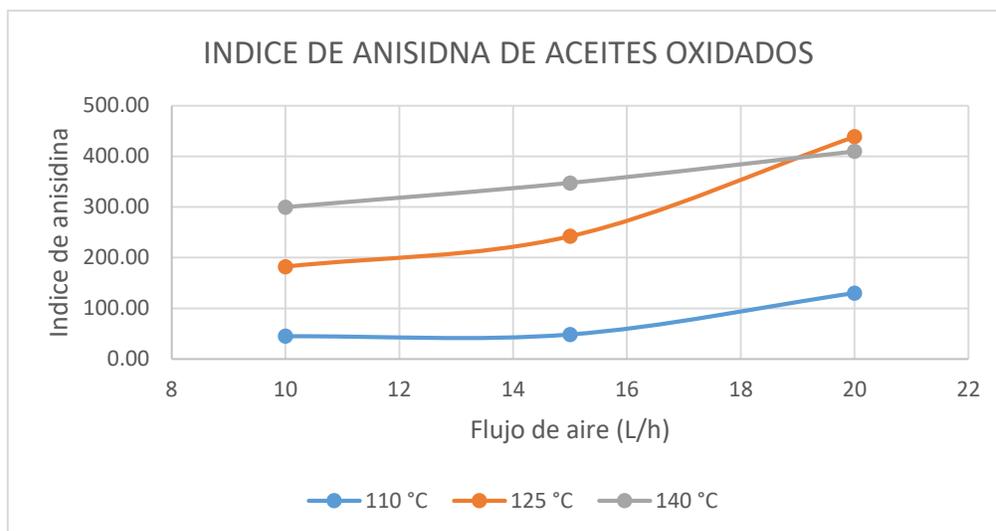


Figura 51. IAN de aceites oxidados.

En la figura anterior, se puede observar el aumento del IAN conforme aumenta la temperatura, esto es debido a la oxidación de los ácidos grasos presentes en el aceite, generando hidroperóxidos y su posterior conversión a ácidos.

4.4.2. Perfil de ácidos grasos

Se determinó la composición de ácidos grasos al aceite de Castaña sometido al método Rancimat a temperaturas de 110, 125 y 140° C. El aceite oxidado, presentó disminución de ácidos grasos insaturados. En la tabla 12 se muestra las concentraciones de los ácidos grasos del aceite sometido a distintas condiciones de temperatura y flujo de aire.

TABLA 12
Perfil de ácidos grasos del aceite oxidado.

Flujo de aire (L/h)	Temperatura (°C)	Ácidos grasos (%) (p/p)			
		Ácido Palmítico (C 16:0)	Ácido Esteárico (C 18:0)	Ácido Oleico (C 18:1)	Ácido Linoleico (C 18:2)
10	110	19.552	11.328	29.376	39.745
	125	21.533	12.476	27.838	38.153
	140	25.251	14.630	25.015	35.104
15	110	20.205	11.707	28.291	39.197
	125	22.468	13.018	26.829	37.684
	140	24.405	15.692	25.975	33.928
20	110	20.472	11.862	27.950	39.716
	125	23.015	13.335	27.483	36.167
	140	23.035	14.825	27.982	34.157

A continuación, se detalla el % de disminución y/o incremento de la composición de los ácidos grasos del aceite de castaña al ser sometido al método Rancimat en comparación con el aceite inicial.

TABLA 13

Variación % de los ácidos grasos del aceite al ser sometidos al Método Rancimat.

Flujo de aire (L/h)	Temperatura (°C)	Ácidos grasos (%)			
		Ácido Palmítico (C 16:0)	Ácido Esteárico (C 18:0)	Ácido Oleico (C 18:1)	Ácido Linoleico (C 18:2)
10	110	35.87%	22.46%	-13.45%	-6.28%
	125	49.64%	34.88%	-17.98%	-10.04%
	140	75.48%	58.16%	-26.30%	-17.23%
15	110	40.41%	26.56%	-16.64%	-7.58%
	125	56.14%	40.74%	-20.95%	-11.14%
	140	69.60%	69.64%	-23.47%	-20.00%
20	110	42.27%	28.24%	-17.65%	-6.35%
	125	59.94%	44.16%	-19.02%	-14.72%
	140	60.08%	60.27%	-17.55%	-19.46%

En la tabla anterior se puede apreciar que la concentración de los ácidos insaturados Oleico y Linoleico disminuyen entre 13 al 26%, 6 a 20% respectivamente, porque al ser ácidos grasos insaturados, se oxidan más rápido que los ácidos grasos saturados, debido que, al tener dobles enlaces, son más reactivos con el oxígeno provocando la generación de hidroperóxidos. Sin embargo, la concentración de los ácidos saturados también disminuye, pero en la tabla 12, se observa que aumenta, esto es debido a que el equipo toma a las concentraciones de los ácidos grasos como un 100%, es por ello que, al disminuir la concentración de unos, la concentración de otros aumenta.

A continuación, se muestran las gráficas del comportamiento de la oxidación de los ácidos grasos a diferentes temperaturas y flujos de aire.

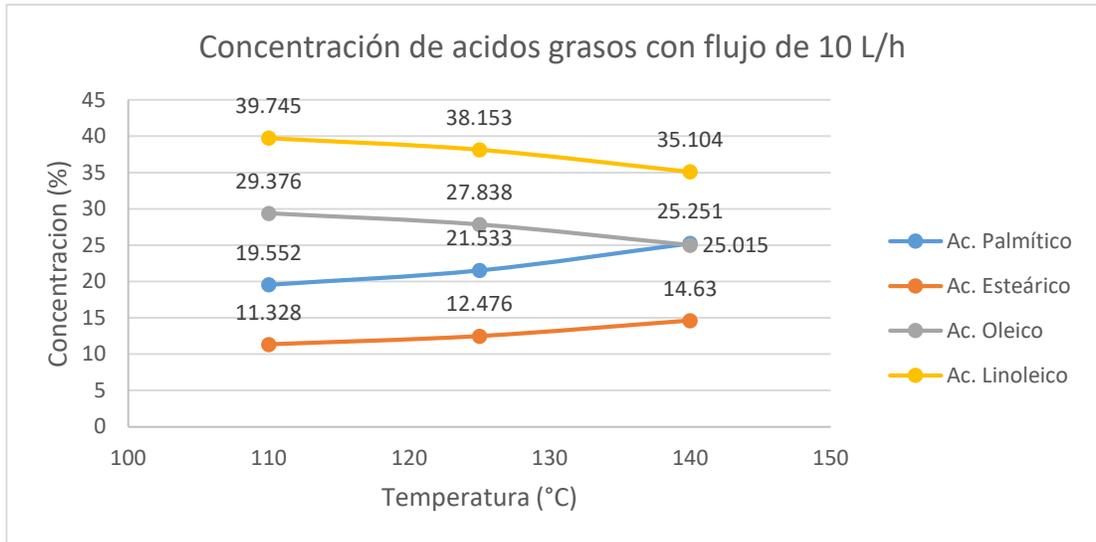


Figura 52. Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 10 L/h.

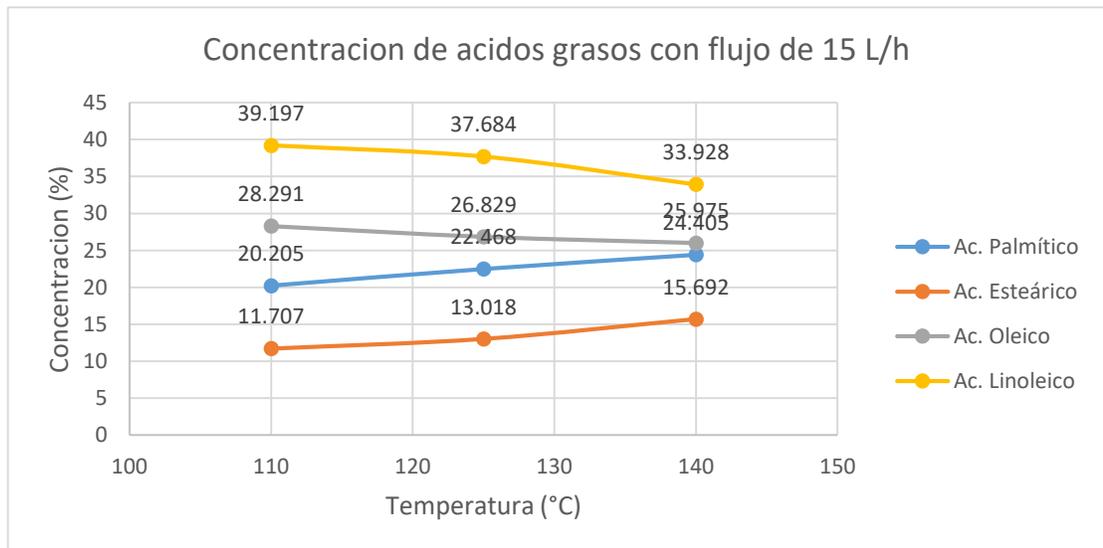


Figura 53. Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 15 L/h.

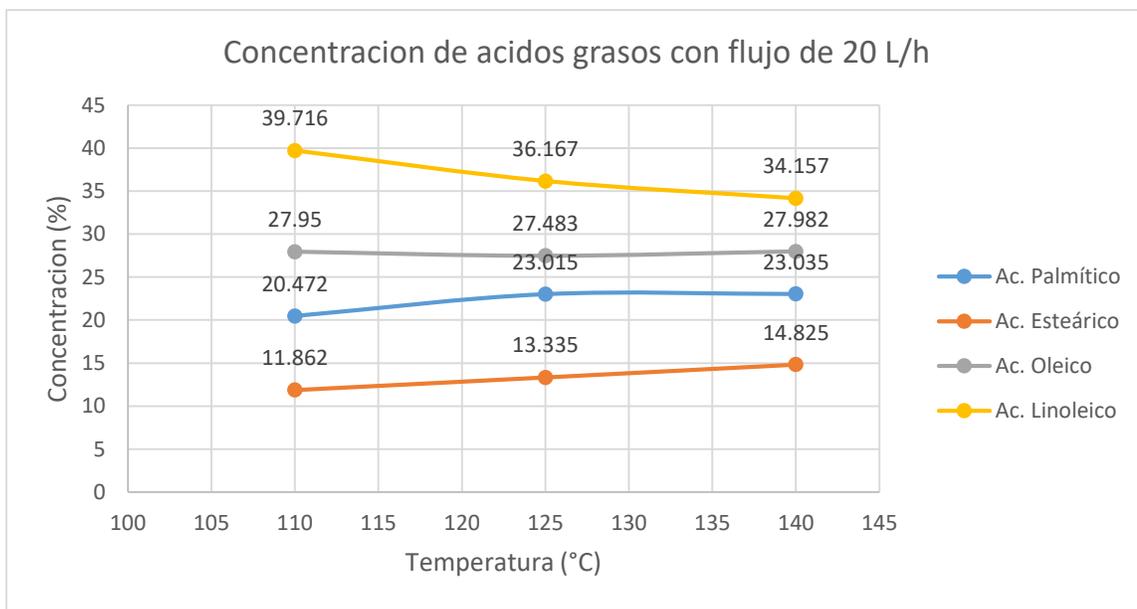


Figura 54. Concentración final en ácidos grasos del aceite sometido a un flujo de aire de 20 L/h.

4.5. Análisis Estadístico

Para observar los resultados estadísticos, se recurrió al cuadro de Análisis de Varianza (ANOVA), muestra los resultados en cuanto a tiempo de inducción, donde la temperatura y flujo de aire tienen diferencia altamente significativa a un nivel de significancia del 5%, ya que los valores de P son menores a 0.05 ($p < 0.05$).

TABLA 14

Análisis de Varianza para TIEMPO DE INDUCCIÓN (h.)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA (°C)	342.82	2	171.41	14558.24	0.0000
B:FLUJO DE AIRE (L/h)	0.415385	2	0.207693	17.64	0.0001
INTERACCIONES					
AB	0.233793	4	0.0584481	4.96	0.0071
RESIDUOS	0.211933	18	0.0117741		
TOTAL (CORREGIDO)	343.681	26			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de TIEMPO DE INDUCCIÓN (h.) 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 3 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre TIEMPO DE INDUCCIÓN (h.) con un 95.0% de nivel de confianza.

TABLA 15
Análisis de Varianza para IAN

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
<i>A:FLUJO DE AIRE (L/h)</i>	73873.3	2	36936.6	145.35	0.0000
<i>B:TEMPERATURA (°C)</i>	253196.	2	126598.	498.19	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
<i>AB</i>	19645.0	4	4911.26	19.33	0.0002
<i>RESIDUOS</i>	2287.02	9	254.114		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	349001.	17			

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

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de IAN 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 3 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre IAN con un 95.0% de nivel de confianza.

V. CONCLUSIONES

3. El aceite de castaña extraído por prensado en frío presentó características fisicoquímicas, con valores aceptables los cuales concuerdan con los valores estipulados en la norma, según estos resultados y por lo indicado en la bibliografía se concluye que el producto extraído es un aceite extra virgen. La duración estimada del aceite de castaña sometido a temperatura de almacenamiento de 23 °C, es de 153 días.
4. Se obtuvo aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*) por extracción de prensado en frío; el aceite obtenido de este modo mantiene el sabor y las propiedades originales de las semillas de castaña.
5. Se caracterizó el aceite de castaña de acuerdo a sus características fisicoquímicas: densidad, índice de refracción, acidez, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de anisidina y perfil de ácidos grasos, mediante el uso de equipos y métodos estandarizados, obteniendo datos similares a los encontrados en bibliografía o reportados por autores en diferentes trabajos de investigación.

El aceite de castaña presenta: índice de refracción de 1.471 (a 20 °C), densidad de 0.9105 g/cm³ (a 20 °C), índice de peróxido no detectable, índice de acidez de 0.1358±0.0005%, índice de yodo de 93.877±0.949 g/100 g aceite. Además del perfil de ácidos grasos, obteniendo ácido palmítico 14.39±0.03%, ácido esteárico en 9.25±0.01%, también ácido oleico en 33.94±0.07 y ácido linoleico en 42.41±0.01, es decir el 24% son ácidos grasos saturados y 76% de ácidos grasos insaturados.

6. Mediante las pruebas aceleradas en el equipo Rancimat, se obtuvo los tiempos de inducción del aceite de castaña sometido a flujos de aire de 10, 15 y 20 L/h, y temperaturas de 110, 125 y 140°C; permitiendo estimar la vida útil del aceite de castaña a 23°C; llegando a la conclusión que la vida útil del aceite de castaña almacenado a temperatura de 23°C es de 153 días.

VI. RECOMENDACIONES

El presente trabajo plantea las siguientes investigaciones:

Según el resultado de la acidez del aceite de castaña, se determinó que el producto extraído de las semillas es un aceite extra virgen, considerando las normas de referencia del aceite de oliva (acidez del aceite de oliva). Por lo cual es conveniente seguir realizando estudios en base a la calificación y caracterización de los diferentes aceites vegetales para la creación de futuras normas donde se establezca las características de los aceites extra vírgenes procedentes de otras materias.

Se ha realizado el estudio de la vida útil del aceite de castaña a condiciones ambientales, cuya preservación es debido a la presencia de compuestos con actividad antioxidante (antioxidantes naturales); sin embargo, el tiempo de vida útil es muy corto a comparación de otros aceites vegetales, por ello se recomienda realizar estudios de la estabilidad oxidativa del aceite con la adición de antioxidantes.

Caracterización de la torta de semillas de Castaña, obtenido por prensado en frío.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia de comercio exterior (AGECEX). 2009. Estudio de mercado “Recurso castaña”. Bolivia.
- Blanco, N y López, M. 2006. Vida útil del aceite de girasol alto oleico y del aceite de girasol convencional durante el proceso continuo de fritura de maní. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Médicas. Argentina.
- Bello, J. 2000. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Bonelli, P; Della, P; Cerella, E; Cukierman, E. 2001. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shells. Universidad de Buenos Aires-Departamento de Industrias. Argentina.
- Callisaya, E. 2012. Factores que determinan el consumo de castaña en la ciudad de la paz. Universidad Mayor de San Andrés-Facultad de Ciencias Económicas y Financieras. Bolivia.
- CFC Naciones Unidas. 2004. Atlas de productos básicos. Suiza.
- Chica, B y Osorio, S. 2003. Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Colombia.
- CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL (COI). 2013. Norma aplicable a los aceites de oliva y los aceites de orujo de oliva. España. Séptima Revisión.

Coronado, M; Vega, S; Gutiérrez, R; García, B; Díaz, G. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción limpia (CORPODIB). Colombia.

Díaz, J. 2004. Descubre los frutos exóticos. España. Ediciones Norma.

Dufour, A y Festy, D. 2007. La revolución de los omega 3: las nuevas estrellas de la salud. España. Ediciones Robinbook.

FAO. 2007. Las microfinanzas y las pequeñas empresas forestales. Italia.

Farhoosh, R. 2008. Shelf-life prediction of edible fats and oils using Rancimat. Lipid Technology.

Fernández, R; Barranco, D; Rallo, L. 2008. El cultivo del olivo. España. Editorial Mundi Epena. Sexta Edición.

Festy, D. 2007. Anti Oxydants. Guide pratique. España. Editorial Robinbook.

García, D; Seclen, A; Rengifo, D; Saldaña, R; Dávila, E; Merino, C; Sotero, V. 2013. Obtención de lípidos estructurados a partir de mezclas binarias de aceites de castaña (*Bertholletia excelsa*) y sacha inchi (*plukenetia volubilis* L.). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP)-Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Perú.

Gil, A. 2010. Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos. Segundo tomo. España. Editorial Médica Panamericana.

- Gutierrez, J. 2005. Calidad de vida, alimentos y salud humana: fundamentos científicos. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 2014. INIA produce castañas de madre de dios en otras regiones. Apartado postal 2791. Perú.
- Instituto Superior de Formación del Profesorado (ITFP). 2004. La transformación industrial de la producción agropecuaria. Colección Aulas de Verano. España. I Edición.
- Koolman Y Rohm, 2004. Bioquímica texto y Atlas. 3º Edición. España. Editorial Médica Panamericana.
- Limachi, I; Farfán, O; Stener, O; Giménez, A. 2009. Estudios preliminares de la caracterización química de ácidos grasos del aceite de frutos de *Bertholletia excelsa* por cromatografía de gases. Instituto de Investigaciones Fármaco Químicas, Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- Marquez, G. 2013. Compuestos de oxidación lipídica mayoritarios en los alimentos: nuevos métodos para su determinación cuantitativa y efectos sobre modelos celulares Caco-2. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid. España.
- Ministerio de Agricultura (MINAG). 2011. Dinámica Agropecuaria 2002-2011. Perú.
- Ministerio de Agricultura (MINAG). 2013. Gobierno Regional de Madre de Dios- Dirección Regional de Agricultura. Plan estratégico regional del sector agrario madre de dios 2008-2015. Perú.

- Nasiff, A y Meriño, E. 2003. Ácidos grasos omega 3: pescados de carne azul y concentrados de aceites de pescado. Lo bueno y lo malo. Hospital Clinicoquirurgico “Hermanos Ameijeiras”. Cuba.
- Navarro, G. 2004. Nueva herramienta para el estudio de la oxidación de los ácidos grasos, una de las causas fundamentales de la pérdida de calidad de los alimentos para la acuicultura. Universidad de Sonora. México.
- Navas, P. (2010). Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de efluentes vegetales convencionales y no convencionales. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas. España.
- OCDE/FAO (2011), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2011-2020, OCDE Publishing.
- OCDE/FAO (2013), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Pamplona, J. 2006. Salud por los Alimentos. España. Editorial Safeliz. Primera Edición.
- Pitchford, P'. 2007. Sanando con alimentos integrales. Estados Unidos.
- Polakiewicz, B; Gioielli, L; Sotero, V. 2001. Hidrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). Universidad de Sao Paulo, Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica. Brasil.
- Polakiewicz, B; Gioielli, L; Sotero, V. 2000. Mezclas binarias y terciarias del aceite y grasa hidrogenada de la castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Universidad de Sao Paulo, Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica. Brasil.

Rodrigues, J; Azevedo, F; Machado, N. 2005. Phase equilibrium measurements of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil in supercritical carbon dioxide. Federal University of Pará. Brasil.

Rojano, B; Gaviria, C; Saez, J. 2008. Determinación de la actividad antioxidante en un modelo de peroxidación lipídica de mantequilla inhibida por el isoespintanol. Universidad Nacional de Colombia-Universidad de Antioquia. Colombia.

Ronayne, P. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. Argentina.

Sangay, S. 2010. Obtención y evaluación de carbón activado del endocarpio de castaña (*Bertholletia excelsa*) procedente de plantación y de bosque natural, empleando un método químico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

Sastre, A y Hernandez, M. 1999. Tratado de nutrición. España. Ediciones Díaz de Santos.

Sotero, V; Montero, U; Merino, C; Maco, M; Dávila, E; Garcia, D. 2011. Estabilidad fisicoquímica de las semillas deshidratadas de castaña (*Bertholletia excelsa*). Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP)-Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP). Perú.

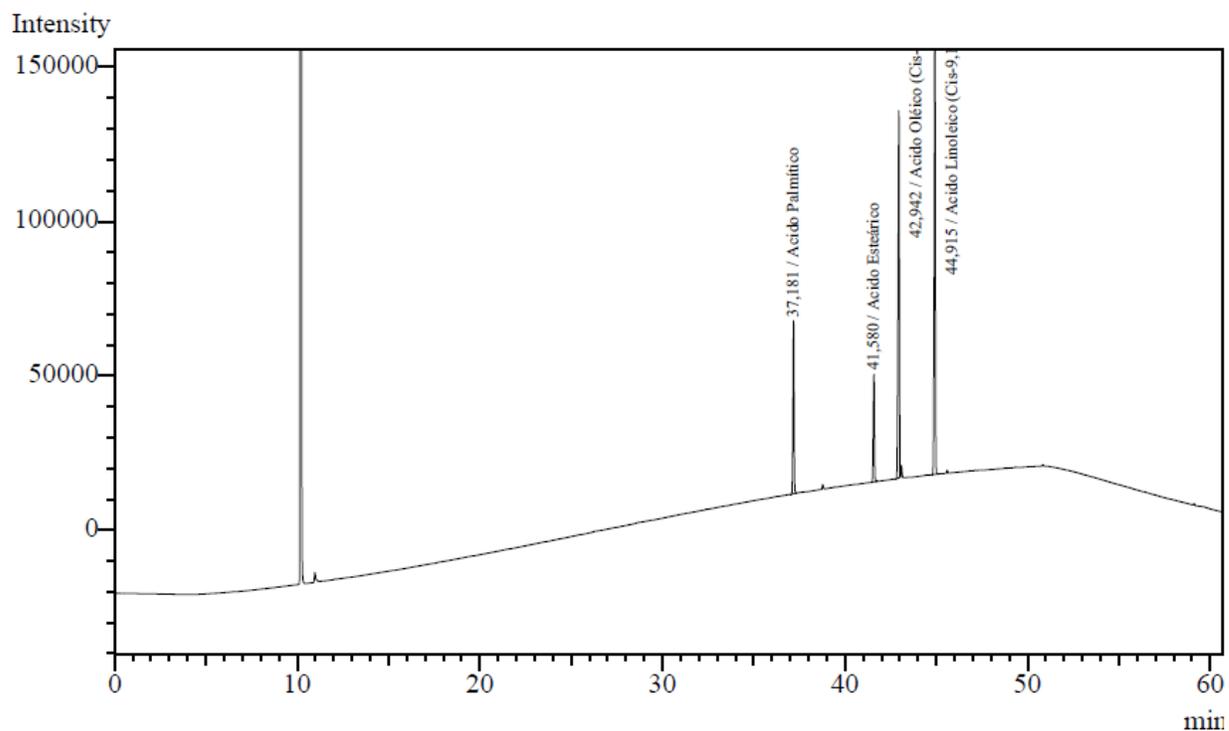
Thomson, C. 2009. Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*): improved selenium status and other health benefits. Department of Human Nutrition, University of Otago. New Zealand.

Vega, A. 2004. Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. Convenio Andrés Bello. Colombia.

Yang, J. 2009. Brazil nuts and associated health benefits: a review. Estados Unidos.

ANEXOS

ANEXO 01: PERFIL DE ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE CASTAÑA



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark ID#	Cmpd Name
1	37.181	226743	55824	14,390	%	11	Acido Palmítico
2	41.580	147926	34730	9,253	%	14	Acido Esteárico
3	42.942	546626	118787	33,944	%	16	Acido Oléico (Cis-9)
4	44.915	597834	138840	42,412	%	18	Acido Linoleico (Cis-9)
Total		1519129	348181				

Figura 55. Perfil de ácidos grasos del aceite virgen de castaña

ANEXO 02: TIEMPO DE INDUCCION DE MUESTRAS DE ACEITE (10 L/h)

→ *Temperatura 110 °C*

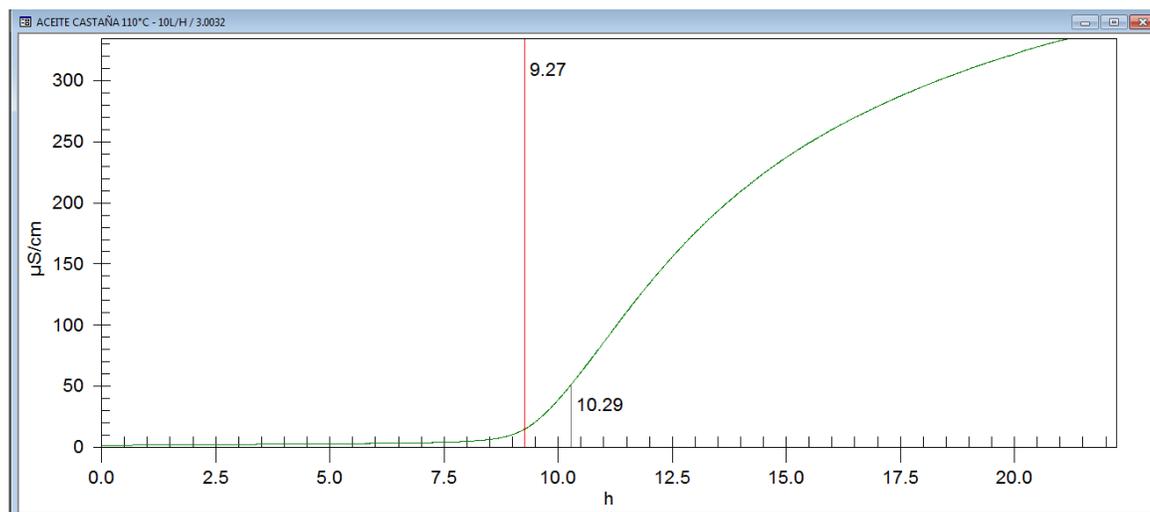


Figura 56. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 125 °C*

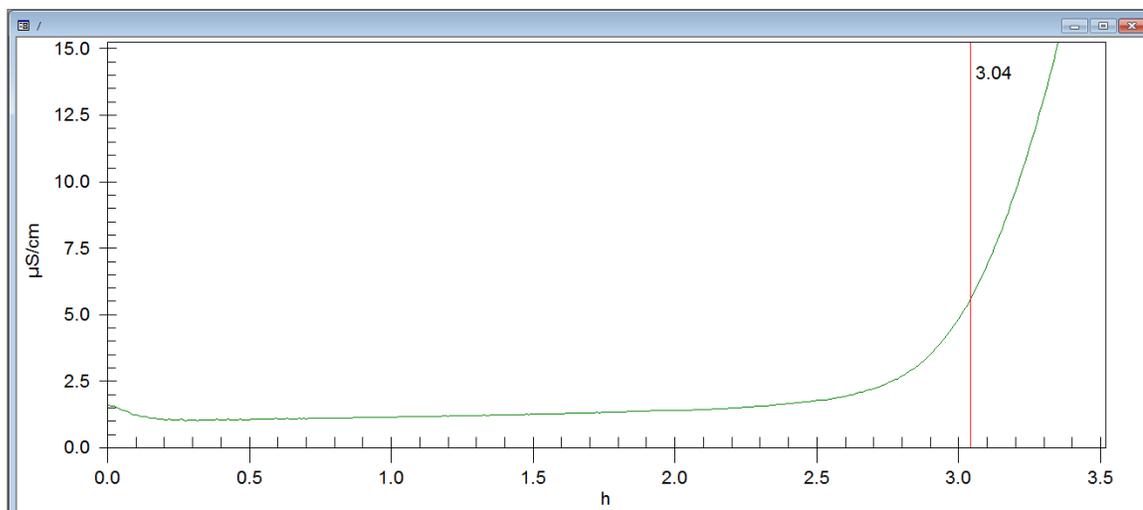


Figura 57: Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 140 °C*

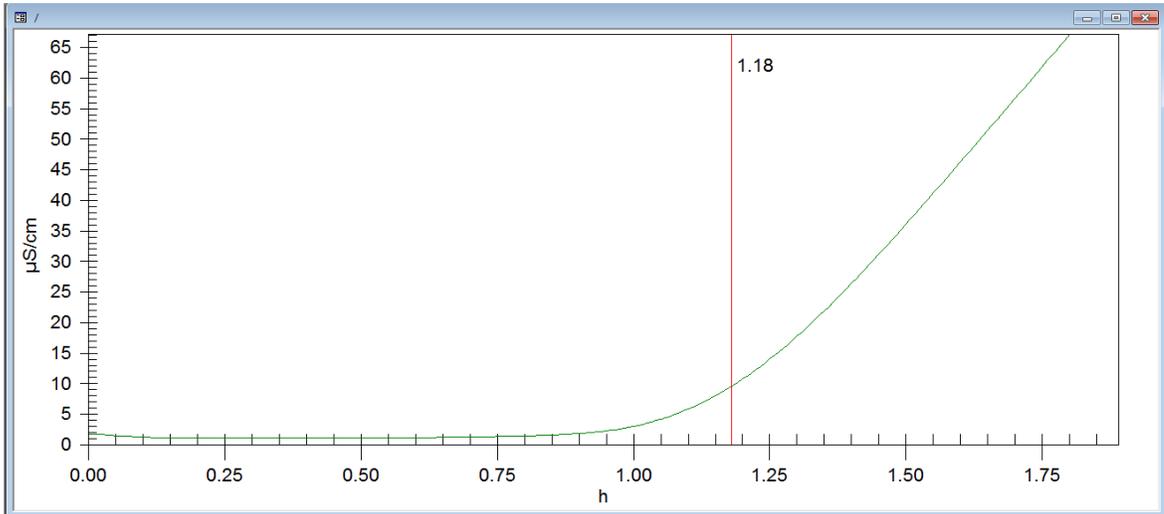


Figura 58. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

ANEXO 03: TIEMPO DE INDUCCION DE MUESTRAS DE ACEITE (15 L/h)

→ *Temperatura 110 °C*

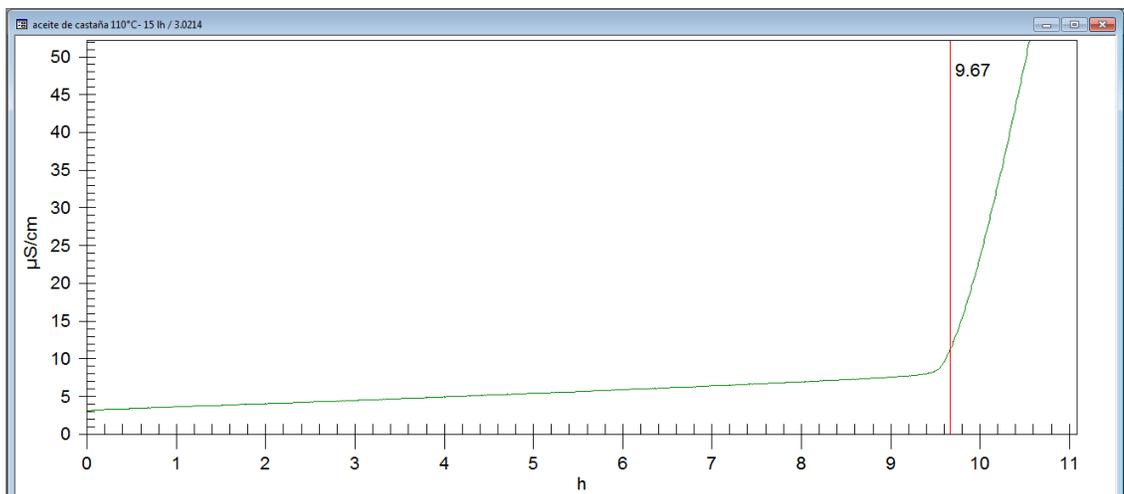


Figura 59. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 125 °C*

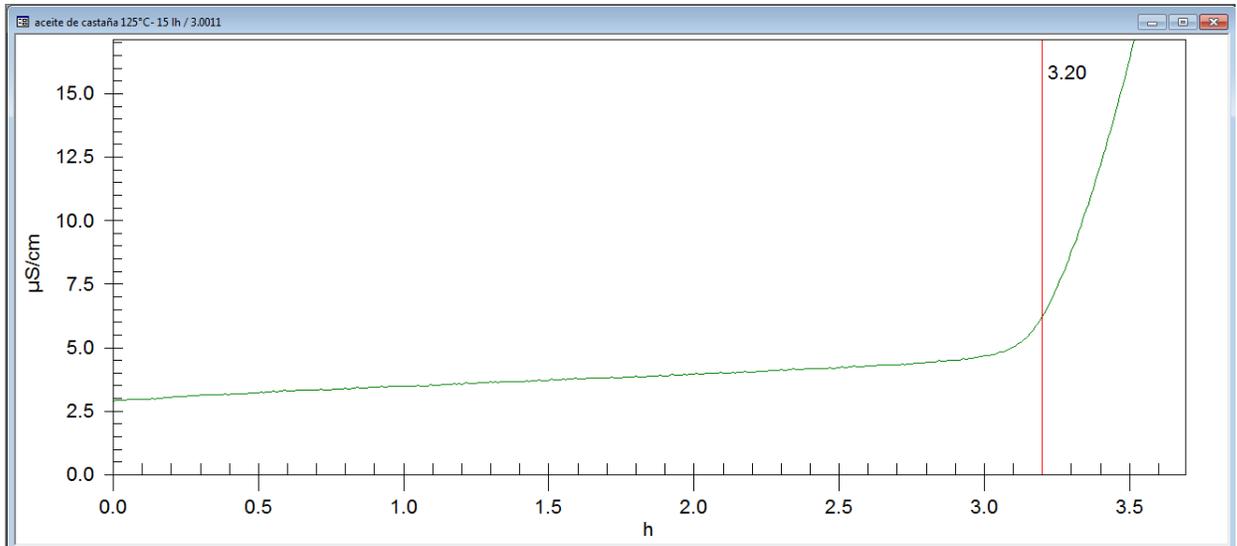


Figura 60. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 140 °C*

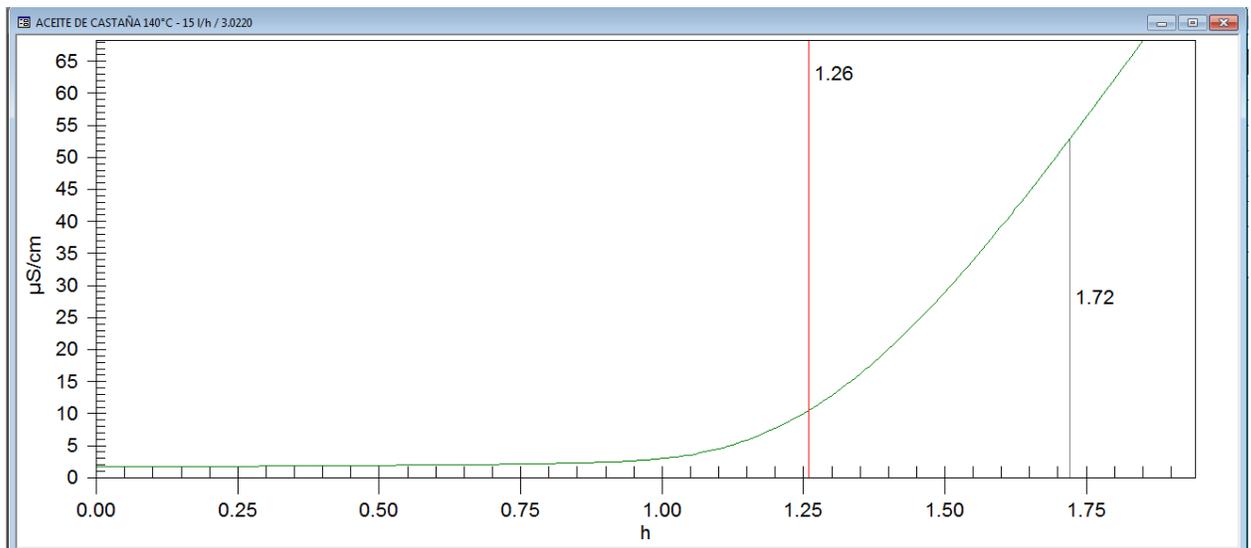


Figura 61. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

ANEXO 04: TIEMPO DE INDUCCION DE MUESTRAS DE ACEITE (20 L/h)

→ *Temperatura 110 °C*

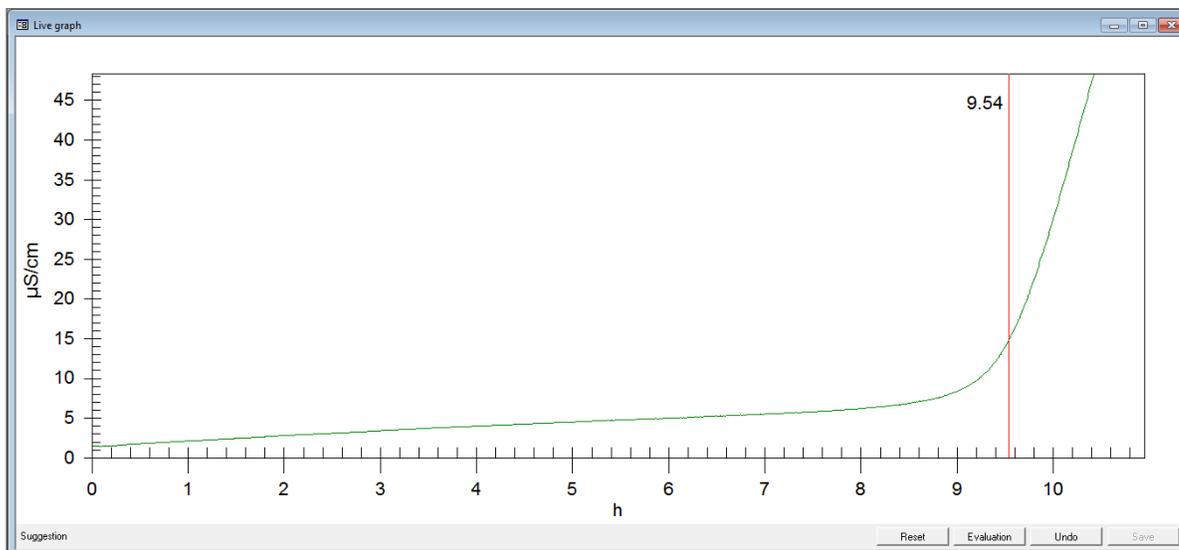


Figura 62. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 110 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 125 °C*

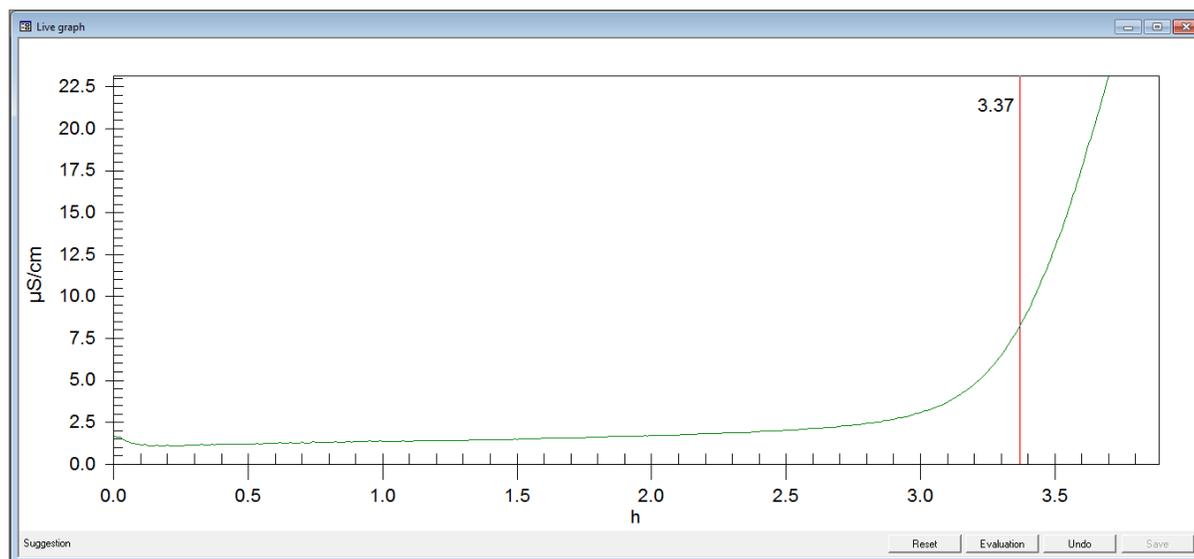


Figura 63. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 125 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire

→ *Temperatura 140 °C*

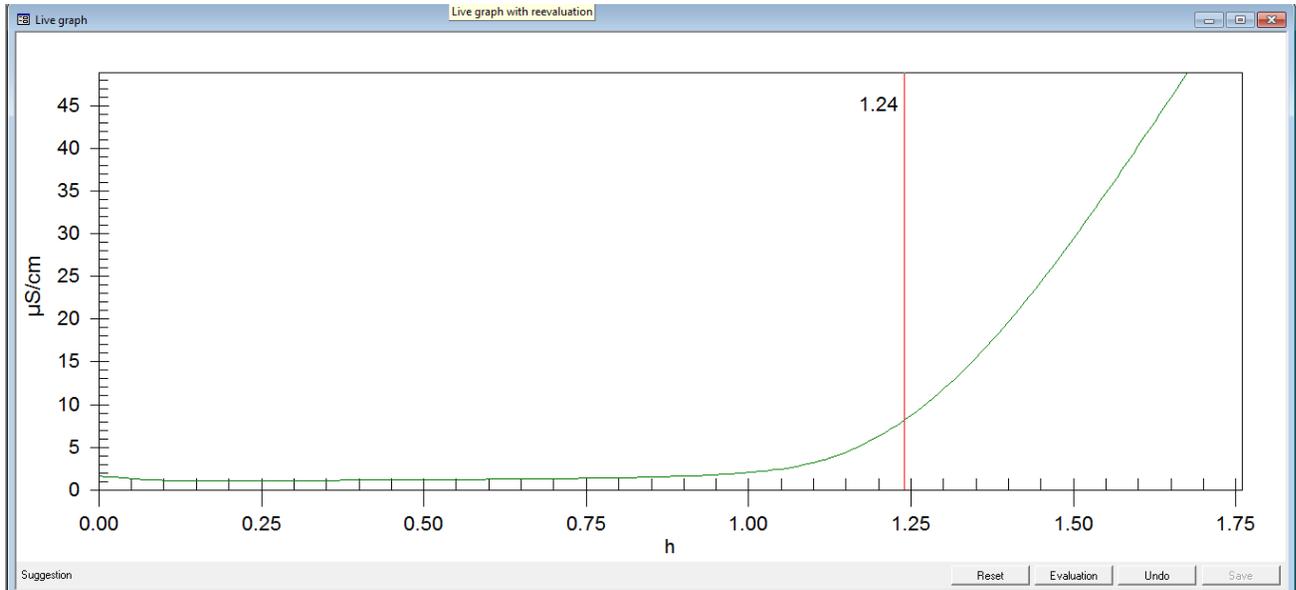


Figura 64. Tiempo de inducción del aceite de castaña a 140 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire

Tiempos de inducción

TABLA 16
Resultados de Tiempo de inducción

Temperatura	Flujo de aire								
	10 L/h			15 L/h			20 L/h		
110 °C	9.23	9.27	9.19	9.60	9.67	9.79	10.07	9.54	9.72
125 °C	3.04	3.23	3.03	3.20	3.14	3.20	3.41	3.37	3.36
140 °C	1.22	1.07	1.18	1.26	1.18	1.23	1.24	1.21	1.22

ANEXO 05: ESTIMACION DE VIDA UTIL POR EXTRAPOLACION

FLUJO DE AIRE A 10 L/h

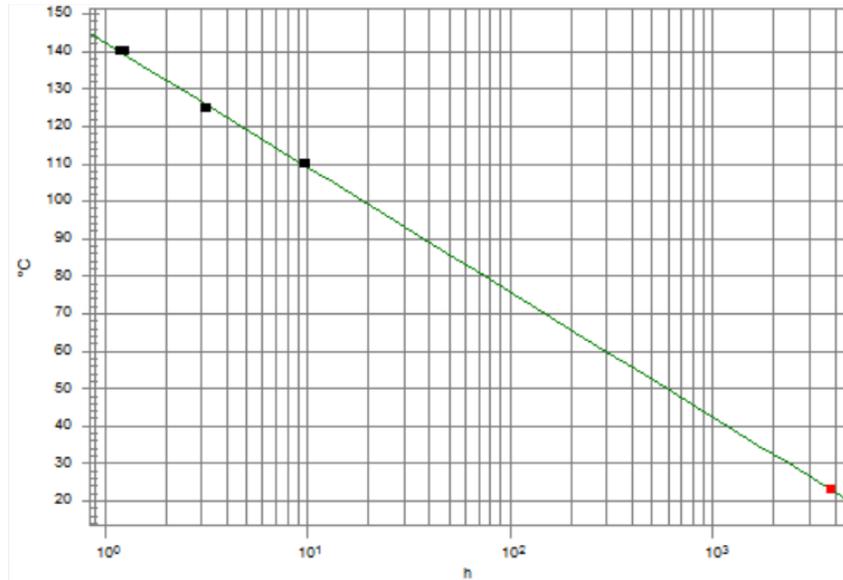


Figura 65. Determinación de vida útil a 23 °C y 10 L/h, por extrapolación

FLUJO DE AIRE A 15 L/h

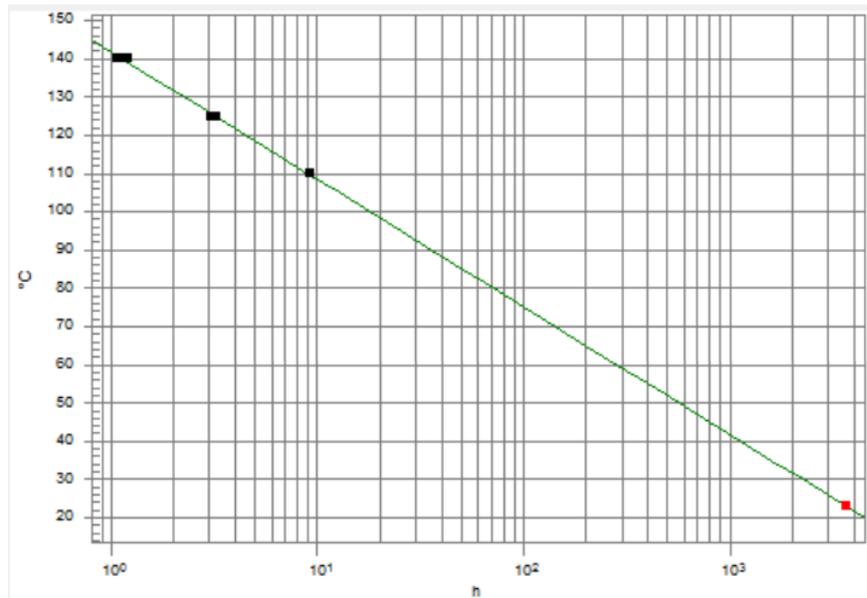


Figura 66. Determinación de vida útil a 23 °C y 15 L/h, por extrapolación

FLUJO DE AIRE A 20 L/h

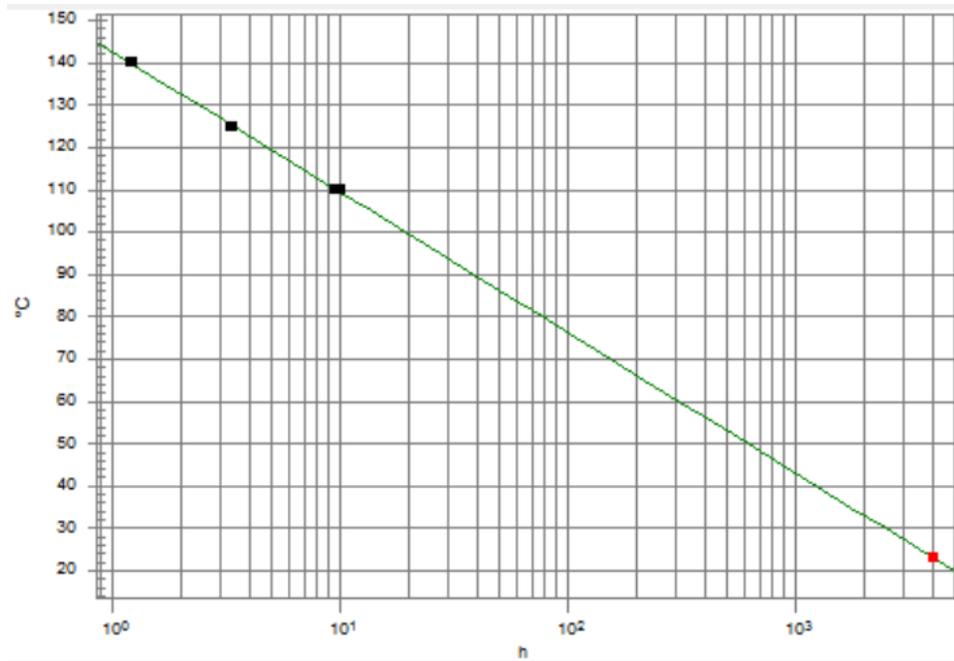


Figura 67. Determinación de vida útil a 23 °C y 20 L/h, por extrapolación

ANEXO 06: DETERMINACION DE LA ENERGIA DE ACTIVACION A PARTIR DE LA ECUACION DE ARRHENIUS

Se puede hacer uso de la ecuación

$$\ln(Ti) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

→ Reemplazando para cada flujo de aire:

- Para flujo de 10 L/h

$$\rightarrow \ln(9.23) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(3.10) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(1.16) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

- Para flujo de 15 L/h

$$\rightarrow \ln(9.68) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(3.18) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(1.22) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

- Para flujo de 20 L/h

$$\rightarrow \ln(9.77) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(3.38) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

$$\rightarrow \ln(1.23) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

→ Reemplazando en las ecuaciones los valores de las pendientes para cada flujo de aire

- Para flujo de 10 L/h

$$\ln(9.23) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{z}\right) + 10618 \frac{1}{T}$$

Entonces:

$$\frac{E_a}{R} = 10618$$

Si: $R = 8.3$

$$E_a = 8.3 \times 10618$$

$$E_a = 88.13 \frac{KJ}{mol}$$

- Para flujo de 15 L/h

$$\ln(9.68) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{z}\right) + 10613 \frac{1}{T}$$

Entonces:

$$\frac{E_a}{R} = 10613$$

Si: $R = 8.3$

$$E_a = 8.3 \times 10613$$

$$E_a = 88.09 \frac{KJ}{mol}$$

- Para flujo de 20 L/h

$$\ln(9.68) = \ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha^*)}{z}\right) + 10597 \frac{1}{T}$$

Entonces:

$$\frac{E_a}{R} = 10597$$

Si: $R = 8.3$

$$E_a = 8.3 \times 10597$$

$$E_a = 87.96 \frac{KJ}{mol}$$

ANEXO 07: PERFIL DE ACIDOS GRASOS DE ACEITE OXIDADO (DESPUES DE RANCIMAT)

✓ *Aceite oxidado a 110 °C y 10 L/h*

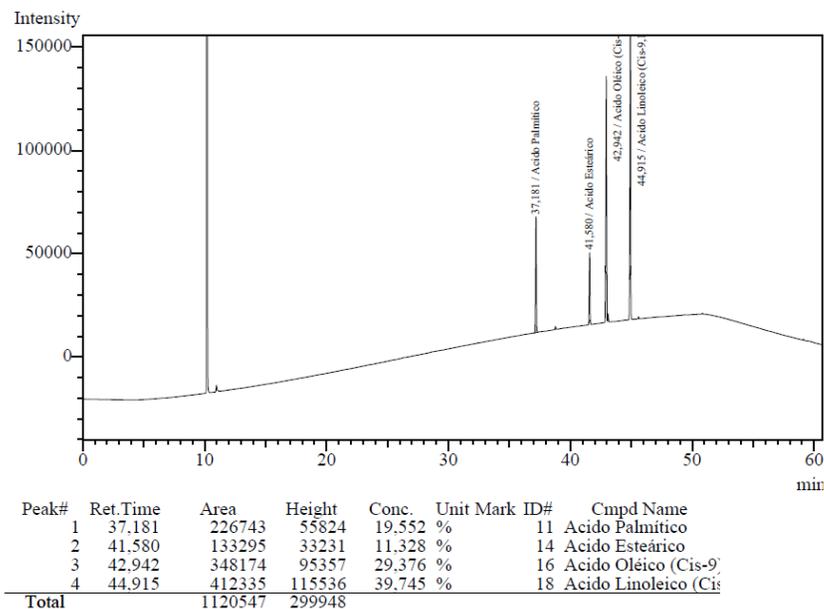


Figura 68. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 110 °C y 15 L/h*

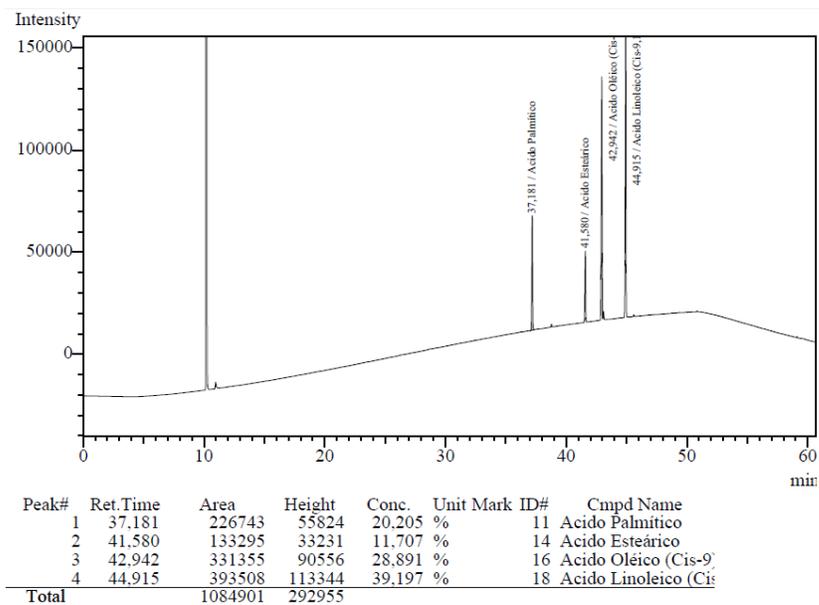


Figura 69. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 110 °C y 20 L/h*

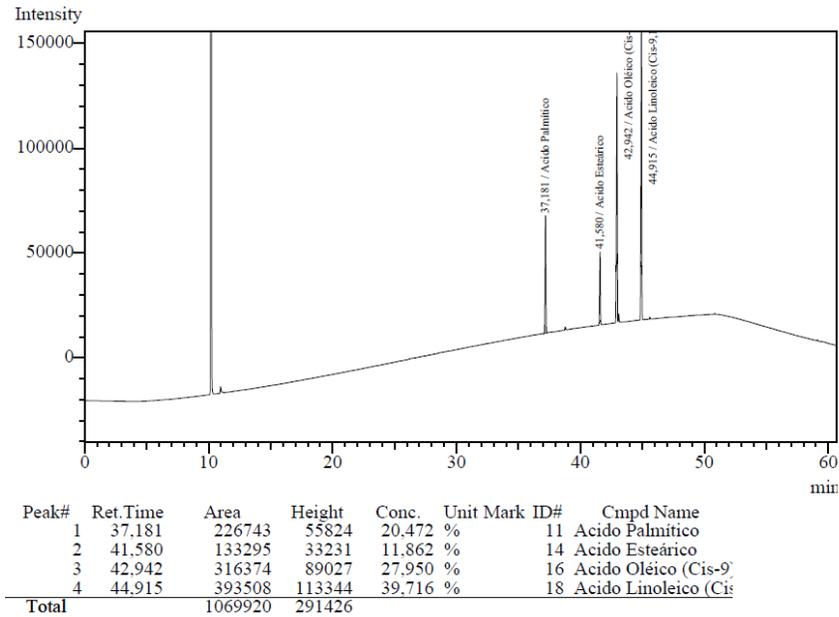


Figura 70. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 110 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 125 °C y 10 L/h*

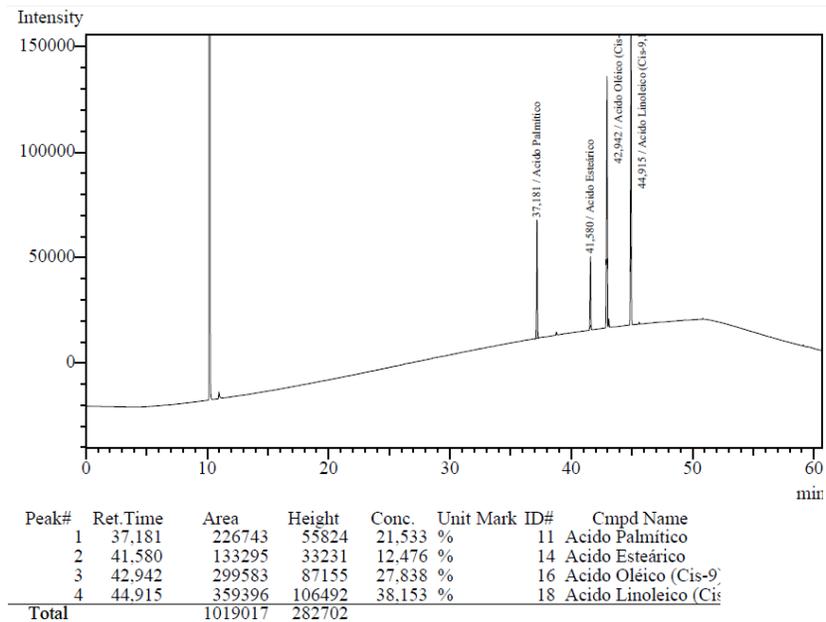


Figura 71. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 125 °C y 15 L/h*

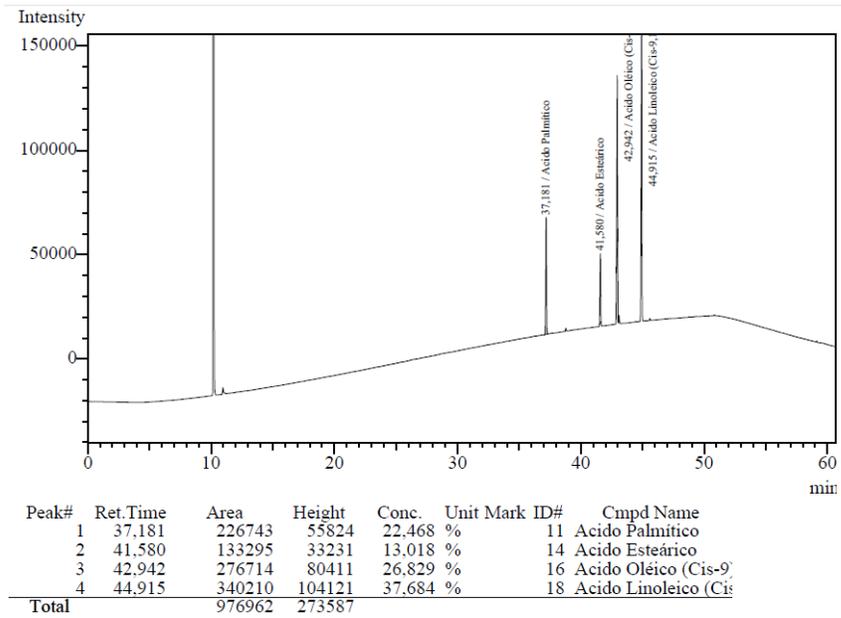


Figura 72. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 125 °C y 20 L/h*

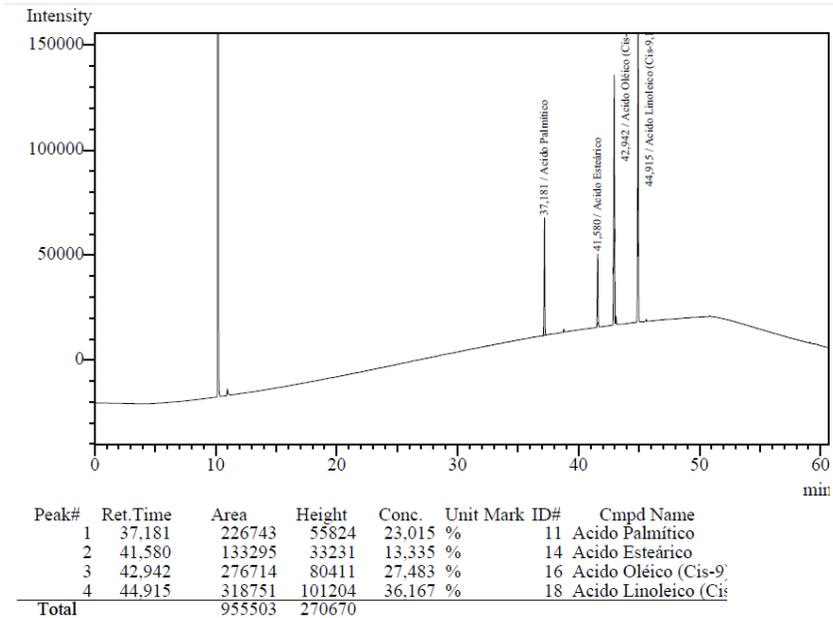


Figura 73. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 125 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 140 °C y 10 L/h*

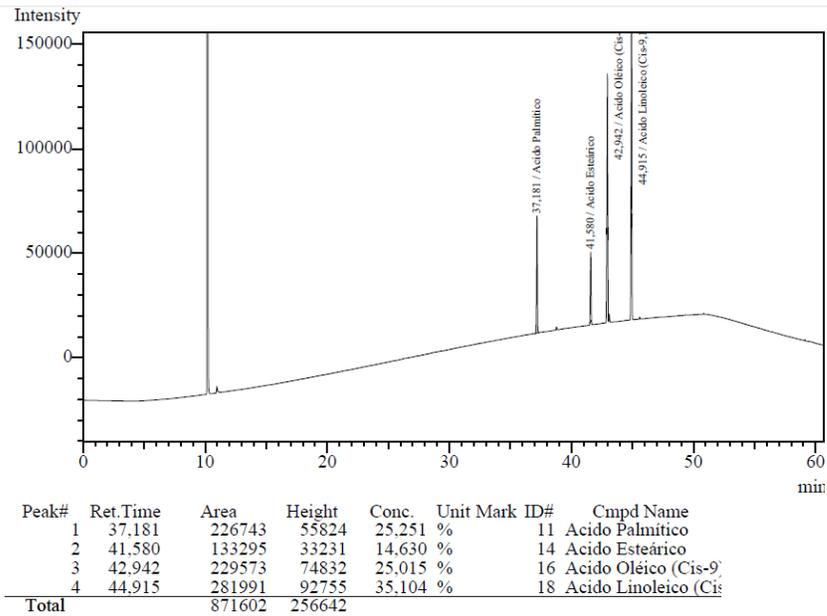


Figura 74. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 10 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 140 °C y 15 L/h*

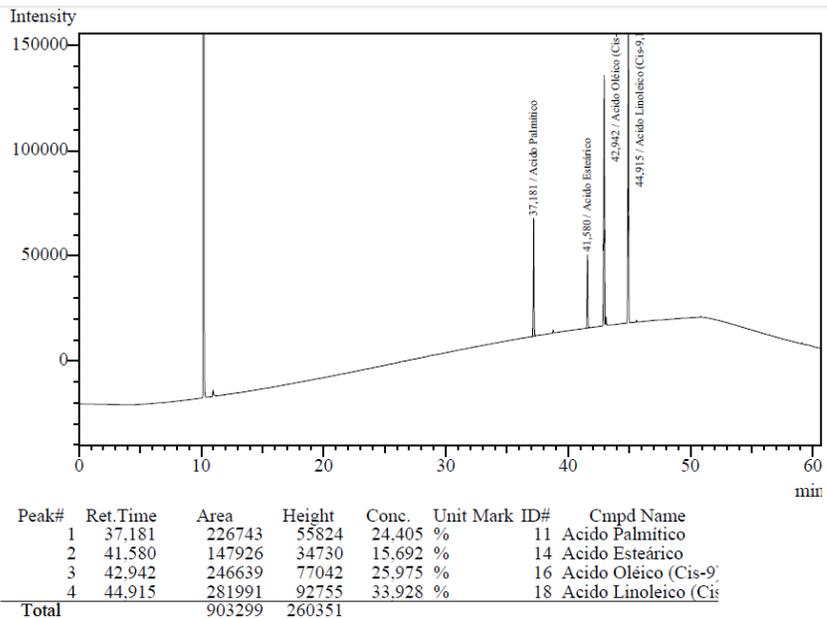


Figura 75. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 15 L/h de flujo de aire

✓ *Aceite oxidado a 140 °C y 20 L/h*

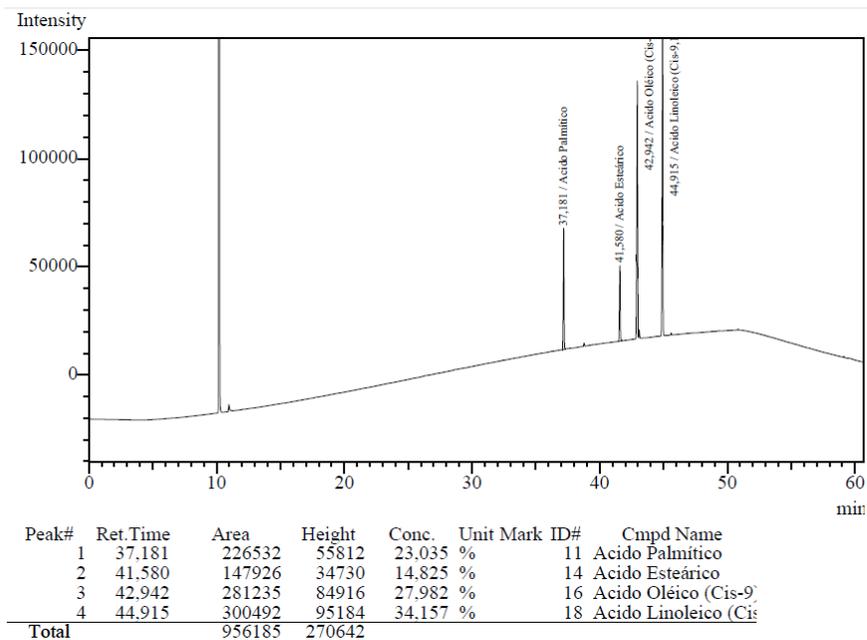


Figura 76. Perfil de ácidos grasos de aceite de castaña sometido a 140 °C de temperatura y 20 L/h de flujo de aire.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

1.1. UNIVERSIDAD:

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.

1.2. ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL.

1.3. TITULO DE TRABAJO:

“CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE DE CASTAÑA (*Bertholletia Excelsa*) MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS”.

1.4. AREA DE INVESTIGACION:

EXPERIMENTAL Y APLICADA.

1.5. AUTORES:

DNI: 46797932, DOMÍNGUEZ ALBA ALEJANDRO PAUL.

DNI: 46706745, JIMENEZ GONZALES DINA LILIANA.

1.6. TITULO PROFESIONAL AL QUE CONDUCE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

1.7. AÑO DE APROBACION DE LA SUSTENTACION:

2017.

II. CONTENIDO DEL RESUMEN:

2.1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO:

2.1.1. Objetivo de la Investigación:

Caracterizar y estimar el tiempo de vida útil del aceite de castaña (*bertholletia excelsa*) mediante pruebas aceleradas, cultivada en la región de Madre de Dios.

2.1.2. Formulación del Problema:

En el marco de la alimentación a base de productos naturales y con alto carácter nutricional, se toma una especial atención a los ácidos grasos como son el omega 6 y omega 9, buenos para controlar problemas cardiacos.

La castaña es uno de los alimentos más ricos en hidratos de carbono, contiene también proteínas y grasas, siendo la mayor parte de ellas, mono o poliinsaturados (Pamplona, 2006, p.307). Aunque apenas tiene vitamina A, es bastante rica en vitamina C (Pamplona, 2006, p.307).

El aceite de castaña, al igual que otras semillas oleaginosas, tiene un alto contenido nutricional, debido a los ácidos grasos que contiene, sin embargo, por su naturaleza, es propenso a sufrir degradación u oxidación por acción del oxígeno y la luz.

Por lo anterior descrito, se desea estimar el tiempo de vida útil del aceite de castaña y determinar sus características fisicoquímicas, mediante condiciones aceleradas de oxidación en el equipo Rancimat.

¿Cuáles son las características fisicoquímicas, en índice de peróxido, índice de acidez, índice de yodo, índice de anisidina, índice de refracción, densidad, viscosidad y composición de ácidos grasos, del aceite de castaña (*Bertholletia Excelsa*)?

¿Cuál es el tiempo estimado de vida útil del aceite de castaña (*Bertholletia Excelsa*) bajo condiciones aceleradas de flujo de aire y temperatura?

2.2. OBJETIVOS:

2.2.1. Objetivo General:

- Caracterizar y estimar la vida útil del aceite de castaña (*Bertholletia Excelsa*) mediante pruebas aceleradas.

2.2.2. Objetivos Específicos:

- Extraer el aceite de castaña (*Bertholletia Excelsa*) por medio de prensado en frío.
- Caracterizar la castaña (*Bertholletia Excelsa*) de acuerdo a sus características fisicoquímicas.
- Estimar la vida útil del aceite de castaña (*Bertholletia Excelsa*) mediante pruebas aceleradas.

2.3. HIPOTESIS:

- El aceite de castaña presenta un Índice de Acidez < 2%, Índice de Peróxido < 2meqO₂/Kg, Índice de yodo > 95, Índice de anisidina < 3, Densidad de 0.9 g/ cm³, Índice de refracción de 1.5, y una composición de dos ácidos grasos importante con 36% en ácido linoleico y 31% en ácido oleico. El tiempo estimado de vida útil del aceite de castaña es de 18 meses.

2.4. MARCO TEORICO:

Castaña o nuez de Brasil (*Bertholletia Excelsa*), es un producto forestal no maderero que crece naturalmente en los bosques amazónicos de Brasil, Bolivia y Perú. El mayor país exportador es Bolivia seguido de Brasil y luego por Perú. El árbol es enorme, con frecuencia llega a alcanzar una altura de 50 metros o más. El fruto es una cápsula leñosa grande esférica o vaina. Dentro de cada cápsula de fruta hay 12-25 nueces con su propia envoltura individual. El árbol puede producir aproximadamente 300 o más de estas vainas de la fruta (Bonelli et al, 2001).

La producción de Perú se localiza en el departamento de Madre de Dios en el sudeste del país. (FAO, 2007, p.83). En el año 2011 la exportación de la castaña llegó a los 28 US\$ millones y hasta junio del 2014 llegó a los US\$ 10.2 millones (www.siicex.gob.pe).

La nuez de Brasil contiene más de un 66.2% de grasas que se enrancian con cierta facilidad, constituidas en una proporción de hasta 25% por ácidos grasos saturados. Las nueces de Brasil son ricas en proteínas (14.3%), vitamina E y en minerales (fosforo, magnesio, calcio y hierro). Pero su propiedad dietética más importante es su elevado contenido de vitamina B1, esto las hace muy recomendables en caso de trastornos nerviosos, como irritabilidad, depresión,

pérdida de memoria y falta de concentración o rendimiento intelectual. (PAMPLONA, 2006, p.53).

El aceite de nuez de Brasil tiene propiedades antioxidantes por su composición rica en omegas y selenio. Aceite muy apreciado por sus propiedades hidratantes. Tiene una excelente composición de ácidos grasos esenciales y brinda un considerable tenor de proteínas, lípidos y vitaminas.

La oxidación lipídica es una de las alteraciones más importantes de los alimentos porque puede ocurrir en cualquier etapa de su elaboración, procesado y conservación; y afecta a la calidad y seguridad de los alimentos. Los efectos adversos para la salud atribuidos a los compuestos de oxidación lipídica están particularmente relacionados con el inicio y desarrollo de procesos crónicos y degenerativos como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Márquez, 2013). La oxidación lipídica es una reacción en cadena promovida por los radicales libres que originan un producto que también es radical y que, a su vez reacciona y origina otro radical (ITFP, 2004, p. 121). Se denomina radical a cualquier especie química con uno o más electrones desapareados (ITFP, 2004, p. 122).

En aceites a menudo se encuentran trazas de hidroperóxidos que se han formado por la acción de la lipooxigenasa antes y durante de la extracción del aceite y el la responsable de la iniciación de la oxidación lipídica (ITFP, 2004, p.121).

Uno de los componentes que más fácilmente sufre la oxidación son los lípidos, y concretamente los ácidos grasos insaturados. Los ácidos grasos poliinsaturados forman parte de los alimentos y su oxidabilidad depende de las insaturaciones. Generalizando, la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados es la responsable de la formación de compuestos de polimerización característicos del color oscuro, rancidez, sabores y olores desagradables y a veces tóxicos (ITFP, 2004, p. 123).

El Rancimat es un método de medida de estabilidad oxidativa de aceites y grasas en condiciones aceleradas, basado en la inducción de la oxidación de la muestra por exposición a elevadas temperaturas y flujo de aire. De esta manera permite estimar el tiempo de inducción o tiempo de estabilidad oxidativa, siendo este el momento a partir del cual la muestra ha superado el tiempo en el que permanece estable, y siendo por tanto indicativo de una pérdida de calidad y vida útil de la muestra (www.uam.es).

El método Rancimat es por tanto una herramienta fundamental en la valoración tecnológica y de garantía de seguridad de aceites y grasas; permitiendo además la evaluación y optimización de estrategias de estabilización de aceites y grasas mediante compuestos antioxidantes (www.uam.es).

2.5. CONCLUSIONES:

- El aceite de castaña extraído por prensado en frío presentó características fisicoquímicas, con valores aceptables los cuales concuerdan con los valores estipulados en la norma, según estos resultados y por lo indicado en la bibliografía se concluye que el producto extraído es un aceite extra virgen. La duración estimada del aceite de castaña sometido a temperatura de almacenamiento de 23 °C, es de 153 días.
- Se obtuvo aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*) por extracción de prensado en frío; el aceite obtenido de este modo mantiene el sabor y las propiedades originales de las semillas de castaña.
- Se caracterizó el aceite de castaña de acuerdo a sus características fisicoquímicas: densidad, índice de refracción, acidez, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de anisidina y perfil de ácidos grasos, mediante el uso de equipos y métodos estandarizados, obteniendo datos

similares a los encontrados en bibliografía o reportados por autores en diferentes trabajos de investigación.

El aceite de castaña presenta: índice de refracción de 1.471 (a 20 °C), densidad de 0.9105 g/cm³ (a 20 °C), índice de peróxido no detectable, índice de acidez de 0.1358±0.0005%, índice de yodo de 93.877±0.949 g/100 g aceite. Además del perfil de ácidos grasos, obteniendo ácido palmítico 14.39±0.03%, ácido esteárico en 9.25±0.01%, también ácido oleico en 33.94±0.07 y ácido linoleico en 42.41±0.01, es decir el 24% son ácidos grasos saturados y 76% de ácidos grasos insaturados.

- Mediante las pruebas aceleradas en el equipo Rancimat, se obtuvo los tiempos de inducción del aceite de castaña sometido a flujos de aire de 10, 15 y 20 L/h, y temperaturas de 110, 125 y 140°C; permitiendo estimar la vida útil del aceite de castaña a 23°C; llegando a la conclusión que la vida útil del aceite de castaña almacenado a temperatura de 23°C es de 153 días.

2.6. RECOMENDACIONES:

El presente trabajo plantea las siguientes investigaciones:

- Según el resultado de la acidez del aceite de castaña, se determinó que el producto extraído de las semillas es un aceite extra virgen, considerando las normas de referencia del aceite de oliva (acidez del aceite de oliva). Por lo cual es conveniente seguir realizando estudios en base a la calificación y caracterización de los diferentes aceites vegetales para la creación de futuras normas donde se establezca las características de los aceites extra vírgenes procedentes de otras materias.
- Se ha realizado el estudio de la vida útil del aceite de castaña a condiciones ambientales, cuya preservación es debido a la presencia de compuestos con

actividad antioxidante (antioxidantes naturales); sin embargo, el tiempo de vida útil es muy corto a comparación de otros aceites vegetales, por ello se recomienda realizar estudios de la estabilidad oxidativa del aceite con la adición de antioxidantes.

- Caracterización de la torta de semillas de Castaña, obtenido por prensado en frío.

2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Agencia de comercio exterior (AGECEX). 2009. Estudio de mercado “Recurso castaña”. Bolivia.
- Blanco, N y López, M. 2006. Vida útil del aceite de girasol alto oleico y del aceite de girasol convencional durante el proceso continuo de fritura de maní. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Médicas. Argentina.
- Bello, J. 2000. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Bonelli, P; Della, P; Cerella, E; Cukierman, E. 2001. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shells. Universidad de Buenos Aires-Departamento de Industrias. Argentina.
- Callisaya, E. 2012. Factores que determinan el consumo de castaña en la ciudad de la paz. Universidad Mayor de San Andrés-Facultad de Ciencias Económicas y Financieras. Bolivia.
- CFC Naciones Unidas. 2004. Atlas de productos básicos. Suiza.
- Chica, B y Osorio, S. 2003. Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Colombia.

- CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL (COI). 2013. Norma aplicable a los aceites de oliva y los aceites de orujo de oliva. España. Séptima Revisión.
- Coronado, M; Vega, S; Gutiérrez, R; García, B; Díaz, G. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción limpia (CORPODIB). Colombia.
- Díaz, J. 2004. Descubre los frutos exóticos. España. Ediciones Norma.
- Dufour, A y Festy, D. 2007. La revolución de los omega 3: las nuevas estrellas de la salud. España. Ediciones Robinbook.
- FAO. 2007. Las microfinanzas y las pequeñas empresas forestales. Italia.
- Farhoosh, R. 2008. Shelf-life prediction of edible fats and oils using Rancimat. Lipid Technology.
- Fernández, R; Barranco, D; Rallo, L. 2008. El cultivo del olivo. España. Editorial Mundi Epena. Sexta Edición.
- Festy, D. 2007. Anti Oxydants. Guide pratique. España. Editorial Robinbook.
- García, D; Seclen, A; Rengifo, D; Saldaña, R; Dávila, E; Merino, C; Sotero, V. 2013. Obtención de lípidos estructurados a partir de mezclas binarias de aceites de castaña (*Bertholletia excelsa*) y sachá inchi (*plukenetia volubilis* L.). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP)-Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Perú.
- Gil, A. 2010. Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos. Segundo tomo. España. Editorial Médica Panamericana.
- Gutierrez, J. 2005. Calidad de vida, alimentos y salud humana: fundamentos científicos. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 2014. INIA produce castañas de madre de dios en otras regiones. Apartado postal 2791. Perú.

- Instituto Superior de Formación del Profesorado (ITFP). 2004. La transformación industrial de la producción agropecuaria. Colección Aulas de Verano. España. I Edición.
- Koolman Y Rohm, 2004. Bioquímica texto y Atlas. 3° Edición. España. Editorial Médica Panamericana.
- Limachi, I; Farfán, O; Stener, O; Giménez, A. 2009. Estudios preliminares de la caracterización química de ácidos grasos del aceite de frutos de *Bertholletia excelsa* por cromatografía de gases. Instituto de Investigaciones Fármaco Químicas, Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- Marquez, G. 2013. Compuestos de oxidación lipídica mayoritarios en los alimentos: nuevos métodos para su determinación cuantitativa y efectos sobre modelos celulares Caco-2. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid. España.
- Ministerio de Agricultura (MINAG). 2011. Dinámica Agropecuaria 2002-2011. Perú.
- Ministerio de Agricultura (MINAG). 2013. Gobierno Regional de Madre de Dios-Dirección Regional de Agricultura. Plan estratégico regional del sector agrario madre de dios 2008-2015. Perú.
- Nasiff, A y Meriño, E. 2003. Ácidos grasos omega 3: pescados de carne azul y concentrados de aceites de pescado. Lo bueno y lo malo. Hospital Clínicoquirurgico “Hermanos Ameijeiras”. Cuba.
- Navarro, G. 2004. Nueva herramienta para el estudio de la oxidación de los ácidos grasos, una de las causas fundamentales de la pérdida de calidad de los alimentos para la acuicultura. Universidad de Sonora. México.
- Navas, P. (2010). Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de efluentes vegetales convencionales y no convencionales. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas. España.
- OCDE/FAO (2011), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2011-2020, OCDE Publishing.

- OCDE/FAO (2013), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Pamplona, J. 2006. Salud por los Alimentos. España. Editorial Safeliz. Primera Edición.
- Pitchford, P. 2007. Sanando con alimentos integrales. Estados Unidos.
- Polakiewicz, B; Gioielli, L; Sotero, V. 2001. Hidrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). Universidad de Sao Paulo, Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica. Brasil.
- Polakiewicz, B; Gioielli, L; Sotero, V. 2000. Mezclas binarias y terciarias del aceite y grasa hidrogenada de la castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). Universidad de Sao Paulo, Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica. Brasil.
- Rodrigues, J; Azevedo, F; Machado, N. 2005. Phase equilibrium measurements of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil in supercritical carbon dioxide. Federal University of Pará. Brasil.
- Rojano, B; Gaviria, C; Saez, J. 2008. Determinación de la actividad antioxidante en un modelo de peroxidación lipídica de mantequilla inhibida por el isoespintanol. Universidad Nacional de Colombia-Universidad de Antioquia. Colombia.
- Ronayne, P. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. Argentina.
- Sangay, S. 2010. Obtención y evaluación de carbón activado del endocarpio de castaña (*Bertholletia excelsa*) procedente de plantación y de bosque natural, empleando un método químico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- Sastre, A y Hernandez, M. 1999. Tratado de nutrición. España. Ediciones Díaz de Santos.
- Sotero, V; Montero, U; Merino, C; Maco, M; Dávila, E; Garcia, D. 2011. Estabilidad fisicoquímica de las semillas deshidratadas de castaña

(*Bertholletia excelsa*). Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP)-Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP). Perú.

- Thomson, C. 2009. Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*): improved selenium status and other health benefits. Department of Human Nutrition, University of Otago. New Zealand.
- Vega, A. 2004. Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. Convenio Andrés Bello. Colombia.
- Yang, J. 2009. Brazil nuts and associated health benefits: a review. Estados Unidos.