

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

**Caracterización del Aceite y la Fibra Dietética Obtenidos
a Partir de Semilla de Arándano (*Vaccinium
corymbosum L.*)**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Ciencias de los Alimentos

Evelyn Jordana Parada Caro

VALDIVIA – CHILE

2005

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. Fernando E. Figuerola Rivas
Ingeniero Agrónomo, M. S. Food Science
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Facultad de Ciencia Agrarias

Firma

PROFESORES INFORMANTES:

Sr. Alejandro F. Romero Mella
Bioquímico, Ph. D.
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Facultad de Ciencia Agrarias

Firma

Srta. María A. Martínez Sanguinetti
Licenciado en Ciencias Biológicas, Bioquímico
Instituto de Farmacia
Facultad de Ciencias

Firma

*A mis padres, por su amor, constante apoyo,
dedicación y esfuerzo, que hicieron posible
el logro de mi formación profesional ...*

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos:

- ❖ Al Sr. Fernando Figuerola R., profesor patrocinante, por su gentil apoyo y orientación en el desarrollo de la presente investigación.
- ❖ A la Srta. María Adela Martínez S. y al Sr. Alejandro Romero M., profesores informantes, por su colaboración y asesoría académica en la realización de este trabajo.
- ❖ A la Sra. Marcia Rojas, Sr. Fernando Asenjo, Sr. Ramón Mansilla y Sr. Raúl Cristi, por su gentil colaboración en la fase experimental de esta tesis.
- ❖ Al personal administrativo y a los auxiliares del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, por su amable disposición y ayuda prestada.
- ❖ A mis amados padres, Hugo y Noemí, a mis queridos hermanos, Marisol, Hugo y Rocío y a mi gran amiga Verónica Garrido, por su incondicional apoyo, comprensión y amistad brindada en todo momento.
- ❖ A mis compañeras y compañeros, por su amistad y porque me hicieron más agradables las largas jornadas de trabajo.
- ❖ A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron al buen logro de esta investigación.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Características generales del arándano	3
2.2	Producción de arándano en Chile	5
2.3	Aprovechamiento de subproductos de la elaboración de jugo de arándano	5
2.4	Importancia nutricional de los lípidos	8
2.5	Obtención y caracterización de aceite vegetal comestible	12
2.5.1	Condiciones de la materia prima	13
2.5.2	Métodos de extracción	13
2.5.2.1	Prensado en frío	13
2.5.2.2	Extracción por solventes	14
2.5.3	Refinación	15
2.5.3.1	Desgomado o desmucilaginación	15
2.5.3.2	Neutralización	16
2.5.3.3	Decoloración o blanqueo	16
2.5.3.4	Hibernación o winterización	17
2.5.3.5	Desodorización	17
2.5.4	Deterioro de los lípidos	18
2.5.5	Caracterización física y química de aceites vegetales comestibles	20
2.5.5.1	Determinación de composición de ácidos grasos por cromatografía gas-líquido	20
2.5.5.2	Determinación de acidez libre	21

2.5.5.3	Índice de peróxido	21
2.5.5.4	Índice de yodo	22
2.5.5.5	Índice de saponificación	22
2.5.5.6	Índice de refracción	22
2.5.5.7	Peso específico	23
2.5.5.8	Color	23
2.6	Fibra dietética	23
2.6.1	Clasificación de la fibra dietética	24
2.6.2	Funciones de la fibra dietética	26
2.6.2.1.	Celulosa	28
2.6.2.2	Hemicelulosas	28
2.6.2.3	Pectinas, gomas y mucílagos	29
2.6.2.4	Lignina	29
3	MATERIAL Y MÉTODO	30
3.1	Lugar de ensayo	30
3.2	Materia prima	30
3.3	Obtención de la semilla	30
3.4	Obtención de aceite crudo y refinado de semilla de arándano	31
3.4.1	Extracción a baja temperatura	31
3.4.2	Refinación del aceite crudo	34
3.5	Metodología de análisis	34
3.5.1	Determinación del contenido de materia grasa de la semilla	34
3.5.2	Composición de ácidos grasos	36
3.5.2.1	Preparación de los ésteres metílicos	36
3.5.2.2	Análisis por cromatografía gas-líquido	36
3.5.3	Determinación de parámetros químicos y físicos	36
3.5.3.1	Acidez libre	36

3.5.3.2	Índice de peróxido	37
3.5.3.3	Índice de yodo	37
3.5.3.4	Índice de saponificación	37
3.5.3.5	Índice de refracción	37
3.5.3.6	Peso específico	37
3.5.3.7	Color	37
3.5.4	Caracterización de la fibra de la semilla	37
3.6	Diseño experimental y análisis estadístico	41
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
4.1	Composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano	42
4.2	Características físicas y químicas del aceite crudo y refinado de semilla de arándano	50
4.2.1	Acidez libre	56
4.2.2	Índice de peróxidos	56
4.2.3	Índice de yodo	56
4.2.4	Índice de saponificación	58
4.2.5	Índice de refracción	58
4.2.6	Peso específico	59
4.2.7	Color	59
4.3	Fibra cruda y dietética	61
5	CONCLUSIONES	66
6	RESUMEN	67
	SUMMARY	68
7	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química del arándano	4
2	Producción y exportación de arándanos para el año 2000	5
3	Rendimientos en el proceso de elaboración de jugo concentrado de arándano	8
4	Recomendaciones de ingesta de ácido linoleico	11
5	Clasificación fisiológica de fibra dietética	25
6	Clasificación de fibra dietética según su solubilidad en agua	25
7	Clasificación de fibra dietética según su grado de fermentación	26
8	Condiciones del análisis cromatográfico	39
9	Composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano	43
10	Composición de ácidos grasos de aceite crudo de semilla de frambuesa, sandía y calabaza y aceite refinado de semilla de rosa mosqueta	45
11	Perfil de ácidos grasos de aceite obtenido por prensado en frío de semilla de frambuesa, <i>cranberry</i> y rosa mosqueta	47
12	Composición de AGE de algunos de los aceites más usados y otros menos tradicionales	48
13	Parámetros físicos y químicos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano	51
14	Determinación de color de aceite crudo y refinado	51
15	Parámetros físicos y químicos de aceite crudo de semilla de frambuesa, sandía y calabaza y de aceite refinado de semilla de rosa mosqueta	53

16	Contenido de fibra cruda de semilla de arándano	62
17	Composición de fibra dietética total, soluble e insoluble en semilla de arándano	63

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Torta de prensado descongelada	31
2	Esquema de obtención de semilla de arándano limpia y seca	32
3	Proceso de extracción a baja temperatura de aceite crudo de semilla de arándano	33
4	Proceso de refinación de aceite crudo de semilla de arándano	35
5	Determinación de ácidos grasos en muestras de aceite de semilla de arándano.	38
6	Determinación de fibra cruda por el método F.D.N.	40
7	Comparación de composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano	44
8	Comparación de composición de ácidos grasos de aceite crudo de semilla de arándano, frambuesa, sandía y calabaza	46
9	Comparación de composición de ácidos grasos de aceite refinado de semilla de arándano y rosa mosqueta	46
10	Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite crudo y refinado de semilla de arándano	52
11	Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite crudo de semilla de arándano y de semilla de frambuesa, sandía y calabaza	54
12	Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite refinado de semilla de arándano y de semilla de rosa mosqueta	55
13	Color del aceite crudo	60
14	Aceite crudo y refinado de semilla de arándano	61

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Diagrama de cromaticidad CIE	77
2	Resumen estadístico para composición de ácidos grasos	78
3	Resumen estadístico de parámetros físicos y químicos	79

1. INTRODUCCIÓN

De las especies de arándano existentes en el país, el arándano “alto” (*Vaccinium corymbosum* L.) es el más ampliamente cultivado por ser el que presenta un fruto de mayor calidad en cuanto a tamaño y sabor. Entre sus características se destaca el que presenta propiedades beneficiosas para la salud atribuibles a compuestos químicos con valor biológico presentes en forma natural en el fruto, como por ejemplo un alto contenido en vitaminas, minerales, fibras y a la presencia de pigmentos naturales llamados antocianinas. Estas propiedades le confieren la capacidad de bloquear efectos en la salud relacionados con la edad, tales como capacidad para mejorar la microcirculación, la permeabilidad capilar, aumentar la agudeza visual y propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antihemorrágicas, entre otras. Dentro de las características tecnológicas del arándano, se destaca que permite variadas alternativas de consumo e industrialización, ya sea como fruto fresco, congelado, deshidratado, o procesado como mermelada o jugo concentrado.

En la elaboración de jugo concentrado de arándano, el proceso contempla un prensado de la fruta para la extracción del jugo, lo cual genera una torta de prensado conformada principalmente por los orujos de la fruta y sus semillas, lo cual podría ser considerado como un aprovechamiento incompleto de la materia prima y estar desechando una gran fuente de compuestos con importante valor biológico, teniendo en cuenta que ciertos estudios de investigación revelan que muchas de las propiedades benéficas de los *berries* residen en las semillas. Además, la descarga constante de estos residuos representa para la industria uno de los principales problemas a enfrentar a fin de minimizar su impacto ambiental.

En la actualidad, se está dando cada vez más importancia al aprovechamiento de los residuos de los procesos de elaboración de alimentos, lo cual contribuiría al desarrollo de nuevos productos alimenticios o fuentes de nutrientes para alimentación humana y animal. Por lo tanto, de acuerdo a todo lo antes señalado, sería de gran importancia encontrar formas de aprovechar esta torta de prensado, buscando maneras prácticas de darle mayor valor agregado.

Hipótesis:

Es posible obtener aceite y fibra dietética de buena calidad nutricional a partir de semillas de arándano, susceptibles de ser destinados a uso culinario, cosmetológico o para alimentación animal.

Objetivo general:

Caracterizar el aceite obtenido de la semilla de arándano y la fibra dietética presente en la fracción desgrasada de estas semillas.

Objetivos específicos:

- Determinar el perfil de ácidos grasos del extracto etéreo de las semillas
- Caracterizar el aceite obtenido de la semilla según parámetros físicos y químicos
- Caracterizar la fibra dietética total presente en la semilla, en términos de su composición en fibra soluble e insoluble

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características generales del arándano

Desde algunas décadas a la fecha, el arándano ha sido reconocido extensamente por sus excelentes propiedades potencialmente benéficas para la salud gracias a su elevada actividad antioxidante (PRIOR *et al.*, 1998; LEE y WROLSTAD, 2004).

Las propiedades de prevención de enfermedades degenerativas y propiedades anticancerígenas atribuibles al arándano, se sustentan en principios activos presentes en el fruto, tales como quercetina, taninos catéquicos, ácidos orgánicos, azúcar invertido, inositol, pectinas, carotenos, abundantes pigmentos antociánicos, proantocianidinas, flavonoides y vitaminas A y C (SMITH *et al.*, 2000). Se ha descubierto incluso que el arándano posee tres veces más antioxidantes que las uvas rojas, lo cual contribuye a disminuir el riesgo de infartos en quienes los consumen habitualmente (MORAGA, 2004).

Los taninos del arándano le proporcionan una acción astringente y antidiarréica, además, le confieren propiedades antimicrobianas frente a bacterias intestinales patógenas en conjunto con ácidos orgánicos (málico y cítrico), carbohidratos (sobre todo pectina) y vitaminas A y C. La acción anticancerígena se debe a la abundancia de antocianósidos oxidorreductores, peróxidos, vitaminas y sales minerales que combaten las deficiencias celulares generadas por los radicales libres.¹

En el CUADRO 1 se muestra en detalle la composición química o nutricional del arándano (*Vaccinium corymbosum L.*).

¹ <http://www.plantasmedicinales.org/farmacognosia/feb2002/taninos.htm>

CUADRO 1. Composición química del arándano.

Contenido energético			
de los componentes digeribles de 100g		porción comestible	kJ: 153
de			kcal: 36
Componentes principales de 100 g de porción comestible			
Agua	84.6 g	Ácidos orgánicos	1.4 g
Proteína	0.6 g	Fibra	4.9 g
Grasa	0.6 g	Sales minerales	0.3 g
Hidratos de carbono	6.0 g		
Composición detallada de 100 g de porción comestible			
Sales minerales		Hidratos de carbono	
Sodio	1 mg	Glucosa	2460 mg
Potasio	65 mg	Fructosa	3340 mg
Magnesio	2 mg	Sacarosa	190 mg
Calcio	10 mg	Xilitol	2 mg
Manganeso	300-5000 µg	Sorbitol	4 mg
Hierro	740 µg	Lípidos	
Cobre	110 µg	Ácido palmítico	15 mg
Cinc	100 µg	Ácido esteárico	trazas
Fósforo	13 µg	Ácido málico	70 mg
Cloro	4 mg	Ácido linoleico	175 mg
Flúor	2 µg	Ácido linolénico	220 mg
Vitaminas		Otros componentes	
Carotenos	130 µg	Ácido málico	850 mg
Vit. B ₁	20 µg	Ácido cítrico	525 mg
Vit. B ₂	20 µg	Ácido oxálico	0
Nicotinamida	400 µg	Ácido tartárico	220 µg
Ácido pantoténico	160 µg	Ácido clorogénico	120 mg
Vit. B ₆	60 µg		
Biotina	1 µg		
Ácido fólico	6 µg		
Vit. C	30 mg		
Aminoácidos			
Triptófano	10 mg		

FUENTE: SENSER y SCHERZ (1999).

2.2 Producción de arándano en Chile

Chile aparece en la actualidad como uno de los mayores productores exportadores de arándano del hemisferio sur, compitiendo con Nueva Zelanda, Australia y Argentina (BUZETA, 1997). El gran despegue se produjo en el año 2001. Según información entregada por la Pontificia Universidad Católica de Chile, la superficie plantada aumentó de 1.200 hectáreas en el año 2000 a cerca de 4.800 para el 2001 y se estima que a fines del 2005 podrían llegar a 5.500¹.

En el CUADRO 2 se entregan datos reportados por el Servicio Nacional de Aduanas con respecto a la producción anual estimada y detalles sobre el total de exportaciones fresco equivalentes de arándanos para el año 2000 en Chile.

CUADRO 2. Producción y exportación de arándanos para el año 2000.

Ítem	2000
Superficie Estimada (há)	1500,0
Rendimiento (Ton/há)	3,2
Producción Anual Estimada (Ton)	4761,0
Exportación Fresco	4041,0
Exportación Congelado	93,0
Exportación Jugo 65° Brix Equivalentes Fresco	436,0
Total Exportaciones Fresco Equivalentes	4570,0
Pérdidas (4% sin uso comercial)	190,0

FUENTE: CHILE, FUNDACIÓN CHILE, ÁREA AGROINDUSTRIAL (2001).

2.3 Aprovechamiento de subproductos de la elaboración de jugo de arándano

En los últimos años se ha enfocado mayor atención a la búsqueda de formas de utilización de subproductos y residuos de procesos industriales, lo que incluye, por cierto, a la industria alimentaria. Tal utilización contribuiría a un

¹ http://www.universia.cl/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=75410

aumento de los recursos disponibles y a la producción de variados productos nuevos, a la vez que se lograría evitar los problemas de costos que le significan al productor disponer de tales desechos, sin causar un daño potencial al medio ambiente (EL-ADAWY y TAHA, 2001).

Un ejemplo de ello es lo que sucede en el procesamiento de jugo concentrado de arándano, el cual inevitablemente, debido al prensado de la fruta, genera un residuo conformado por semillas, pulpa y orujo. Esta torta o queque de prensa obtenida, conserva aún una gran cantidad de compuestos bioactivos de gran valor presentes en el fruto fresco (LEE *et al.*, 2002).

Según ZAMORANO (2003), ciertos estudios de investigación revelan que muchas de las propiedades benéficas de los *berries* en general residen en las semillas. Por lo tanto, actualmente se estaría desechando una gran fuente de compuestos con propiedades terapéuticas y de prevención de enfermedades, presentes en los queques de prensa de la industria de jugos de *berries*, los cuales en la actualidad están siendo tratados como productos de desecho.

El uso de productos de valor agregado como semillas o aceites de semillas, es un área que genera gran interés en el sector manufacturero, como lo que ha sucedido con la aparición del aceite de semilla de uva o el de rosa mosqueta. Este es un nuevo campo que posee un gran potencial para las industrias productoras y procesadoras de *berries*, ya que, si se pudiera establecer un mercado para estas semillas, toda la materia prima, incluso la fruta de inferior calidad, resultaría en un producto más sostenible, se aumentaría la rentabilidad de estas industrias y habría una reducción de desechos y recursos invertidos para su disposición (ZAMORANO, 2003).

Las semillas de *berries* son empleadas en la industria cosmética para otorgar textura y propiedades exfoliantes a distintos productos, además, contienen fibra dietética, compuestos fenólicos con excelentes propiedades nutritivas y terapéuticas, así como altos niveles de ácidos grasos n-3 y n-6. Los aceites de semillas son utilizados primordialmente por sus efectos antiinflamatorios, antienvjecimiento y por sus propiedades protectoras de la

radiación UV. En el contexto nutricional, extractos y compuestos naturales polifenólicos provenientes de semillas de *berries*, pueden ser incorporados a alimentos procesados con el afán de acentuar su actividad antioxidante, de modo de hacer más efectiva la acción de ellos en contra de los radicales libres (ZAMORANO, 2003).

De acuerdo a lo antes mencionado y considerando que gran parte de estos compuestos que constituyen los principios activos del fruto, se encuentran concentrados en las semillas, de la totalidad de la torta de prensado de arándano se analizarán en forma separada las semillas, las cuales representan la fracción del residuo con mayores expectativas. Estas serán estudiadas en cuanto a las características composicionales y nutricionales del aceite que se pueda extraer y de la fibra presente en la fracción desgrasada.

Es importante destacar que estudios similares ya se han realizado con respecto a la obtención y caracterización de aceite, fibra y algunos compuestos antioxidantes a partir de semillas de uva¹, rosa mosqueta (ARANCIBIA *et al.*, 2000), frambuesa (OOMAH *et al.*, 2000; PARKER *et al.*, 2003; PARRY y YU, 2004), sandía, calabaza (EL-ADAWY y TAHA, 2001) y otros, con excelentes resultados. Sin embargo, en la presente revisión bibliográfica no se hallaron antecedentes sobre algún estudio de este tipo en semilla de arándano, lo cual le brinda a esta investigación un carácter de innovación.

En el CUADRO 3 se detallan los rendimientos calculados para el procesamiento de jugo concentrado de arándano, según una investigación realizada por SKREDE *et al.* (2000).

De acuerdo a esta información, un 10% del fruto procesado corresponde a queque de prensa como residuo del proceso. Estudios preliminares permitieron demostrar que un 8-10% en base húmeda (o 20-22% en base seca) de la torta de prensado corresponden a semillas, las cuales contienen 15-16% de materia grasa (base seca). Lo cual hace pensar que existen posibilidades

¹ http://www.enerex.ca/espanol/productos/semilla_de_uva_te_verde.htm

de obtener aceite de la semilla y aprovechar la fracción desgrasada para la obtención de fibra dietética.

CUADRO 3. Rendimientos en el proceso de elaboración de jugo concentrado de arándano.

	Arándano (fruto)	Jugo inicial de prensado	Queque de prensa	Jugo pasteurizado	Jugo concentrado
Rendimiento (% p/p)	100	83	10	-	-
°Brix	15,1	15,0	-	15,0	73,5

FUENTE: SKREDE *et al.* (2000).

2.4 Importancia nutricional de los lípidos

Los lípidos en general cumplen una serie de roles en nuestra dieta, además de ser la principal fuente de energía (cada gramo genera 9 Kcal), son constituyentes normales de la estructura celular y cumplen funciones de membrana. Son fuente de ácidos grasos esenciales para el organismo animal, donde cabe destacar su papel en la síntesis de prostaglandinas, regulan el nivel de lípidos sanguíneos, son vehículo de vitaminas liposolubles y aportan otros componentes importantes como pigmentos carotenoides, esteroides, etc.

Las grasas y aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos, contribuyendo a su textura y en general a las propiedades sensoriales del producto. Se considera que alrededor de un 30% de la energía dietaria debe provenir de la ingesta de lípidos. Las principales fuentes son los tejidos animales y las semillas oleaginosas. Es importante tener conocimiento en cuanto a aspectos nutricionales de los diferentes lípidos que son incorporados a nuestro organismo a través de la dieta. Entre estos, es importante conocer la composición química de las grasas y aceites de consumo habitual en la población, el metabolismo de éstas y sus antecedentes nutricionales para seleccionar cierto tipo de aceites o grasas en los procesos tecnológicos y culinarios (MASSON y MELLA, 1985; BADUI, 1999).

Los principales componentes de todas las grasas son los llamados ácidos grasos (AG), que pueden ser saturados, monoinsaturados o poliinsaturados, según el número de insaturaciones que posean. La posición del primer doble enlace determina el nombre de la “familia o serie” (p.ej.: serie omega-9 o n-9, omega-6 o n-6 y omega-3 o n-3) (MASSON y MELLA, 1985).

Existen dos ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) que el organismo humano no puede producir y que deben obtenerse de la dieta: el ácido linoleico (C18:2 n-6) y el ácido α -linolénico (C18:3 n-3). Estos se conocen como ácidos grasos esenciales (AGE). Esta designación se debe a que su ausencia produce un síndrome de deficiencia, ya que el organismo animal no puede introducir dobles enlaces entre el grupo metilo terminal y el primer doble enlace que aparece en la cadena hidrocarbonada del respectivo ácido graso. Lo único que puede hacer el organismo animal es elongar la cadena e introducir nuevos dobles enlaces a continuación de los originales y en dirección del grupo carboxílico de la molécula. Teniendo esta estructura terminal, el organismo animal sintetiza los ácidos grasos de cadena larga de 20 a 22 átomos de carbono con tres, cuatro, cinco o seis dobles enlaces pertenecientes a las familias n-3 y n-6, que les son indispensables para la formación de estructuras celulares, funciones normales de todos los tejidos síntesis de prostaglandinas, etc. Se puede considerar como los más importantes el ácido araquidónico ARA (C20:4 n-6), el eicosapentaenoico EPA (C20:5 n-3) y el ácido docosahexaenoico DHA (C22:6 n-3) (MASSON y MELLA., 1985; PARKER *et al.*, 2003).

De aquí se desprende la importancia que los ácidos grasos precursores linoleico y α -linolénico sean aportados por la dieta y define su carácter de esenciales.

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga de ambas series (n-3 y n-6) poseen la gran virtud de que una vez metabolizados, y si el cuerpo presenta las condiciones adecuadas, dan origen a compuestos eicosanoides como prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos y leucotrienos, los cuáles ejercen un poderoso efecto sobre nuestra salud regulando el flujo de

sustancias dentro y fuera de las células, bajan la presión sanguínea y colesterol, regulan la presión de los ojos, articulaciones y vasos sanguíneos, actúan como drenadores del riñón, dilatan los vasos sanguíneos, regulan la división celular y pueden ayudar a prevenir el cáncer, regulan la respuesta al dolor, inflamación e hinchazón, ayudan a que la insulina sea más efectiva, mejoran la función de los nervios y del sistema inmunitario, regulan el metabolismo del calcio, regulan la producción de esteroides y se encargan de movilizar las grasas saturadas. Por lo tanto, un nivel adecuado en el consumo de AGE es crítico para prevenir, por ejemplo, efectos específicos en la salud relacionados a AG isoméricos (trans), así como también pueden reducir los riesgos y síntomas de otros trastornos, incluyendo diabetes, accidente cerebrovascular, algunos cánceres, artritis reumatoide, asma, enfermedad intestinal inflamatoria, colitis ulcerativa y deterioro mental, según lo confirma información entregada por la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos¹ (FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION / ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, FAO/OMS, 1997; HANSEN, 1994; GUARDA, 2000).

En relación a los requerimientos nutricionales, si se considera que las grasas aportan el 30% de las calorías, un 10% como porcentaje energético debería corresponder a ácidos grasos poliinsaturados. Actualmente se recomienda que la relación en la dieta de ácidos grasos saturados: monoinsaturados : poliinsaturados sea de 1:1:1. Sin embargo, se ha calculado que en la dieta habitual la relación entre ácidos grasos saturados:monoenoicos es de 1:1, por lo tanto, para llegar a la relación recomendada es conveniente que aproximadamente un tercio del total de los ácidos grasos ingeridos sean poliinsaturados, de aquí la importancia del consumo de aceites poliinsaturados (MASSON y MELLA, 1985).

En el caso de niños se determinó que cuando el 1% o más de las calorías se aportaban como ácido linoleico, se curaban los síntomas dermatológicos

¹ http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/19302.htm

producidos por la deficiencia de ácidos grasos n-6 (HANSEN, 1994). Actualmente, se considera adecuada una ingesta de 3% de energía en forma de ácido linoleico. Para los adultos en general se indica el 3% de las calorías como ácidos grasos esenciales, cantidad que sube al 4,5% durante la gestación y entre 5-7% durante la lactancia (FAO/OMS, 1997; MASSON y MELLA, 1985), tal como se detalla en el CUADRO 4.

CUADRO 4. Recomendaciones de ingesta de ácido linoleico.

GRUPO	INGESTA RECOMENDADA
Lactantes, niños	3% de las calorías totales
Adultos hombres y mujeres	3% de las calorías totales
Embarazadas	4,5%-5% de las calorías totales
Nodrizas	6,5%-7% de las calorías totales

FUENTE: FAO/OMS (1997); MASSON y MELLA (1985).

Con respecto a los ácidos grasos n-3, muchos estudios científicos han demostrado su importante función estructural en membranas del tejido neuronal tales como cerebro y retina (HANSEN, 1994). Su déficit puede gatillar una menor capacidad de aprendizaje, daño visual y en el niño nacido prematuramente puede originar retinopatía. El déficit de ARA en conjunto con DHA se asocia con desnutrición fetal. Esto debe constituir un llamado a preocupación por el aporte de AGE en la alimentación de la embarazada y la nodriza, particularmente de la mujer antes de iniciar su vida reproductiva, ya que el desarrollo y crecimiento del cerebro en la etapa inicial de la vida fetal es determinante del crecimiento y desarrollo del resto de los órganos. De acuerdo a esto, las recomendaciones de ingesta de ácidos grasos n-3, lo cual incluye al ácido α -linolénico (C18:3 n-3) como precursor, se estima que debe corresponder a un 0,5% de las calorías totales (MASSON y MELLA, 1985; PARKER *et al.*, 2003).

Sin embargo, los compuestos eicosanoides mencionados presentan algunas funciones y efectos opuestos en el organismo, de ahí la importancia de un consumo balanceado de los ácidos grasos de las series n-6 y n-3, cuyas fuentes las encontramos sobre todo en los aceites vegetales, semillas y peces grasos ^{1;2} (PARKER *et al.*, 2003; PARRY y YU, 2004).

Muchas fuentes de información sugieren que el ser humano debería consumir una dieta en la que la relación n-6/n-3 de los ácidos grasos esenciales fuera cercana a 1. Pero las dietas en general aportan una cantidad excesiva de ácidos grasos n-6 comparado con la dieta que debería consumir el ser humano de acuerdo a su modelo genético establecido. En la actualidad se ha detectado una muy elevada relación n-6/n-3 en la dieta de países industrializados, promoviendo la patogénesis de muchas enfermedades, incluyendo enfermedad cardiovascular, cáncer, enfermedades inflamatorias y autoinmunes, mientras que un aumento de los niveles de n-3 altamente poliinsaturados, que se traduce en una baja relación n-6/n-3, ejerce efectos supresores de estos mecanismos patogénicos ¹ (PARKER *et al.*, 2003; PARRY y YU, 2004).

2.5 Obtención y caracterización de aceite vegetal comestible

Aceite vegetal comestible se define, entre otros aspectos, como materia grasa de consistencia totalmente fluida y exenta de turbidez a temperatura de 15°C y que se obtiene de frutos o semillas sanas y limpias, libres de productos nocivos derivados de su cultivo o manejo, o de los procesos de elaboración (CHILE, MINISTERIO DE SALUD, 2003; CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN (1956).

¹ MARTINEZ, M. 2003. Lípidos en nutrición humana. Guía de curso: Fundamentos de nutrición humana. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Ciencias, Esc. Química y Farmacia. 5 p.

² http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/19302.htm

2.5.1 Condiciones de la materia prima. Para mantener la calidad de la materia prima, es necesario ejercer mucho cuidado en su almacenamiento y pretratamiento. La humedad de las semillas oleaginosas influye en gran medida en la calidad de la materia prima. Un contenido de humedad por debajo del 10% impide que se generen modificaciones bioquímicas por enzimas, tanto propias como provenientes de microorganismos contaminantes. Una adecuada aireación de las semillas durante el almacenamiento asegura que se mantengan niveles bajos de humedad. En semillas con humedad excesiva y en frutos oleaginosos debe realizarse un secado artificial (FAO/OMS, 1997).

2.5.2 Métodos de extracción. Usualmente previo a la extracción del aceite se realiza una limpieza de la materia prima para separar toda impureza y luego una molienda o trituración para facilitar la liberación de las gotas de aceite a partir de las semillas (SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

2.5.2.1 Prensado en frío. Forma de extracción, utilizada generalmente en el prensado mecánico, donde no se aplica un calor adicional al producto crudo. Aunque no sea un método práctico de extracción para todos los aceites vegetales del mercado, es el recomendado como método de extracción preferido, ya que ayuda al aceite a mantener su estado original en cuanto a constituyentes e intensidad. En especial, preserva los ácidos grasos esenciales de cadena larga del calor excesivo¹.

Cuando en una materia oleaginosa, el contenido graso no excede de un 10 a 12%, no se puede efectuar la extracción del mismo por medio de prensas ni de otros elementos mecánicos, porque la exigua cantidad que se obtendría, si no es una grasa de mucho valor, no compensa el costo de la extracción; y cuando en una materia oleaginosa aquella proporción es solamente un 6 a 7%, su extracción por dichos medios es nula, sea cualquiera la intensidad de presión que se ejerza sobre dicha materia (COLOM, 1955).

¹ <http://journeytoforever.org/energiaweb/vegoil.htm>

2.5.2.2 Extracción por solventes. Es un método de extracción opuesto al mecánico. La materia prima se mezcla con el solvente (por ejemplo, Hexano cuyo rango de ebullición es de 63-73°C) en forma continua y en contracorriente dentro de extractores. Este contacto puede ser por aspersion o rociamiento, en que un lecho de hojuela sobre una malla sin fin recibe en su recorrido una lluvia de solvente, o por inmersión, en que el material se sumerge en un baño de solvente donde se mantiene bajo agitación lenta. La mezcla aceite-solvente o micela se somete luego a una destilación continua para recuperar el solvente (SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

Si se desea hacer la extracción a bajas temperaturas, se puede aplicar vacío en el extractor y/o usar solventes con menor punto de ebullición. Con relación a esto, se pueden citar algunos autores que han realizado investigaciones en aceites crudos obtenidos de semillas empleando extracción en frío con solventes. Por ejemplo, OOMAH *et al.* (2000) quienes realizaron una caracterización de aceite de semilla de frambuesa (*Rubus idaeus L.*), desecaron las semillas desde un 41,5% a un 13,6% de humedad, a 25°C por 2 horas en un secador de lecho fluidizado con aire seco. Luego, las semillas fueron trituradas hasta 1 mm de diámetro de partícula. El aceite de la muestra de semillas trituradas (100 g) fue extraído usando hexano (1lt), en agitación por 2 horas a 4°C. El solvente fue removido por filtración al vacío y luego se realizó nuevamente la extracción del mismo modo dos veces más. Después de la última filtración, los extractos fueron reunidos, el hexano fue removido con un equipo rotatorio de evaporación al vacío a 35°C, la muestra fue purgada con nitrógeno y finalmente almacenada a -20°C hasta su posterior análisis. Estos autores se basaron en lo descrito por Pourrat y Carnat (citado por OOMAH *et al.*, 2000), quienes estabilizaron el contenido de humedad de la semilla de frambuesa entre un 5 - 6%, secándola a 50°C por 4 - 5 horas, para luego extraer el aceite con cloroformo.

Otros autores que realizaron un estudio similar pero en semillas de sandía, calabaza y paprika, fueron EL-ADAWY y TAHA (2001). En esta investigación, las semillas limpias fueron deshidratadas al sol (30C aprox.) por una semana, luego fueron comprimidas y empapadas en éter de petróleo (punto de ebullición 40 – 60C), a temperatura ambiente (25C aprox.) por 36 horas, con 8 cambios de solvente durante el proceso. El éter de petróleo fue evaporado en baño de agua y las muestras de aceite así obtenidas fueron almacenadas por separado a temperatura de refrigeración en oscuridad dentro de botellas de vidrio herméticamente selladas hasta su posterior análisis.

2.5.3 Refinación. Los aceites crudos (aceites de prensa y de solvente) pueden contener cierta cantidad de impurezas tales como mucílagos, proteínas, glúcidos, ácidos grasos libres, fosfátidos, colorantes, aldehídos, cetonas, hidrocarburos, glicéridos con alto punto de fusión, además de residuos de solvente. Estas impurezas contribuyen al color, sabor, olor, inestabilidad, espumado y otras características indeseables. Con el objeto de eliminar todas estas sustancias se realiza la refinación de los aceites (BADUI, 1999; SCHMIDT-HEBBEL, 1966), operación que comprende las siguientes etapas:

2.5.3.1 Desgomado o desmucilagination. Permite separar fosfátidos (lecitinas), gomas y mucílagos, que por su poder emulsionante bajarían el rendimiento en la neutralización; además de estas sustancias, también se extrae el agua que originalmente contiene la materia prima. No todos los aceites se someten a desgomado ya que algunos, por ejemplo el de oliva, no lo requieren debido a su composición.

Para llevar a cabo esta operación, se le añade al lípidos 2-3% de agua y se calienta la mezcla a 60-70C; la fracción acuosa se separa por centrifugación o por decantación lenta. Este paso es indispensable pues es muy importante eliminar los fosfátidos, dado que, aun en concentraciones muy bajas, provocan serios problemas en el almacenamiento, mayor susceptibilidad a la oxidación,

formación de espumas durante el calentamiento, etc. (BADUI, 1999; SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

2.5.3.2 Neutralización. Tiene por objeto eliminar la acidez del aceite crudo. Para esto se titula la acidez libre y luego se añade hidróxido o carbonato alcalino en una cantidad suficiente para efectuar una pequeña saponificación; este jabón arrastra consigo otras impurezas como mucílagos, proteínas y materias colorantes. Esta operación se hace en intercambiadores de calor o en un recipiente de fondo cónico, donde se deposita el residuo jabonoso llamado *soap-stock* que sirve para la fabricación de jabones corrientes. En este proceso el álcali debe ser agregado en forma homogénea sobre el aceite, calentado entre 40-70°C para acelerar la reacción. Es conveniente que el contacto de las fases reaccionantes se haga en un tiempo mínimo, seguido de una rápida separación del aceite por centrifugación para evitar su saponificación ulterior. Los aceites bien neutralizados contienen menos de 0,1% de ácidos grasos libres (expresados en términos de ácido oleico).

En estas condiciones, el aceite todavía contiene una cierta concentración de jabones; estos se separan con un lavado subsecuente que consiste en mezclar el aceite con agua caliente y someterlo a una nueva centrifugación intensa (BADUI, 1999; FENNEMA, 2000; SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

2.5.3.3 Decoloración o blanqueo. El método más común se basa en un proceso de adsorción que utiliza diversos agentes adsorbentes, principalmente arcillas neutras, arcillas ácidas activadas o carbón activado. El proceso consiste en calentar la mezcla del agente adsorbente y el aceite entre 60-80°C durante un corto tiempo (de 15 a 20 minutos) para eliminar la humedad y activar el material; posteriormente se hace circular por un filtro prensa, para obtener por un lado el aceite y por el otro el adsorbente que puede regenerarse para volverlo a usar. En forma ideal, esta etapa se debería llevar a cabo en condiciones de vacío para evitar la acción dañina del oxígeno.

Los principales pigmentos que deben separarse son las xantófilas, carotenos y clorofilas; estas últimas requieren de arcillas ácidas o carbón activado. Aquí son retenidos también los peróxidos, trazas metálicas (Fe, Cu), hidrocarburos policíclicos y aflatoxinas (BADUI, 1999; FENNEMA, 2000; SCHMIDT-HEBBEL, 1966; SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

2.5.3.4 Hibernación o winterización. Este proceso es opcional y es una forma muy especializada de cristalización fraccionada cuya finalidad es eliminar los triacilglicéridos saturados de punto de fusión alto y evitar que el lípido se enturbie al enfriarse. Las fracciones con ácidos grasos saturados y algunas otras que llegan a cristalizar en la refrigeración, causan una apariencia indeseable en los productos alimenticios que contienen aceites y que requieren de almacenamiento a baja temperatura. Tradicionalmente, la hibernación se efectúa mediante: a) enfriamiento rápido hasta 15°C que va acompañado de una agitación para favorecer la producción de cristales pequeños, b) cristalización controlada en tanques a 5-7°C en los que el aceite permanece inmóvil de 24 a 36 horas, y c) eliminación de los cristales mediante un filtro prensa (BADUI, 1999).

2.5.3.5 Desodorización. Este paso elimina las sustancias volátiles responsables de los olores indeseables del aceite que provienen generalmente de las reacciones de oxidación; en su mayoría son cetonas o aldehídos de peso molecular bajo y, en ocasiones, ácidos grasos libres de menos de 12 átomos de carbono, que se encuentran en concentraciones muy bajas del orden de 0,001 a 0,01% (BADUI, 1999).

El proceso se realiza por destilación con arrastre de vapor de agua a alta temperatura (190-230°C) y a presión muy reducida (2-6 mm Hg), en columnas semejantes a las de destilación de platos rellenos o de film descendente. Antes que el aceite abandone la columna se pueden agregar antioxidantes autorizados o agentes secuestrantes para eliminar la acción catalizadora de los metales en

los mecanismos de oxidación. Los aceites también se pueden desacidificar y desodorizar aplicando el proceso de la destilación molecular, que se diferencia de una destilación normal al vacío por el empleo de presiones extremadamente reducidas (10^{-3} a 10^{-4} mm Hg) y por el hecho que la salida de vapores se produce desde la superficie de una película del líquido (BADUI, 1999; SCHMIDT-HEBBEL, 1966; SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

Cabe destacar que algunas investigaciones han demostrado que en aceites refinados y blanqueados sin desodorizar no hay formación de compuestos trans. Las temperaturas elevadas del proceso de desodorización son un factor contribuyente para la formación de la isomería geométrica (GUARDA, 2000).

2.5.4 Deterioro de los lípidos. Los aceites y grasas deben protegerse frente a la contaminación con agua, suciedad o con otras grasas, absorción de olores y sabores extraños, deterioro térmico y contaminación con sustancias extrañas procedentes de los equipos de procesamiento y materiales de envasado y empaquetado. En general, deben protegerse del deterioro por rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa (FAO/OMS, 1997).

El deterioro hidrolítico o lipólisis, se refiere a la reacción de hidrólisis del enlace éster de los triglicéridos, con la subsecuente liberación de los ácidos grasos, lo cual incrementa la acidez libre de la materia grasa favoreciendo la autooxidación y formación de olores y sabores indeseables. Esta reacción es catalizada por enzimas lipolíticas o lipasas presentes en las semillas oleaginosas y alimentos o producidas por microorganismos; también la provocan las altas temperaturas en presencia de agua (BADUI, 1999).

En cuanto al deterioro oxidativo o autooxidación, este tiene gran importancia desde el punto de vista de calidad y vida útil del producto terminado, sobre todo en aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados. Consiste principalmente en la oxidación de los ácidos grasos libres con dobles ligaduras o insaturaciones, generando compuestos que a su vez mantienen y aceleran la

reacción. A mayor grado de insaturación, mayor velocidad de reacción. La autooxidación se desarrolla por una reacción en cadena que consta de tres etapas: a) etapa de inicio o inducción, donde se produce la liberación de un hidrógeno del carbono adyacente en la posición alfa con respecto al doble enlace, formándose radicales libres inestables R^* y H^* . Estas reacciones se generan por la exposición de la materia grasa a factores prooxidantes, tales como calor, luz UV, metales pesados, pigmentos, oxígeno y humedad; b) etapa de propagación o período de oxidación, donde los radicales libres reaccionan con el oxígeno molecular generando el radical libre peróxido ROO^* , el cual a su vez reacciona con una molécula de lípido sin activar, RH, generándose la reacción en cadena, y c) etapa de término, donde los radicales libres que provienen de la descomposición de los hidroperóxidos, se asocian para dar compuestos más estables, los cuales incluyen aldehídos y cetonas, responsables del sabor rancio y reacciones laterales que conducen a un deterioro generalizado (BADUI, 1999; BRAVERMAN, 1980; FENNEMA, 1985; McCLEMENTS y DECKER, 2000).

De acuerdo a esto, es de vital importancia el proteger los aceites y grasas de los factores prooxidantes. Por ejemplo, las altas temperaturas aceleran la autooxidación especialmente por encima de 60°C , de tal manera que la velocidad aumenta 2,5 veces por cada 10°C ; cabe aclarar que la refrigeración y aun la congelación no necesariamente la inhiben ya que la presencia de catalizadores y la disponibilidad de los reactivos puede provocar que ésta se lleve a cabo incluso en estas condiciones. El cobre y el hierro inician también estas transformaciones bioquímicas en concentraciones menores a 1 ppm, por lo que es muy importante evitar todo contacto con recipientes o equipo fabricado con estos metales. La luz UV es un poderoso iniciador y catalizador de la oxidación de la materia grasa. Los residuos de pigmentos, como clorofila por ejemplo, actúan como fotosintetizadores y facilitan la conversión del triplete de oxígeno al singulete. Además, como ya se ha mencionado, las enzimas y la

humedad son otros de los factores que contribuyen al proceso de autooxidación (BADUI, 1999; SMITH, 1991; ADAMS, 1999).

2.5.5 Caracterización física y química de aceites vegetales comestibles. El tipo de determinaciones analíticas a las que se debe someter una muestra de esta clase depende de diferentes intereses; por ejemplo, los productores nacionales están interesados principalmente en cumplir las especificaciones de las normas establecidas en el país; los exportadores e importadores deben certificar que su producto cumpla las normas internacionales; el consumidor, principalmente el que los consume como materia prima, debe contar con un producto genuino y en buen estado, que garantice la uniformidad del proceso y del producto que intenta obtener. También el gobierno, mediante sus oficinas de control, fija qué características deben tener las sustancias para exigir su cumplimiento. En cuanto a los analistas en sí, su importancia principal radica en determinar la composición de la grasa o aceite e identificarlos por medio de las constantes analíticas del aceite o de la mezcla, por medio de pruebas físicas y químicas que dan valores característicos para las distintas sustancias grasas y permiten detectar adulteraciones (BERNAL, 1993).

Las diferencias en las constantes para los distintos productos se deben a diferencias en el peso molecular promedio de los ácidos grasos que están presentes, a la proporción relativa de los ácidos de alto y bajo peso molecular; también, al número relativo de uniones dobles dependiendo de la proporción de ácidos insaturados tales como oleico, linoleico y α -linolénico, que puedan estar presentes (BERNAL, 1993).

2.5.5.1 Determinación de composición de ácidos grasos por cromatografía gas-líquido. Este método de separación es aplicable a compuestos orgánicos e inorgánicos y está basado en la distribución de la muestra en dos fases, la fase estacionaria o fase líquida, que corresponde a un líquido orgánico de alto punto de ebullición que se extiende como una película delgada sobre la pared de un

tubo capilar denominado soporte sólido. La segunda corresponde a la fase móvil, la cual es un gas inerte que transporta las moléculas de la muestra a través de la fase estacionaria en forma continua. La base de esta técnica de separación es el fraccionamiento de la muestra y la distribución de sus moléculas entre el gas portador y la fase estacionaria, de acuerdo a su solubilidad en esta última. El registro gráfico de los componentes eluidos aparece representado en un cromatograma, donde se registra el tiempo de retención de cada uno, el cual corresponde al tiempo transcurrido desde la inyección de la muestra hasta que se obtiene el máximo *peak*. El tiempo de retención permite identificar cada componente separado en la columna, en este caso ácidos grasos, expresados como % de metil-ésteres.

Esta técnica posee una alta resolución y permite la separación selectiva de los componentes de la muestra debido a sus diferentes solubilidades, aún cuando los puntos de ebullición estén muy próximos; además, la existencia de gran diversidad de fases líquidas permite tener una gran gama de muestras posibles de manejar (SKOOG y LEARY, 1994).

2.5.5.2 Determinación de acidez libre. Es una medida del grado de descomposición lipolítica de los glicéridos. La acidez libre se puede expresar como % de acidez (en términos de ácido oleico), grado de acidez (1% de acidez expresada como ácido oleico = 3,6 ° de acidez) o índice de acidez (mg de KOH necesarios para neutralizar 1g de aceite o de grasa) (CHILE, INN, 1981).

2.5.5.3 Índice de peróxido. Los peróxidos son producto de la degradación lipídica provocada por el oxígeno frente a los ácidos grasos no saturados, en presencia de factores prooxidantes. Su determinación se realiza por titulación yodométrica, utilizando almidón como indicador. Un índice de peróxidos hasta 5 corresponde a un aceite fresco o dentro de su período de inducción y la rancidez organoléptica se inicia con un índice de peróxidos entre 10 y 20 (SCHMIDT-HEBBEL, 1966; SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

2.5.5.4 Índice de yodo. El índice de yodo representa el estado de insaturación de los ácidos grasos que componen el aceite o grasa, basándose en la adición de halógenos a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados. Por definición, corresponde al “número de gramos de yodo absorbidos por 100g de aceite o grasa”. La adición del halógeno debe hacerse al abrigo de la luz, para evitar la sustitución de hidrógeno en los dobles enlaces. El punto final se registra por la desaparición del complejo azul del yodo con el almidón. Esta determinación es quizá el mejor método para clasificar los aceites, pues permanece casi inalterada por los ligeros cambios en el estado del mismo; además, permite caracterizar la muestra dando una base para saber si ésta es pura o se encuentra mezclada. Para su determinación suelen usarse el método de Hanus y el de Wijs. Los resultados más reproducibles se obtienen por el método de Wijs, el cual es internacionalmente reconocido (BERNAL, 1993; HART y FISHER, 1984; SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

2.5.5.5 Índice de saponificación. Representa los mg de KOH necesarios para saponificar totalmente 1g de lípido. Esta determinación proporciona información acerca del peso molecular de los ácidos grasos que componen el glicérido, existiendo una relación inversa entre el índice de saponificación y el peso molecular (AMOS *et al.*, 1968).

2.5.5.6 Índice de refracción. El índice de refracción de una sustancia es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en la sustancia en estudio. En los aceites, el índice de refracción se encuentra estrechamente relacionado a la densidad, masa molecular y constitución del aceite y sirve para identificarlo; también disminuye en forma casi lineal al aumentar el índice de yodo. El índice de refracción puede determinarse con un refractómetro de Abbé, que abarca una zona de refracción más amplia. La temperatura del aceite y la longitud de onda de la luz influyen mucho en los valores obtenidos (CHILE, INN, 1986; AMOS *et al.*, 1968; SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

2.5.5.7 Peso específico. Es la relación entre la masa de una sustancia y la masa de igual volumen de agua, a cierta temperatura. Se determina en los aceites por la balanza hidrostática (Mohr o Westphal) o un picnómetro, expresando el resultado con tres decimales. Esta constante, varía en razón directa con el estado de insaturación de sus ácidos constituyentes y en razón inversa con su peso molecular. Sin embargo, no debería variar mayormente para un aceite determinado cuando está puro y fresco; sí es afectada por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite (BERNAL, 1993; SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

2.5.5.8 Color. Esta determinación es un factor de importancia a la hora de determinar potenciales aplicaciones de aceites comestibles en formulación de alimentos. Se puede realizar con colorímetros como el Lovibond, Hunter u otros similares (PARRY y YU, 2004; SCHMIDT-HEBBEL, 1966).

2.6 Fibra dietética

La fibra dietética está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas; también se incluye en estos gomas, mucílagos y lignina, aún cuando ésta última no es un hidrato de carbono, sino más bien una cadena de compuestos fenólicos (BADUI, 1999).

Es necesario hacer una clara distinción entre la fibra cruda y la fibra dietética. La primera es la que se presenta generalmente en las tablas de composición de los alimentos como valor proximal de contenido de fibra y que se determina analíticamente sometiendo los productos a un tratamiento en caliente con ácido clorhídrico y posteriormente con hidróxido de sodio; en estas condiciones se pierde una fracción importante de polisacáridos que sí se incluyen en la fibra dietética, la cual representa el contenido total de los polímeros antes indicados. En términos generales, la determinación de fibra cruda provoca la pérdida de 70-80% de la hemicelulosa, de 30-50% de la

celulosa y hasta 90% de la lignina. Van Soest y Wine, del Agricultural Research Service del USDA, introdujeron un nuevo concepto del significado de fibra cruda, determinándola mediante el uso de detergentes neutros, que separan todos los constituyentes nutricionales solubles y disponibles de aquellos que dependen de la fermentación microbiana para su aprovechamiento; el detergente aumenta la solubilidad de la proteína y trabaja a un rango de pH al cual la solubilidad de la lignina y la hemicelulosa es prácticamente nula. Este método no puede considerarse como una alternativa de la digestión ácido-alcalina ya que los resultados no son comparables, sin embargo, proporciona una idea más precisa del valor nutritivo para el hombre y los animales, especialmente monogástricos, de los alimentos de origen vegetal (BADUI, 1999; HART y FISHER, 1984; VAN-SOEST, *et al.*, 1991).

Los alimentos que contienen fibra dietética son las frutas y verduras y las semillas no refinadas de los cereales, las leguminosas y las oleaginosas; hoy día se agregan algunas fibras dietéticas como aditivos en alimentos procesados industrialmente. En las frutas y las verduras predominan las pectinas (35% de la fibra dietética) y la celulosa (35%), en las semillas predomina la hemicelulosa (80%) (BADUI, 1999).

2.6.1 Clasificación de la fibra dietética. Existen algunos parámetros por los cuales se puede clasificar la fibra dietética, por ejemplo, en el CUADRO 5 se puede ver una clasificación fisiológica de la fibra dietética, es decir, según su composición química y su función estructural dentro del citoesqueleto de los vegetales. Sin embargo, la clasificación que más nos interesa desde el punto de vista biológico es aquella que parte de su grado de solubilidad en agua, tal como se puede apreciar en el CUADRO 6.

Desde el punto de vista de la fermentación bacteriana la fibra puede dividirse también en dos categorías más, según lo que se describe en el CUADRO 7.

CUADRO 5. Clasificación fisiológica de fibra dietética.

POLISACÁRIDOS ESTRUCTURALES:
Celulosa *
No celulósicos: hemicelulosa* y pectinas*
Almidón resistente
POLISACÁRIDOS NO ESTRUCTURALES:
Gomas
Mucílagos
COMPUESTOS NO POLISACÁRIDOS:
Lignina *
Cutina
Taninos
Suberina
Ácido fítico

* Principales componentes.

FUENTE: REDONDO (2000); FAO/OMS (1999).

CUADRO 6. Clasificación de fibra dietética según su solubilidad en agua.

Tipo de fibra.	Componentes:	Características:
FIBRA INSOLUBLE (fibrosas)	- celulosa - algunas hemicelulosas - lignina	Captan poca agua y forman mezclas de baja viscosidad.
FIBRA SOLUBLE (gelificantes)	- pectinas - gomas - mucílagos - algunas hemicelulosas	Al contacto con agua forman un retículo donde se atrapa el agua, gelificándose la mezcla. La consistencia viscosa de la mezcla depende de la fuente de fibra utilizada.

FUENTE: REDONDO (2000).

CUADRO 7. Clasificación de fibra dietética según su grado de fermentación.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Poco fermentables	Fibras ricas en celulosa y lignina, como el salvado de trigo, que son bastante resistentes a la degradación bacteriana en el colon y son excretadas intactas por las heces.
Muy fermentables	Fibras ricas en hemicelulosas (solubles e insolubles) y pectinas, son fermentadas y degradadas rápida y completamente por la flora del colon.

FUENTE: REDONDO (2000).

2.6.2 Funciones de la fibra dietética. Según la ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS) y el INSTITUTO INTERNACIONAL DE LA VIDA (ILSI) (1991), determinadas fracciones de fibras o dietas ricas en alimentos que las contienen, generan diversas respuestas en el organismo humano y los animales monogástricos, como el descenso de las concentraciones de colesterol en el plasma, la modificación de la respuesta glucémica y un mejoramiento de la función del intestino grueso, evitando diversos problemas de salud tales como constipación, diverticulosis, colitis, hemorroides, cáncer de colon y recto, diabetes mellitus, aterosclerosis y otros. Su función principal es que tiene la capacidad de hincharse al absorber agua y por lo tanto aumentar el volumen de la materia fecal; esto provoca un incremento en los movimientos peristálticos del intestino, y facilita el tránsito, la distensión intestinal y consecuentemente la defecación. Esta situación provoca que se incremente la viscosidad, se reduzca el tiempo de residencia de los constituyentes del alimento en el intestino y que sólo las moléculas fácilmente absorbibles atraviesen la pared intestinal; aquellas sustancias irritantes, dañinas y tóxicas, que generalmente requieren más tiempo para entrar al sistema linfático, no tienen oportunidad de hacerlo y se eliminan en las heces (BADUI, 1999; CHILDS y ABAJIAN, 1976; WOLEVER, 1990).

El efecto de las fibras sobre la velocidad del vaciado gástrico ha sido asociado a su capacidad para reducir la respuesta glucémica a una sobrecarga de glucosa y retrasar la absorción de los nutrientes. Los polisacáridos viscosos pueden formar una matriz de gel, por lo tanto, son capaces de atrapar nutrientes en dicha matriz y retrasar su salida del estómago. La capacidad para aminorar la respuesta de la glucemia que poseen varios suplementos de fibras está en relación con su viscosidad (OPS e ILSI, 1991).

Además, esta misma propiedad de formar geles de la fibra soluble, posibilita que sea utilizada en regímenes de adelgazamiento, no sólo para corregir el estreñimiento, sino también porque en el estómago aumenta su volumen más de siete veces, lo que se traduce en una sensación de saciedad y la consiguiente reducción de la ingesta (REDONDO, 2000).

Al parecer, la capacidad de unión de la fibra soluble a los ácidos biliares y fosfolípidos influye sobre la formación de micelas en el intestino delgado y, en consecuencia, sobre la velocidad de absorción de los lípidos y el lugar en que se produce. La capacidad de estas fibras para hacer más lenta la absorción de ácidos biliares e interferir en la absorción del colesterol contribuye sin duda a su efecto sobre las concentraciones de lípidos en el plasma (LEE *et al.*, 1992; OPS e ILSI, 1991).

En la actualidad existe un consenso general al afirmar que los efectos de la fermentación en el colon de la fibra dietética, son imprescindibles para el buen funcionamiento de nuestro aparato digestivo y, por otro lado, la ausencia del sustrato fermentativo necesario puede producir alteraciones con consecuencias importantes. Por ejemplo, una dieta pobre en fibra puede producir cambios en la ecología de la flora intestinal y convertir los *Lactobacillus*, habituales en el colon, en bacteroides capaces de desdoblar los ácidos biliares en compuestos cancerígenos, como el dehidronorcoleno y el metilcolantreno. Por otro lado, al producirse la fermentación, la flora intestinal anaerobia presente en el colon utiliza la fibra dietética para su propia nutrición y crecimiento. Esto aumenta de forma considerable la masa bacteriana y, por lo tanto, constituye uno de los

mecanismos que hacen a la fibra aumentar el volumen de las heces de manera considerable (REDONDO, 2000).

Los productos derivados de esa fermentación son gases (CO_2 , H_2 y CH_4) y ácidos grasos de cadena corta (AGCC), constituidos en un 85% por acetato, propionato y butirato. De estos tres AGCC, el acetato y el propionato pasan a la circulación portal para ser utilizados en el organismo como sustrato energético para los procesos de gluconeogénesis y lipogénesis. El butirato es oxidado prácticamente en su totalidad en los colonocitos, siendo el principal responsable de suministrar la energía que necesitan las células de la mucosa del colon para su crecimiento y diferenciación. Además, se ha demostrado que la actividad proliferativa estimulada por el butirato, se produce principalmente en la base de las criptas del epitelio intestinal, donde se encuentran los colonocitos sanos, mientras que inhibe el crecimiento celular en las zonas apicales, donde se produce habitualmente el crecimiento de las células tumorales. Este hecho puede ser una de las explicaciones que justifiquen la relación entre la ingesta de fibra y la menor incidencia de cáncer colorrectal (REDONDO, 2000).

Cada uno de los principales componentes de la fibra dietética cumple funciones específicas, tal como se describe a continuación.

2.6.2.1 Celulosa. Este componente, retiene agua en las heces y aumenta el volumen y peso de las heces, favoreciendo el peristaltismo del colon y disminuyendo el tiempo de tránsito colónico. Aumenta la cantidad de deposiciones intestinales, reduce la presión intraluminal y no tiene efecto sobre la absorción de metales divalentes, ni sobre el colesterol o los ácidos biliares. Puede aumentar la excreción de cinc, calcio, magnesio, fósforo y hierro (DREHER y PADMANABAM, 1983).

2.6.2.2 Hemicelulosas. Las hemicelulosas aumentan el volumen y peso de las heces, reducen la elevada presión intraluminal del colon y aumentan la excreción de ácidos biliares (REDONDO, 2000).

2.6.2.3 Pectinas, gomas y mucílago. Tienen funciones muy similares. Poseen alta capacidad de absorción de agua, retardan el vaciamiento gástrico, suministran sustrato fermentable para las bacterias del colon al producir gas y ácidos grasos de cadena corta, fijan los ácidos biliares y aumentan su excreción, reducen la concentración plasmática de colesterol y mejoran la tolerancia de los diabéticos a la glucosa (REDONDO, 2000).

2.6.2.4 Lignina. La lignina es un polímero no digerible ni fermentable por la microflora del colon, puede ligarse a los ácidos biliares y colesterol retrasando o disminuyendo la absorción en el intestino delgado de dichos componentes. Es un potente captador de radicales libres lo cual le confiere una acción protectora sobre la aparición de cáncer al colon (REDONDO, 2000).

En consecuencia, hay suficientes evidencias que destacan la importancia de consumir alimentos ricos en fibra dietética, de hecho, dada su importancia fisiológica, se ha propuesto que la ingestión de fibra dietética total conveniente en adultos es de 30 a 35 g/día, de la cual 50% debe provenir de granos (hemicelulosa) y otro 50% de frutas y verduras (pectina) (BADUI, 1999). Para ello se hace necesario el que se estén haciendo continuamente estudios científicos sobre contenido de fibra dietética de nuevas fuentes y su potencial uso como suplementos, lo que incluye también el aprovechamiento de diferentes subproductos del procesamiento industrial de alimentos de origen vegetal (CHILDS y ABAJIAN, 1976; FEMENIA *et al.*, 1997; LEE *et al.*, 1992; MARLETT y NAVIS, 1988).

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Lugar de ensayo

El proceso de obtención de aceite y su caracterización física y química se llevó a cabo en el Instituto de Ciencia y tecnología de los Alimentos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. La determinación de la composición de ácidos grasos de las muestras, se realizó en el Instituto de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile. La determinación de fibra cruda de las semillas se desarrolló en el Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. La determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble en las semillas se llevó a cabo en el Departamento de Agroindustrias y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

3.2 Materia prima

Las semillas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) fueron obtenidas a partir de una torta o queque de prensa (FIGURA 1) proveniente del proceso de elaboración de jugo concentrado de arándano, desarrollado por la empresa Bayas del Sur S.A. (Purranque, X Región de los Lagos, Chile). La materia prima fue almacenada durante este estudio, en una cámara de congelación con sistema de aire forzado, a -20°C.

3.3 Obtención de la semilla

La torta de prensa empleada está conformada por orujos, restos de pulpa y semillas de arándano. Para obtener las semillas limpias y secas se siguió el procedimiento esquematizado en la FIGURA 2.



FIGURA 1. Torta de prensado descongelada.

3.4 Obtención de aceite crudo y refinado de semilla de arándano

Los dos tipos de aceite de semilla de arándano desarrollados en este estudio fueron crudo y refinado, los cuales se obtuvieron según la metodología que se describe a continuación.

3.4.1 Extracción a baja temperatura. Se utilizó éter de petróleo como solvente (punto de ebullición 40°C – 60°C, Winkler) para la extracción del aceite a partir de la muestra triturada en molino centrífugo con tamiz 0,5 mm (Retsch). En todas las etapas de filtración se empleó bomba de vacío y equipo *Millipore* con papel filtro (Whatman, nº2). Las etapas de destilación se llevaron a cabo en un equipo rotatorio de evaporación a presión reducida (Büchi Rotavapor-R). Las muestras de aceite crudo fueron almacenadas en envase cerrado y en oscuridad a temperatura de refrigeración (5°C – 7°C) hasta su posterior análisis. Adicionalmente, se destiló de la misma manera el solvente sin muestra para la

obtención de un blanco a analizar posteriormente por cromatografía gas-líquido (GLC). Todo el proceso de extracción a baja temperatura de aceite crudo de semilla de arándano se resume en la FIGURA 3.

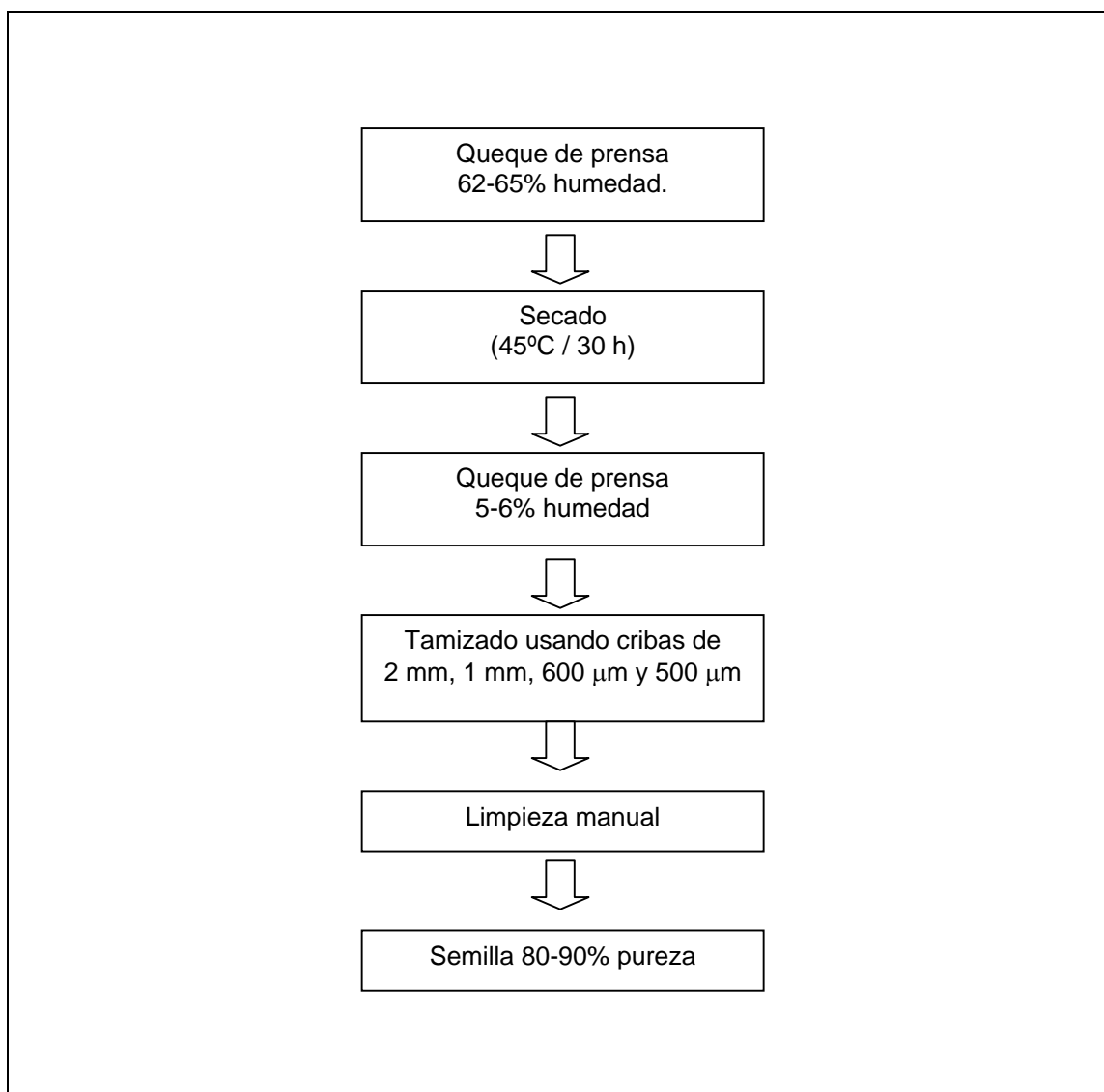


FIGURA 2. Esquema de obtención de semilla de arándano limpia y seca.

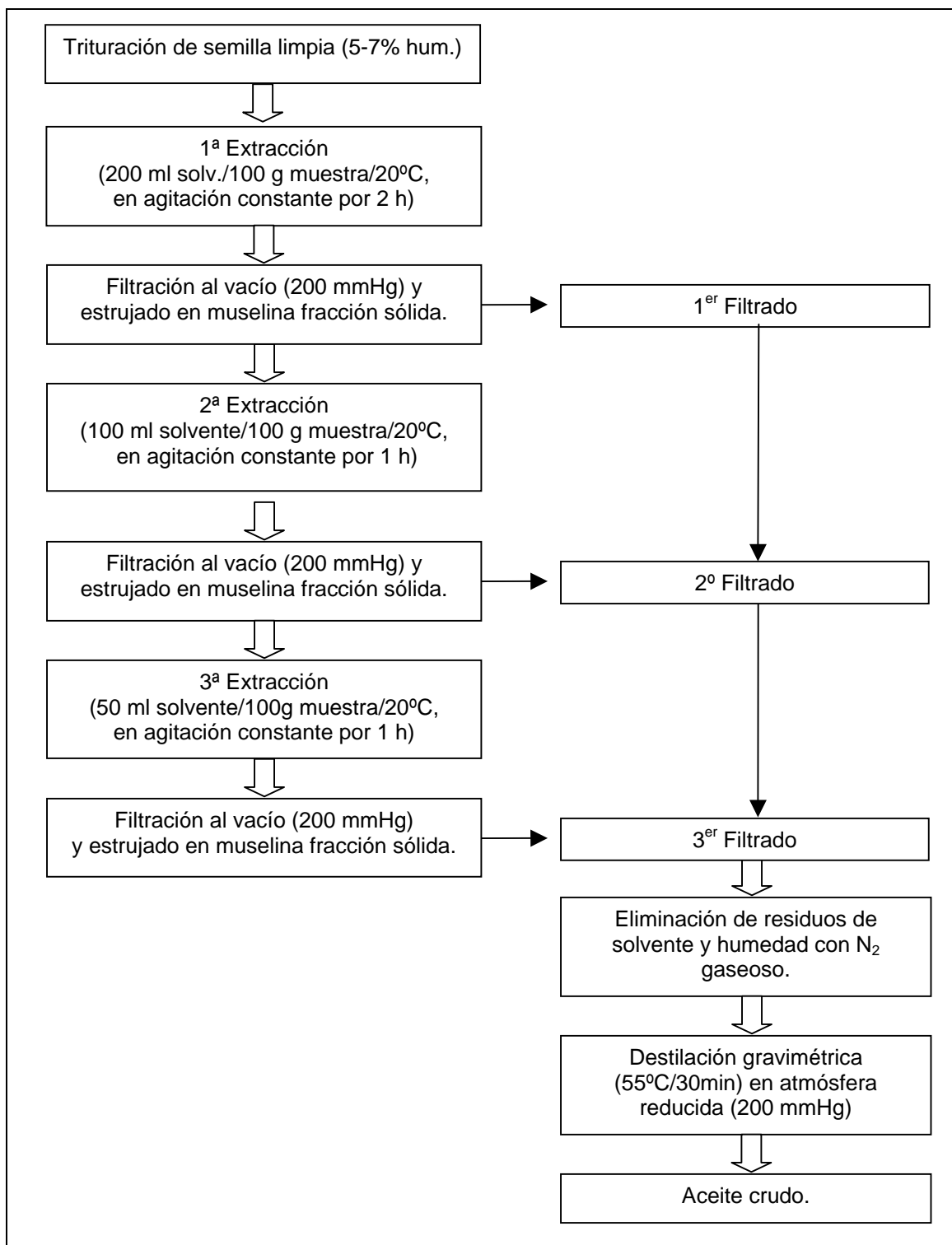


FIGURA 3. Proceso de extracción a baja temperatura de aceite crudo de semilla de arándano.

3.4.2 Refinación del aceite crudo. La mitad de las muestras de aceite a analizar corresponden a aceite refinado de semilla de arándano, para comparación de sus características con las muestras de aceite crudo.

El proceso de refinación llevado a cabo, corresponde a una adaptación de los métodos descritos por SCHMIDT-HEBBEL (1966), BADUI (1999) y AMOS *et al.* (1968), y consistió en cuatro etapas básicas: desgomado, neutralización, decoloración o blanqueo, y “winterización” o hibernación. En la etapa de neutralización, el aceite fue mezclado con el volumen de NaOH 1N previamente calculado para llegar a un valor $\leq 0,1\%$ de ácidos grasos libres expresados como ácido oleico, a partir del porcentaje de acidez libre previamente determinado en el extracto crudo. En la FIGURA 4 se describe en detalle el proceso completo de refinación de aceite crudo de semilla de arándano.

3.5 Metodología de análisis

A continuación se detalla cada uno de los análisis realizados a las muestras en estudio, los cuales fueron llevados a cabo según los métodos oficiales disponibles.

3.5.1 Determinación del contenido de materia grasa de la semilla. Para la determinación del porcentaje de materia grasa de las semillas de arándano, se utilizó el método de extracción directa Soxhlet y éter de petróleo como solvente para la obtención del extracto etéreo a partir de la muestra triturada, según el método descrito por CHILE, MINISTERIO DE SALUD (1998). El contenido en las muestras se expresó como porcentaje de materia grasa en base seca (%MG b.s.).

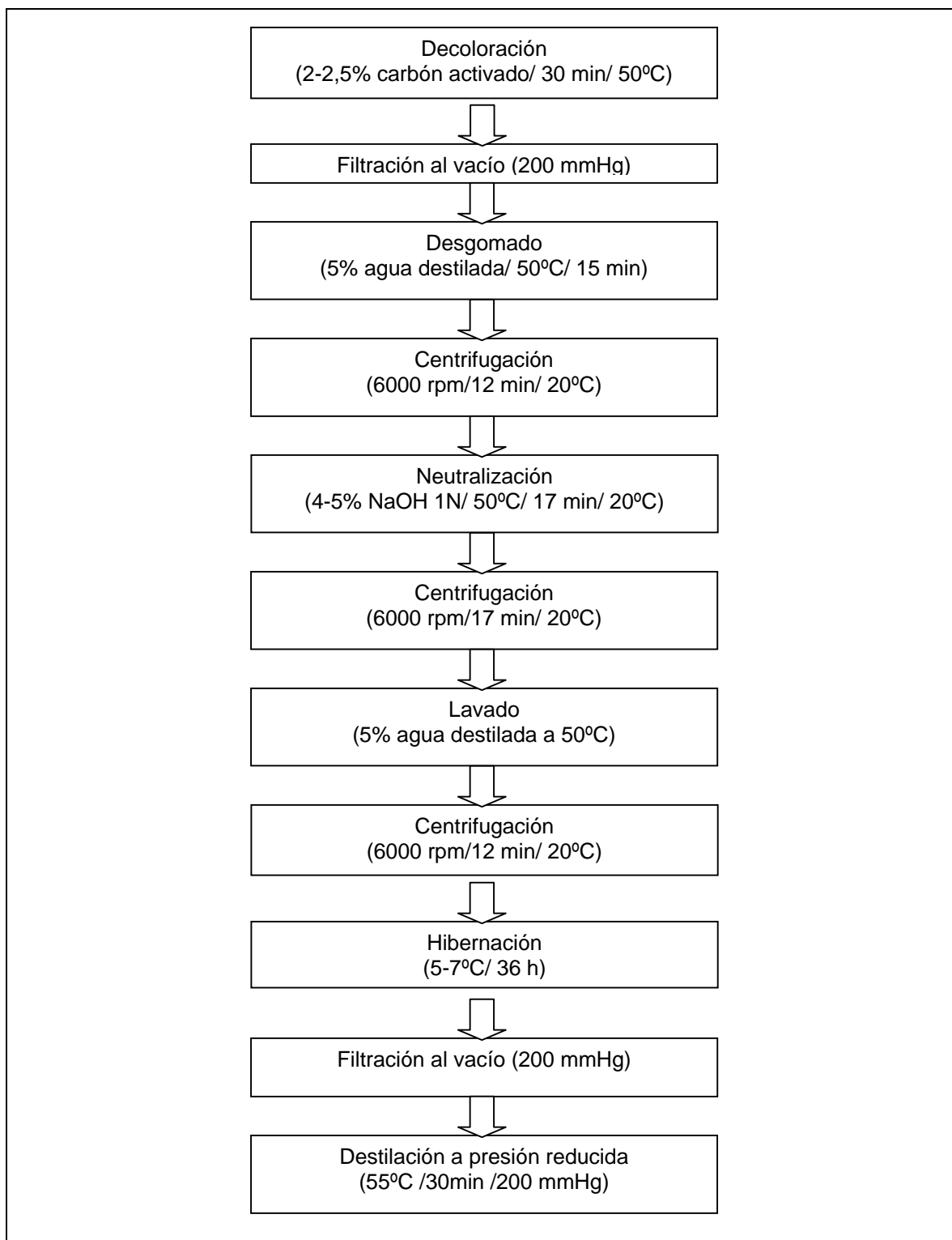


FIGURA 4. Proceso de refinación de aceite crudo de semilla de arándano.

3.5.2 Composición de ácidos grasos. Se empleó la técnica de cromatografía gas-líquido (GLC) propuesta por CANTELLOPS *et al.* (1999), con algunas modificaciones, para determinar el perfil de ácidos grasos a partir de las muestras de aceite de semilla de arándano extraído por solvente (crudo y refinado). Adicionalmente, se realizó el análisis de un blanco (éter de petróleo, Merck) para comprobar la pureza del solvente a utilizar en las extracciones de aceite crudo. El perfil de ácidos grasos de las muestras se expresó en porcentaje de ésteres metílicos.

3.5.2.1 Preparación de los ésteres metílicos. En primer lugar se realizó una metilación directa del blanco de reactivo, lo cual se encuentra descrito en la FIGURA 5 (a). En la FIGURA 5 (b) se encuentra esquematizada la metodología desarrollada para la metilación directa de ácidos grasos de las muestras de aceite crudo y refinado.

3.5.2.2 Análisis por cromatografía gas-líquido. La determinación del perfil de ácidos grasos de las muestras a analizar, se realizó en un equipo cromatográfico de gases Perkin-Elmer 900, equipado con controlador manual de presión, detector de ionización de llama (FID), inyección directa y registrador integrador Shimadzu C-R6A Chromatopac. Las condiciones del análisis cromatográfico se detallan en el CUADRO 8.

3.5.3 Determinación de parámetros químicos y físicos. Los parámetros que se determinaron en los dos tipos de aceite como producto final fueron los siguientes:

3.5.3.1 Acidez libre. Calculada como porcentaje de ácidos grasos libres (%A.G.L.) expresado como ácido oleico (método oficial AOAC 41.1.21,16^a edición 1995).

3.5.3.2 Índice de peróxido. Determinado por titulación yodométrica según el método oficial AOAC 41.1.16 (16ª edición, 1995).

3.5.3.3 Índice de yodo. El índice de yodo fue determinado por el método de *Wijs*, de acuerdo al método oficial AOAC 41.1.15 (16ª edición, 1995).

3.5.3.4 Índice de saponificación. Determinado según el método oficial AOAC 41.1.18 (16ª edición, 1995).

3.5.3.5 Índice de refracción. Para la determinación del índice de refracción se empleó un refractómetro universal de *Abbé*, a 20°C, según el método oficial AOAC 41.1.07 (16ª edición, 1995).

3.5.3.6 Peso específico. El peso específico de las muestras de aceite fue determinado usando un picnómetro de 10 ml, a 20°C/20°C (método oficial AOAC 41.1.04, 16ª edición, 1995).

3.5.3.7 Color. La determinación de color de las muestras de aceite se realizó empleando un equipo colorimétrico triestímulo (Liquid tester LTMA, Dr. Lange) y comparando las coordenadas obtenidas en un diagrama de cromaticidad CIE (ANEXO 1).

3.5.4 Caracterización de la fibra de la semilla. Se determinó fibra dietética total, soluble e insoluble, empleando el método enzimático gravimétrico MES-TRIS buffer (método oficial AOAC 32.1.17, 16ª edición, 1995). Además se realizó una determinación de fibra cruda por el método proximal (método oficial AOAC 4.6.02, 16ª edición) y por el método del detergente neutro (F.D.N.) según lo descrito por VAN-SOEST *et al.* (1991) (FIGURA 6), con el objetivo de determinar en forma previa la posibilidad de obtener una cantidad significativa

de fibra dietética en la materia prima. Los resultados fueron expresados como porcentaje en base seca del tipo de fibra correspondiente.

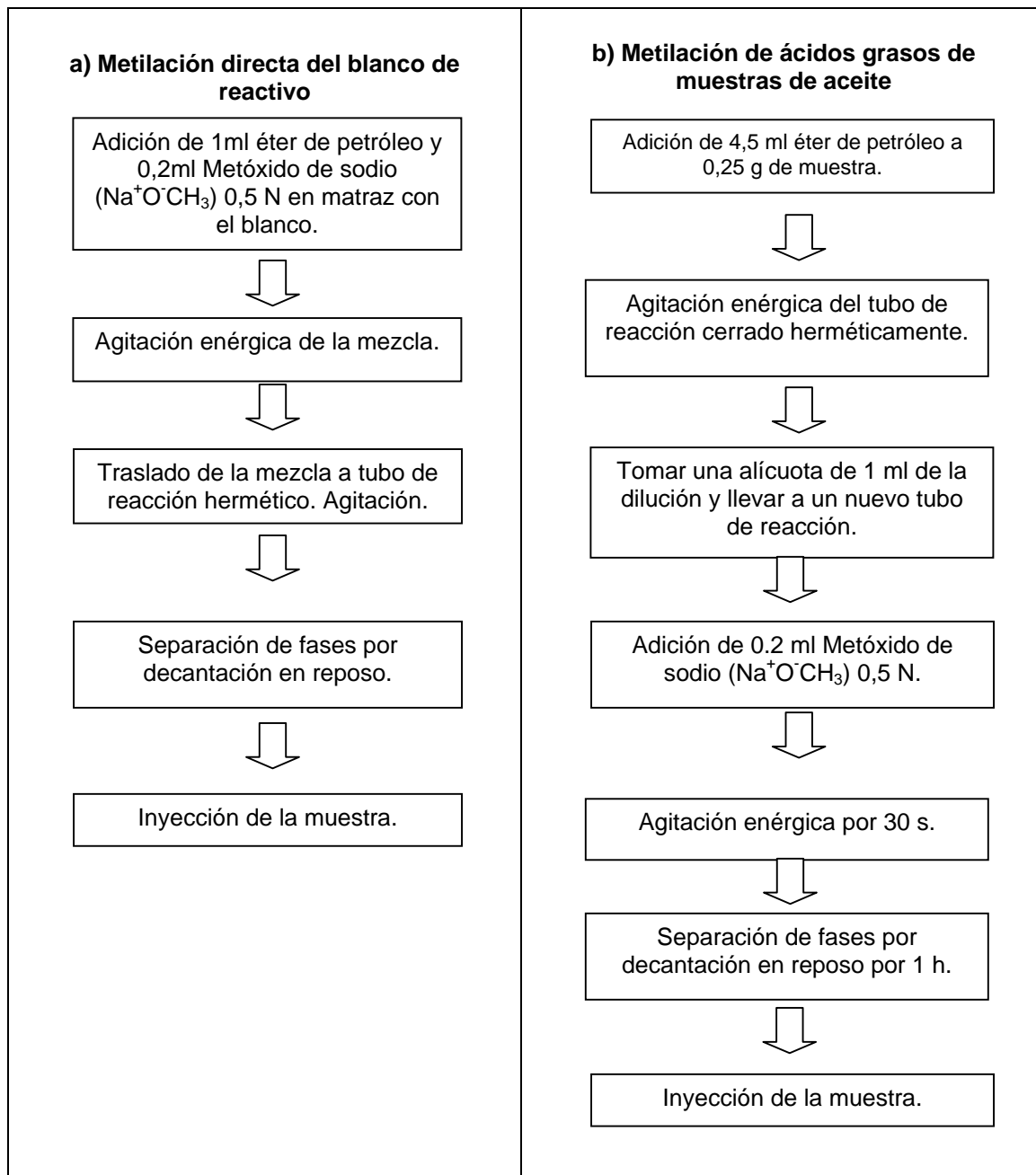


FIGURA 5. Determinación de ácidos grasos en muestras de aceite de semilla de arándano.

CUADRO 8. Condiciones del análisis cromatográfico.

CARACTERÍSTICAS	VARIABLES
COLUMNA	Columna empacada 1,8 m x 2 mm de diámetro interno.
FASE ESTACIONARIA	10% SP – 2330, 100 – 200 mesh, Supelcoport.
TEMPERATURA POR ZONAS	
HORNO:	
Temperatura inicial	60 °C
Tiempo inicial	2 min
Incremento	6°C/ min
Temperatura final	200 °C
Tiempo final	5 min
INYECTOR	250°C
DETECTOR	300°C
DURACIÓN TOTAL	60 min
GAS DE ARRASTRE	Nitrógeno
FLUJO DE GAS	20 ml/ min
FLUJO DE HIDRÓGENO	30 ml/ min
FLUJO DE AIRE	550 ml/ min
VOLUMEN DE INYECCIÓN	1µl
MODO DE INYECCIÓN	Manual (jeringa Hamilton, 10µl, modelo 701).
DETECTOR	FID

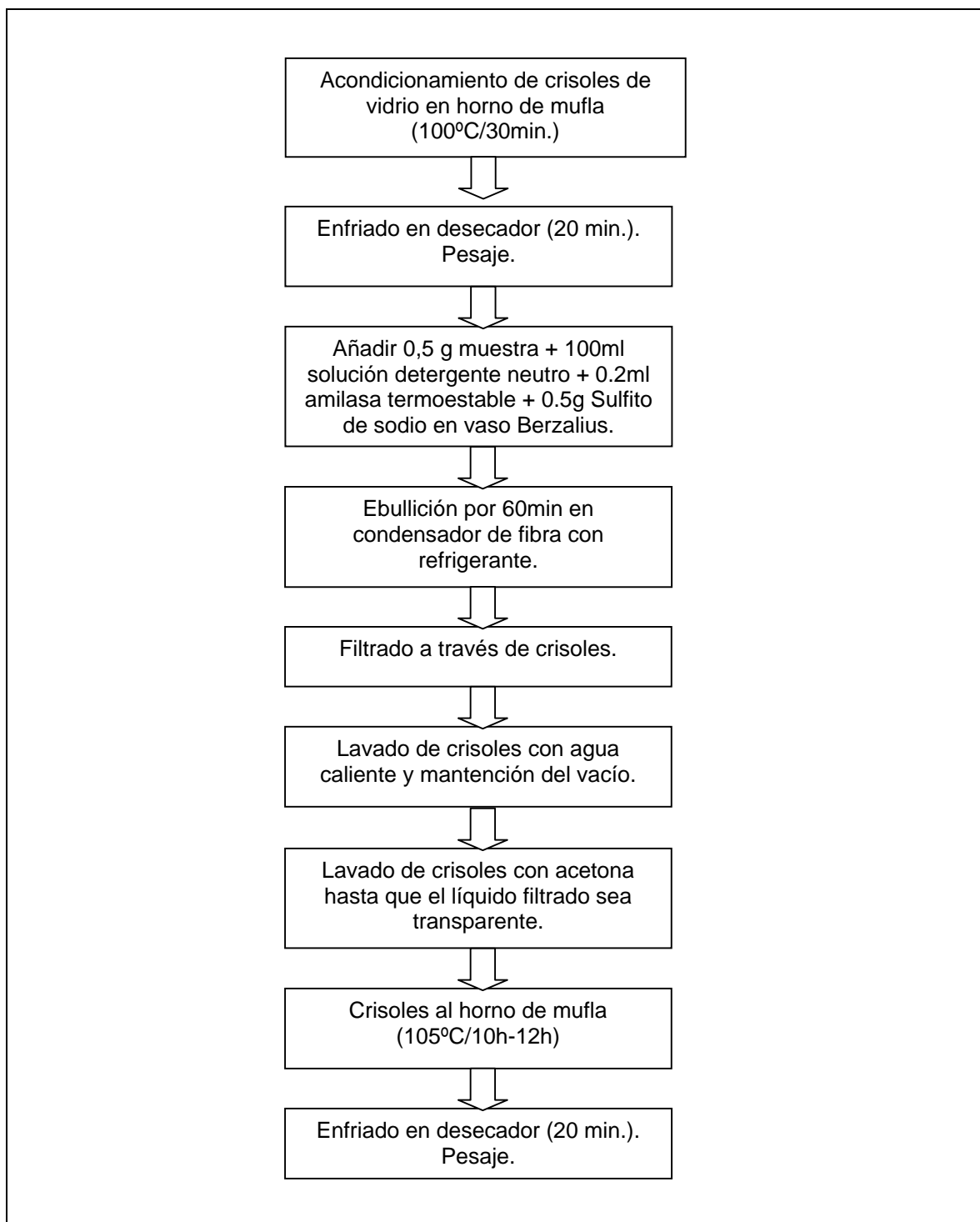


FIGURA 6. Determinación de fibra cruda por el método F.D.N.

3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño factorial de primer grado con un factor y dos niveles (2^1), completamente aleatorizado, con tres repeticiones por cada tratamiento. El factor corresponde a tipo de aceite y los niveles son aceite crudo y aceite refinado de semilla de arándano. Todas las mediciones fueron realizadas en duplicado.

Se realizó una evaluación estadística utilizando el programa computacional STATGRAPHICS Plus 5.1, determinándose promedios aritméticos, rangos de variación y desviación estándar para cada parámetro medido. Los datos obtenidos como resultado de los ensayos, fueron analizados usando análisis de varianza (ANDEVA) para establecer si existían diferencias significativas entre los dos tipos de aceite; además se realizó un test de comparación múltiple Tukey para determinar qué parámetros resultaron diferentes entre sí.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano

A partir de los estudios realizados se logró establecer que las semillas de arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) presentan un rendimiento de 15,42% de materia grasa (b.s.). El rendimiento de aceite promedio obtenido con el método empleado en este estudio, fue de 10,87% para aceite crudo y 7,21% para aceite refinado.

El rendimiento en aceite crudo es similar al obtenido por OOMAH *et al.* (2000) en su estudio realizado en aceite crudo de frambuesa (*Rubus idaeus L.*) usando el método de extracción descrito en el punto 2.4.2.2.

La disminución en el rendimiento de aceite, tanto crudo como refinado con respecto al valor proximal determinado por método Soxhlet, se debe a que en este último se evitan las pérdidas que se producen en un método discontinuo.

En el CUADRO 9 se presenta la composición de ácidos grasos (AG) de aceite crudo y refinado de semilla de arándano obtenida como parte de los resultados de este estudio. Estos valores corresponden a los promedios generales de las determinaciones, en el ANEXO 2 se presentan además en detalle algunos parámetros estadísticos para aceite crudo y refinado de semilla de arándano, como porcentaje mínimo, porcentaje máximo, rango de variación y coeficiente de variación de las observaciones.

CUADRO 9. Composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

ACIDOS GRASOS	% ÉSTERES METÍLICOS *	
	ACEITE CRUDO	ACEITE REFINADO
Mirístico (C14:0)	0,10 ^a ± 0,04	0,29 ^b ± 0,06
Palmítico (C16:0)	5,76 ^a ± 0,11	5,86 ^a ± 0,26
Palmitoléico (C16:1n-7)	0,38 ^a ± 0,12	0,63 ^b ± 0,09
Esteárico (C18:0)	1,91 ^a ± 0,12	2,06 ^a ± 0,17
Oléico (C18:1 n-9)	21,26 ^a ± 0,24	20,94 ^a ± 0,51
Linoleico (C18:2 n-6)	41,34 ^a ± 0,47	39,55 ^b ± 0,61
α-Linolénico (C18:3 n-3)	28,11 ^a ± 0,37	28,36 ^a ± 0,44
Monoinsaturados	21,64 ^a ± 0,34	21,57 ^a ± 0,60
Poliinsaturados	69,45 ^a ± 0,66	67,91 ^a ± 1,05
Total insaturados	91,09 ^a ± 0,76	89,48 ^a ± 1,65
Total saturados	7,77 ^a ± 0,24	8,21 ^a ± 0,42
n-6/n-3	1,47 ^a ± 0,02	1,39 ^b ± 1,39

* Datos expresados como media ± desviación estándar de 3 determinaciones.

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

n-6 : ácidos grasos poliinsaturados n-6

n-3 : ácidos grasos poliinsaturados n-3

En la FIGURA 7 se observa en forma gráfica la comparación entre los perfiles de AG de los dos tipos de aceite en estudio. El ANDEVA (Análisis de varianza) realizado para cada AG según tipo de aceite reveló que sólo presentaron diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza ($p < 0,05$), el ácido mirístico con un valor p de 0,0107, ácido palmítico con un valor p de 0,0455, ácido linoleico con un valor p de 0,0158 y la relación n-6/n-3 con un valor p igual a 0,0106.

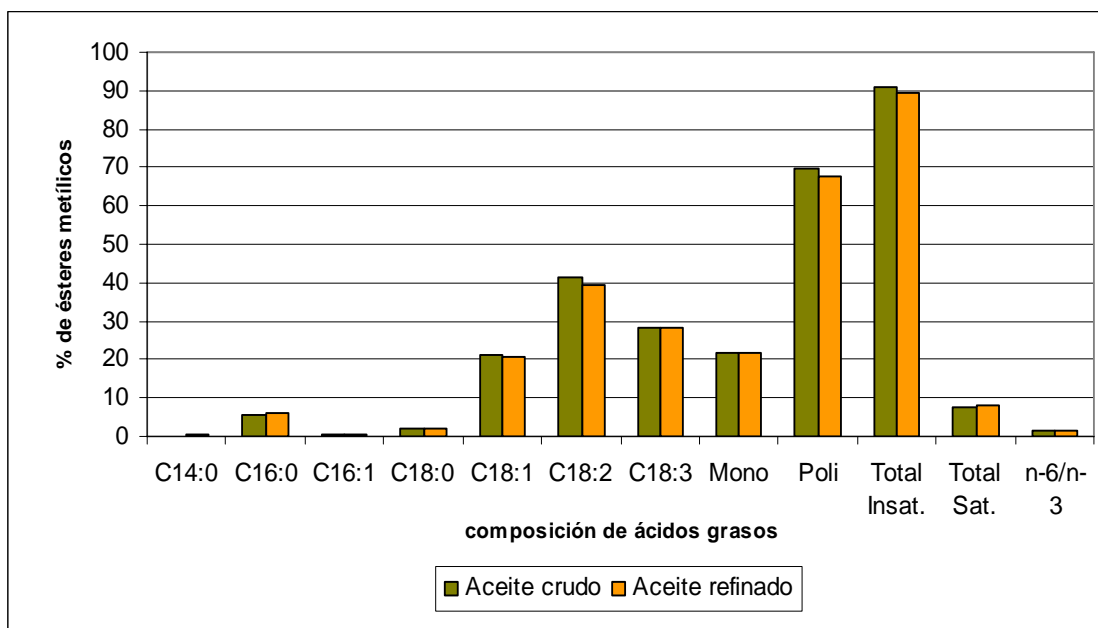


FIGURA 7. Comparación de composición de ácidos grasos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

Al analizar el perfil de AG de ambos tipos de aceite, se observa una leve variación en los valores obtenidos para cada AG (FIGURA 7), lo cual se debe al distinto grado de manipulación de la muestra de aceite y el grado de pureza de cada una con relación a cierta cantidad de impurezas tales como mucílagos, proteínas, glúcidos, ácidos grasos libres, fosfátidos, colorantes, aldehídos, cetonas, hidrocarburos y glicéridos con alto punto de fusión, los cuales son eliminados en la refinación.

En el CUADRO 10 se resumen los datos encontrados en la bibliografía de perfiles de ácidos grasos de aceites crudos de semillas de frambuesa, sandía y calabaza, los cuales fueron obtenidos por extracción a baja temperatura con solventes y sirvieron de referencia para la metodología empleada en la presente investigación; también se presenta el perfil de AG de aceite refinado de semilla de rosa mosqueta. En la FIGURA 8 se puede observar en forma gráfica la relación comparativa de los perfiles de aceites crudos de semilla de arándano con los de semilla de frambuesa, sandía y calabaza, y en la FIGURA 9, se

presenta la misma relación pero entre aceite refinado de semilla de arándano y de semilla de rosa mosqueta. Estos gráficos fueron realizados a partir de los datos del CUADRO 10.

CUADRO 10. Composición de ácidos grasos de aceite crudo de semilla de frambuesa, sandía y calabaza y aceite refinado de semilla de rosa mosqueta.

ACIDOS GRASOS	% ÉSTERES METÍLICOS			
	ACEITE CRUDO			ACEITE REFINADO
	Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.) ^{a;1}	Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i>) ^{b;2}	Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>) ^{b;2}	Rosa mosqueta (<i>Rosa moschata</i> Mill.) ^{b;3}
C14:0	ND	0,11	0,17	ND
C16:0	2,69	11,3	13,4	4,5
C16:1	ND	0,29	0,44	ND
C18:0	0,97	10,2	9,96	1,6
C18:1	11,99	18,1	20,4	16,3
C18:2	54,52	59,6	55,6	43,2
C18:3	29,11	0,35	ND	34,4
Mono	11,99	18,4	20,8	16,3
Poli	83,63	60	55,6	77,6
Total Insat.	95,62	78,4	76,5	93,9
Total Sat.	3,66	21,7	23,5	6,1
n-6/n-3	1,87	170,29	-	1,26

^a Media de 4 determinaciones; ^b Media de 2 determinaciones; Mono: ácidos grasos monoinsaturados; Poli: ácidos grasos poliinsaturados; ND : no detectado; n-6 : ácidos grasos poliinsaturados n-6; n-3 : ácidos grasos poliinsaturados n-3.

FUENTE: ¹ OOMAH *et al.* (2000); ² EL-ADAWY y TAHA (2001); ³ MASSON y MELLA (1985).

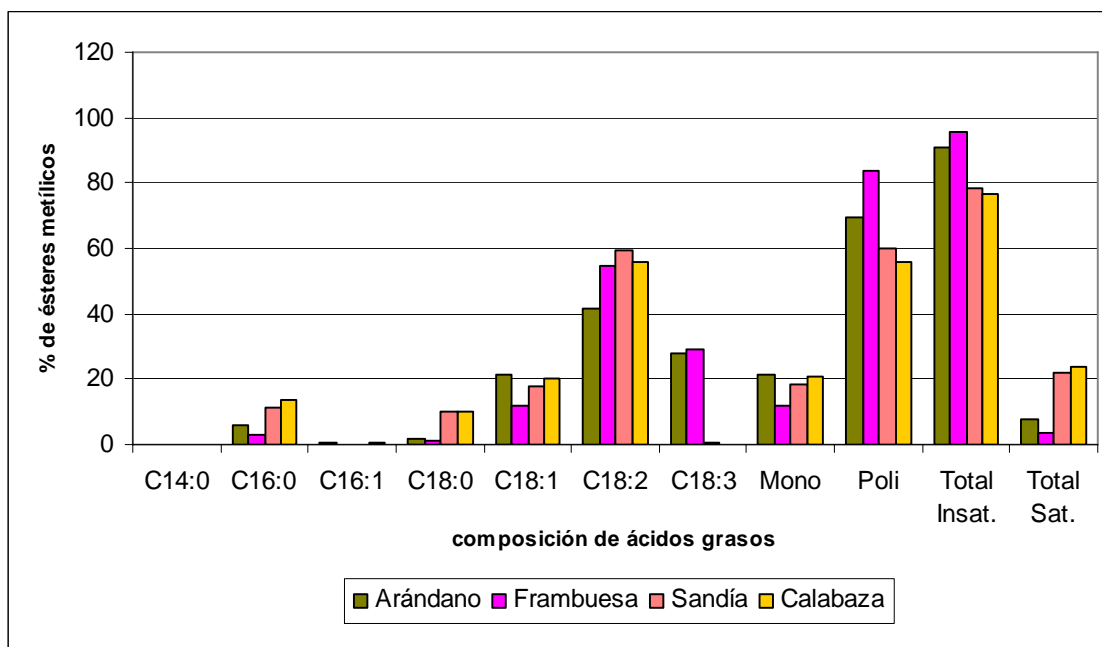


FIGURA 8. Comparación de composición de ácidos grasos de aceite crudo de semilla de arándano, frambuesa, sandía y calabaza.

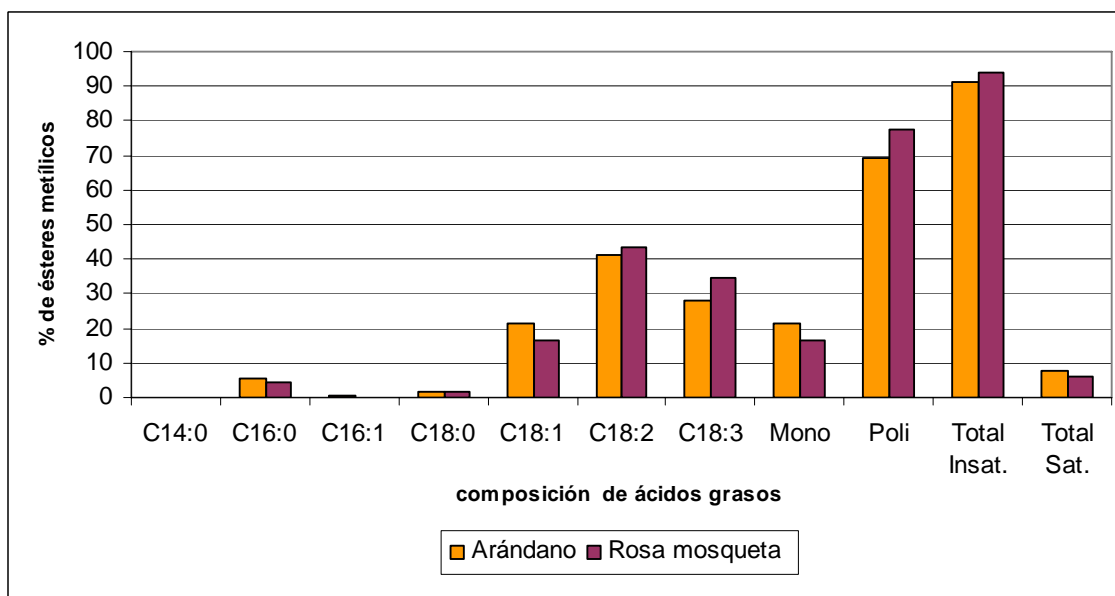


FIGURA 9. Comparación de composición de ácidos grasos de aceite refinado de semilla de arándano y rosa mosqueta.

Además, en el CUADRO 11 se presentan los perfiles de AG de aceites obtenidos por prensado en frío de semillas de frambuesa , *cranberry* y de rosa mosqueta y en el CUADRO 12, la composición de AGE o ácidos grasos esenciales (ac. linoleico y ac. α -linolénico) de algunos de los aceites más usados y otros menos tradicionales.

CUADRO 11. Perfil de ácidos grasos de aceite obtenido por prensado en frío de semilla de frambuesa, *cranberry* y rosa mosqueta.

ACIDOS GRASOS	% ÉSTERES METÍLICOS		
	Frambuesa (<i>Rubus occidentalis</i> L.) ^{a,1}	<i>Cranberry</i> (<i>Vaccinium</i> <i>macrocarpum</i>) ^b	Rosa mosqueta (<i>Rosa moschata</i> Mill.) ³
Mirístico (C14:0)	ND	ND	0,01
Palmítico (C16:0)	1,22	7,83	3,21
Palmitoléico (C16:1n-7)	ND	ND	0,17
Esteárico (C18:0)	Tra	1,91	1,65
Oléico (C18:1 n-9)	7,7	22,69	13,71
Linoléico (C18:2 n-6)	55,85	44,31	43,85
α -Linolénico (C18:3 n-3)	35,22	22,28	36,01
Monoinsaturados	7,7	22,69	13,88
Poliinsaturados	91,07	67,57	79,86
Total insaturados	98,77	90,26	93,74
Total saturados	1,22	9,74	4,87
n-6/n-3	1,59	1,99	1,22

^a Media de 3 determinaciones; ^b Media de 5 determinaciones; ND : no detectado; tra: trazas; n-6 : ácidos grasos poliinsaturados n-6; n-3 : ácidos grasos poliinsaturados n-3.

FUENTE: ¹ PARRY y YU (2000); ² PARKER *et al.* (2001); ³ NATURALOILS (2003)

CUADRO 12. Composición de AGE de algunos de los aceites más usados y otros menos tradicionales.

FUENTE	% ésteres metílicos		
	C18:2 n-6	C18:3 n-3	n-6/n-3
Oliva fruto (<i>olea europea sativa</i>)	13,9	0,8	17,38
Linaza semilla (<i>Linum usitatissimum</i>) ³	16,8	41,1	0,41
Palta fruto Chilena (<i>Persea gratísima</i>)	18,2	0,5	36,4
Colza semilla cero Ac. erúcico (<i>Brassica sp.</i>)	19,4	7,3	2,66
Lupino semilla (<i>Lupinus albus var. Multolupa</i>)	21,2	9,1	2,33
Rosa Mosqueta semilla (<i>Rosa moschata Mill.</i>)	43,2	34,4	1,26
Quínoa semilla (<i>Quenopodium quinoa</i>)	50,5	7,8	6,47
Germen de trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>)	53,0	5,6	9,46
Frambuesa semilla (<i>Rubus sp.</i>)	55,9	22,8	2,45
Soja semilla (<i>Glycin hispida</i>)	56,0	7,0	8
Germen de maíz (<i>Zea mais</i>)	57,7	2,2	26,23
Tomate semilla (<i>Solanum lycopersicum</i>)	59,5	trazas	59,5
Girasol semilla (<i>Helianthus annuus</i>)	69,3	-	-
Pepa de uva (<i>Vitis vinifera</i>)	71,1	1,0	71,1

FUENTE: MASSON y MELLA (1985).

De los perfiles de aceite obtenidos en este estudio se puede ver que en ambos casos presentan un elevado porcentaje total de ácidos grasos insaturados. Por ejemplo, el aceite crudo presenta un total de AG insaturados de 91,09%, lo cual es mayor que lo que contiene el aceite crudo de semilla de sandía (78,4%) y de calabaza (76,5%), pero inferior que el de semilla de frambuesa (95,62%) (FIGURA 8). En cuanto al aceite refinado de semilla de arándano, este presenta un total de AG insaturados de 89,48%, un poco inferior al obtenido por MASSON y MELLA (1985) para rosa mosqueta (93,9%) (FIGURA 9). El nivel de AGI (y en especial el de AGPI o ácidos grasos poliinsaturados) es un factor importante en los lípidos que se incorporan a la dieta, ya que pueden actuar como un potencial mediador para los sistemas nervioso, inmune y endocrino (PARKER *et al.*, 2003; PARRY y YU, 2004).

Con respecto a los ácidos grasos esenciales, el aceite crudo de semilla de arándano presenta un porcentaje de ác. linoleico alrededor de un 10% inferior al aceite crudo de semilla de frambuesa (54,52%), sandía (59,6%) y calabaza (55,6%), sin embargo, el porcentaje de ác. α -linolénico es mucho mayor que el de sandía (0,35%) y calabaza (ND) y similar al de frambuesa (29,11%) (FIGURA 8). Para el caso del aceite refinado, los porcentajes de AGE del aceite de arándano son levemente inferiores que los de rosa mosqueta (FIGURA 9). Tanto para el aceite crudo como el refinado de semilla de arándano, el porcentaje de ác. α -linolénico es mayor que para el aceite obtenido por prensado en frío de *cranberry* (CUADRO 11).

Si se comparan los valores obtenidos para el porcentaje de los AGE C18:2 n-6 y C18:3 n-3 con los datos del CUADRO 12, se puede ver que el aceite de semilla de arándano, tanto crudo como refinado, tienen una composición más atractiva desde el punto de vista nutricional que varios de los aceites más conocidos, como el de oliva, linaza, palta, colza y lupino. Por ejemplo, ambos tipos de aceite de semilla de arándano contienen alrededor de un 8% de ácidos grasos saturados, lo cual es inferior a lo que presenta el aceite de oliva (14,9%), de linaza (18,5%), de soya (14,7%), girasol (11,0%) y pepita de uva (11,7%). Con respecto al ácido α -linoleico, ambos aceites contienen aproximadamente un 28%, lo cual es mayor que para el aceite de soya (7%), tan solo por citar un ejemplo.

Si bien es cierto, para fines culinarios e industriales, los aceites con elevada cantidad de AGPI son menos estables, no se puede dejar de lado considerar las implicancias nutricionales favorables y los beneficiosos efectos fisiológicos en la prevención de enfermedades coronarias y cáncer, básicamente en lo que tiene que ver con la relación poliinsaturados/saturados que presentan los lípidos que se incluyen en la dieta (OOMAH *et al.*, 2000).

Otro factor importante a destacar es que la relación n-6/n-3 para el aceite de las semillas de arándano fue de 1,4 – 1,5 (CUADRO 9), lo cual es inferior a la que presentan aceites de semillas de otros *berries*, como de frambuesa (*Rubus*

idaeus L.) (1,87) por ejemplo (CUADRO 10), y mayor que el que presenta el aceite obtenido por prensado en frío de semilla de frambuesa (*Rubus occidentalis L.*) (1,59) y *cranberry* (1,99) (CUADRO 11); y mucho menor incluso que la relación n-6/n-3 que presentan aceites tan comúnmente usados como el de soya (8,0) y el de oliva (17,38) (CUADRO 12). Esto sugiere, para el caso del aceite derivado de semilla de arándano, una potencial aplicación en mejorar o reducir la relación n-6/n-3 de la dieta normal de los consumidores. Esta relación de los AG de las series n-6 y n-3 juega un rol importante en la salud y a medida que este índice se acerca a 1 en la dieta, se podrían reducir los riesgos de cáncer y enfermedades cardíacas (PARKER *et al.*, 2003; PARRY y YU, 2004).

4.2 Características físicas y químicas del aceite crudo y refinado de semilla de arándano

En el CUADRO 13 se presenta un resumen de los valores promedio obtenidos para los diferentes parámetros físicos y químicos determinados en este estudio para los aceites de semilla de arándano desarrollados.

Además, en el CUADRO 14 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de color de las muestras de los dos tipos de aceite.

En el ANEXO 3 se presentan en detalle algunos parámetros estadísticos para aceite crudo y refinado de semilla de arándano, respectivamente, como porcentaje mínimo, porcentaje máximo, rango de variación y coeficiente de variación de las observaciones.

El ANDEVA realizado para cada parámetro según tipo de aceite reveló que todos ellos presentaron diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza ($p < 0,05$). Esto también se puede apreciar gráficamente en la FIGURA 10, donde se presenta comparativamente la relación para cada parámetro físico y químico entre aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

CUADRO 13. Parámetros físicos y químicos de aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

PARÁMETRO	ACEITE CRUDO*	ACEITE REFINADO*
Acidez libre inicial (% como ác. oleico)	1,58 ^a ± 0,04	1,64 ^b ± 0,01
Acidez libre final (% como ác. oleico)	- -	0,1 ± 0,00
I. Peróxido (meq O ₂ /kg)	4,30 ^a ± 0,19	3,37 ^b ± 0,08
I. Yodo (g I ₂ / 100 g de aceite)	168,39 ^a ± 0,36	163,89 ^b ± 0,05
I Saponificación (mg KOH / g de aceite)	188,15 ^a ± 0,08	185,19 ^b ± 0,17
I. Refracción (20°C)	1,4775 ^a ± 0,00	1,4738 ^b ± 0,00
Peso Específico (20°C)	0,920 ^a ± 0,00	0,922 ^b ± 0,00

* Datos expresados como media ± desviación estándar de 3 determinaciones.

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

CUADRO 14. Determinación de color de aceite crudo y refinado.

	ACEITE CRUDO	ACEITE REFINADO
X	0,56 ^a ± 0,00	0,54 ^b ± 0,00
Y	0,42 ^a ± 0,00	0,45 ^b ± 0,00
COLOR	Naranja ^Δ	Naranja/Amarillento ^Δ

* Datos expresados como media ± desviación estándar de 3 determinaciones.

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

^Δ Ver ANEXO 1 (carta de color).

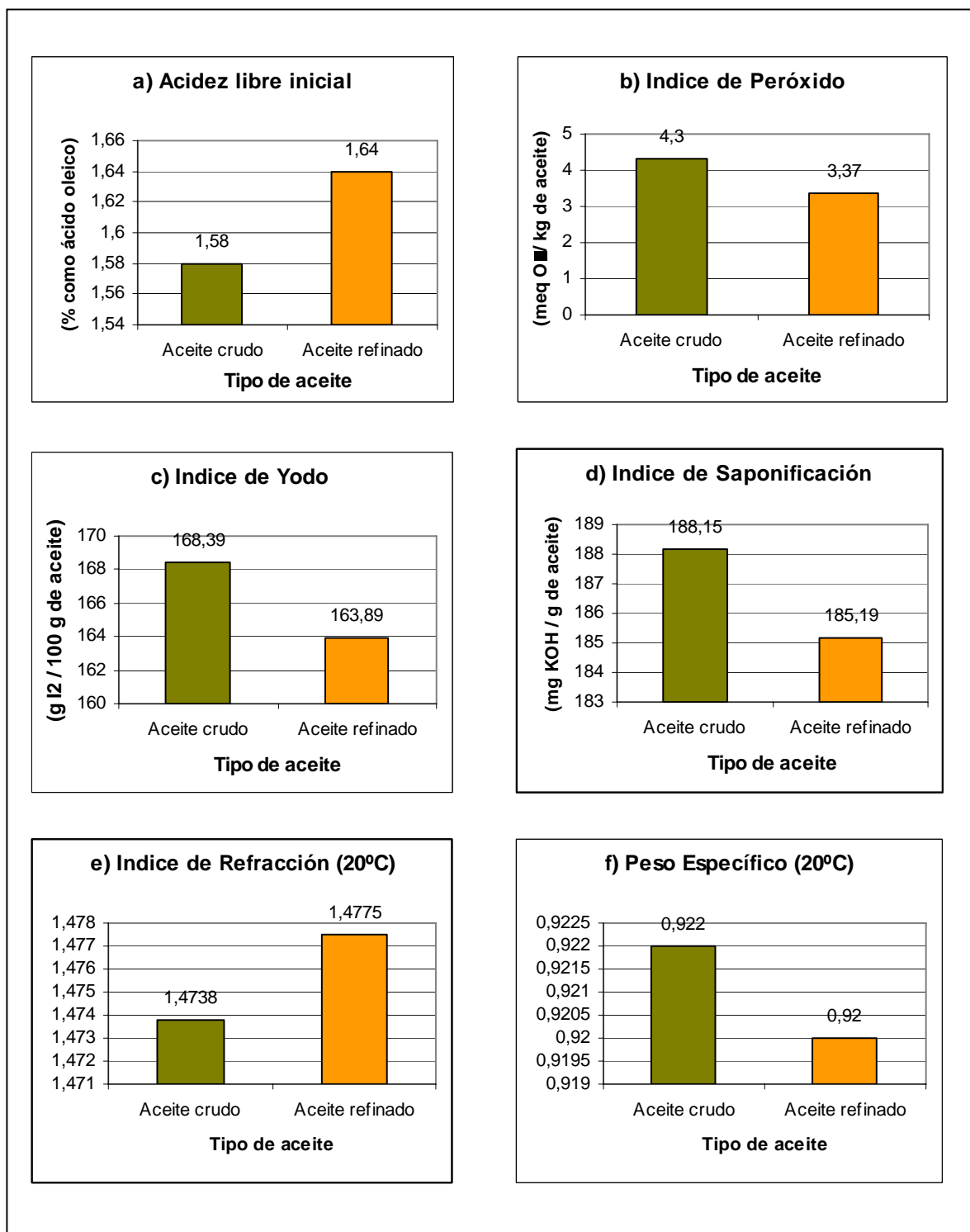


FIGURA 10. Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

Los aceites cuyos perfiles de AG se presentaron en el CUADRO 12, también fueron estudiados por sus autores en cuanto a sus características físicas y químicas, las cuales se resumen en el CUADRO 15 y a partir de cuyos datos se realizaron los gráficos de las FIGURAS 11 y 12 para su análisis comparativo con relación a los aceites de semilla de arándano obtenidos en la presente investigación. Cabe destacar que no se encontraron datos en la literatura sobre propiedades físicas y químicas de aceite de semilla de arándano para así poder efectuar una comparación de resultados.

CUADRO 15. Parámetros físicos y químicos de aceite crudo de semilla de frambuesa, sandía y calabaza y de aceite refinado de semilla de rosa mosqueta.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	ACEITE CRUDO			ACEITE REFINADO
	Frambuesa (<i>R. idaeus</i> L.) ^{a;1}	Sandía (<i>Citrullus</i> <i>vulgaris</i>) ²	Calabaza (<i>Cucurbita</i> <i>pepo</i>) ²	R. mosqueta (<i>R. moschata</i> Mill.) ³
Ac. libre in. (% como ác. oleico)	ND	1,41	1,44	NI
Ac. libre fin. (% como ác. oleico)	-	-	-	< 0,5
I. Peróxido (meq O ₂ /Kg)	8,25	3,40	3,60	< 3,5
I. Yodo (g I ₂ /100 g de aceite)	ND	115	109	165 - 190
I. Saponif. (mg KOH/g de aceite)	191	201	206	175 - 200
I. Refracción (20°C)	ND	1,4677	1,4687	1,4690-1,4997
Peso Específico (20°C)	ND	0,916	0,914	0,920 - 0,965

^a Promedio de 3 determinaciones; ND : no detectado; NI: no informado.

FUENTE: ¹ OOMAH *et al.* (2000).

² EL-ADAWY y TAHA (2001).

³ MASSON y MELLA (1985).

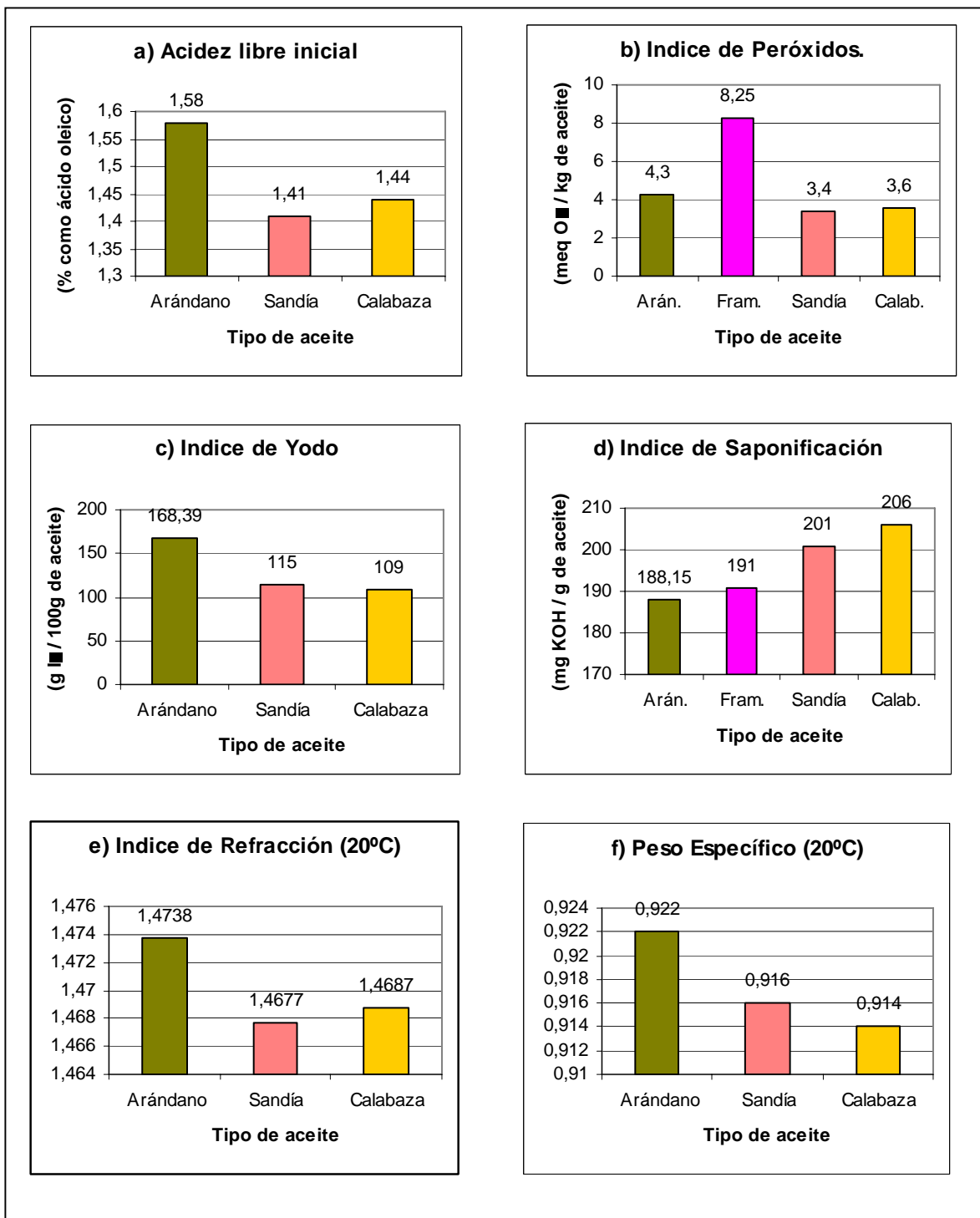


FIGURA 11. Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite crudo de semilla de arándano y de semilla de frambuesa, sandía y calabaza.

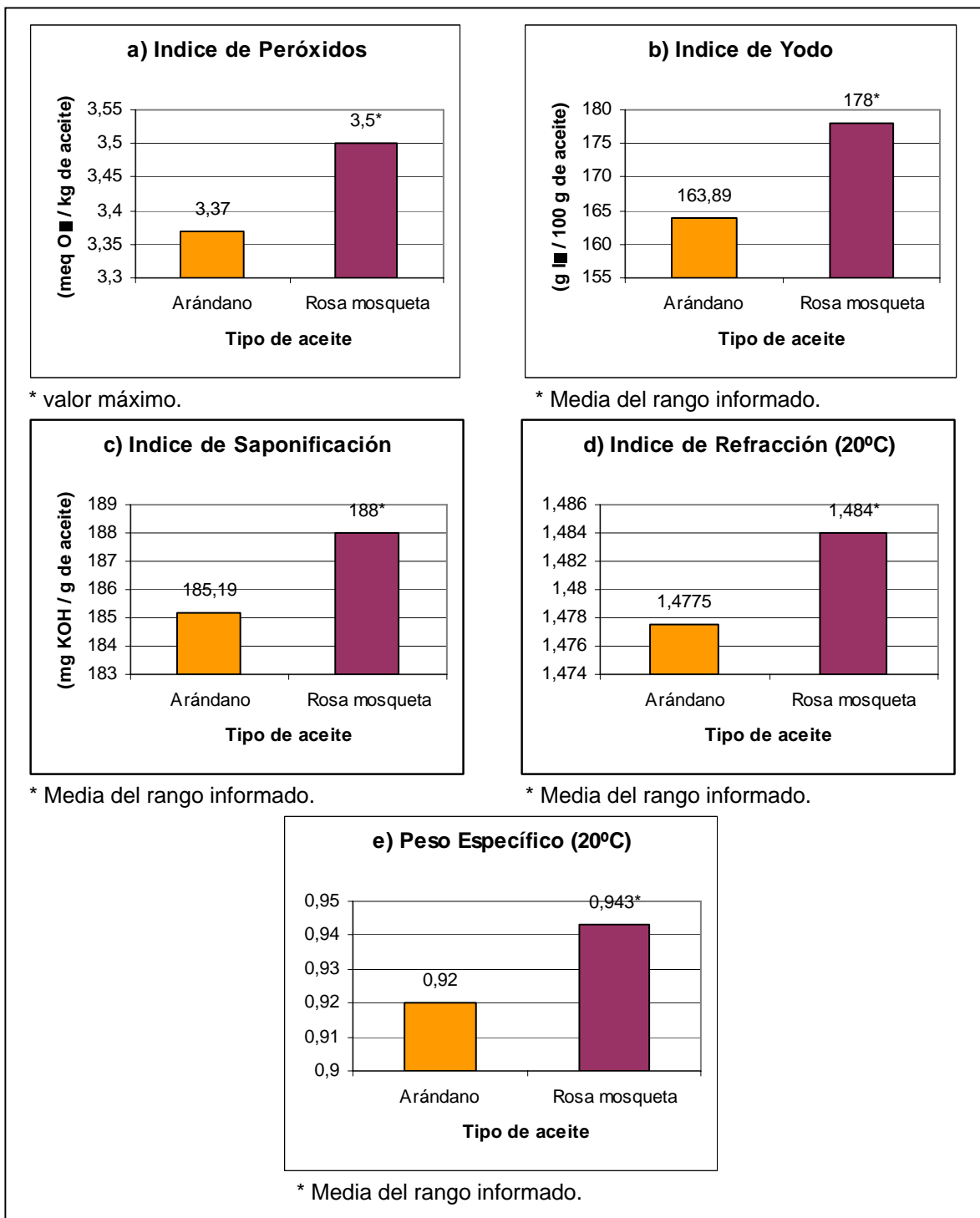


FIGURA 12. Comparación de parámetros físicos y químicos entre aceite refinado de semilla de arándano y de semilla de rosa mosqueta.

4.2.1 Acidez libre. Se determinó la acidez libre inicial directamente al extracto crudo de aceite, es decir, se midió en el mismo punto en ambos tipos de aceite y los resultados obtenidos fueron 1,58% para aceite crudo y 1,64% para aceite refinado, expresado como ácido oleico. El ANDEVA realizado según tipo de aceite para este parámetro, demostró que ambos resultados presentaron diferencias significativas al 95% de confianza, con un valor p igual a 0,0454 ($p < 0,05$), lo cual sólo podría explicarse por una variabilidad en la calidad de las semillas como materia prima.

El valor de la acidez inicial del aceite crudo es variable para los distintos tipos de aceites según su materia prima y tratamiento. En el caso de la semilla de arándano, éste fue superior al informado por EL-ADAWY y TAHA (2001) para sandía (1,41% como ac. oleico) y calabaza (1,44% como ac. oleico) (FIGURA 11 (a)). El Reglamento Sanitario de los Alimentos (CHILE, MINISTERIO DE SALUD, 2003), señala dentro de sus disposiciones generales para grasas y aceites comestibles, que éstas no deben contener más de 0,25% de acidez libre expresada como ácido oleico, por lo cual, para los fines de este estudio, en el aceite refinado de semilla de arándano la acidez libre final se estableció en $\leq 0,1\%$ expresado como ácido oleico (CUADRO 13).

4.2.2 Índice de peróxidos. El índice de peróxidos para el aceite crudo de semilla de arándano fue de 4,3 meq O_2 /kg y para el aceite refinado, 3,37 meq O_2 /kg, los cuales en ambos casos estarían aun dentro de su período de inducción (≤ 5 meq O_2 /kg) con respecto al proceso de deterioro oxidativo de las grasas (SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

De acuerdo al ANDEVA realizado, existen diferencias significativas al 95% de confianza entre ambos resultados según tipo de aceite con un valor p de 0,0015, lo cual corresponde a lo esperado debido a que la disminución del índice de peróxido del aceite refinado con respecto al crudo es un resultado de tal proceso.

Para los aceites refinados, el reglamento vigente (CHILE, MINISTERIO DE SALUD, 2003) indica que el límite máximo de peróxidos es de 10 meq O₂/kg en su período de vida útil. El alto grado de insaturación del aceite proveniente de semilla de arándano ejerce influencia sobre el nivel de peróxidos y, en consecuencia, en su estabilidad oxidativa, sin embargo, en el caso del aceite refinado desarrollado en este estudio, su índice de peróxidos estaría dentro del rango permitido, considerando que el proceso de refinación al cual fue sometido no es en rigor comparable a un proceso industrial convencional, en cuanto a escala y empleo de equipos especializados; de hecho, el aceite refinado desarrollado en este estudio no fue sometido a desodorización, que es la etapa final del proceso de refinación y que puede influir en las características finales del producto.

Al comparar los resultados para este parámetro con los aportados por la bibliografía (FIGURA 11 (b) y 12 (a)), se puede ver que en el caso de los aceites crudos, el de semilla de arándano (4,3 meq O₂/kg) tuvo un índice de peróxido menor que el de frambuesa (8,25 meq O₂/kg) y levemente superior al de sandía (3,4 meq O₂/kg) y calabaza (3,6 meq O₂/kg); en cuanto al aceite refinado, el de semilla de arándano (3,37 meq O₂/kg) fue inferior al máximo informado para rosa mosqueta (3,5 meq O₂/kg).

4.2.3 Índice de yodo. Los dos tipos de aceite en estudio presentaron un alto índice de yodo, lo cual es un reflejo de su elevado nivel de insaturación. El índice de yodo para aceite crudo fue de 168,39 g I₂/100g y para el aceite refinado, 163,8 g I₂/100g, lo cual coincide con el porcentaje total de AG insaturados para ambos tipos de aceite, el cual es mayor para el aceite crudo (91,09%) y menor para el refinado (89,48%) (CUADRO 9).

Se determinó que existen diferencias significativas entre tipos de aceite para este parámetro con un valor p de 0,0000 ($p < 0,05$), pese a ello los valores obtenidos son cercanos entre sí dentro de un rango normal.

El índice de yodo obtenido para aceite refinado de semilla de arándano coincide dentro del rango característico para aceite de semilla de rosa mosqueta (CUADRO 15); este es el valor referencial con el que mejor se puede establecer la comparación ya que fue determinado por el mismo método (método de Wijs).

4.2.4 Índice de saponificación. El aceite crudo de semilla de arándano presentó un índice de saponificación de 188,15 mg KOH/g y el aceite refinado, 185,19 mg KOH/g, lo cual los hace comparables a algunos de los aceites vegetales comunes, como el de pepa de uva (180-196 mg KOH/g), soya (186-195 mg KOH/g) y girasol (186-194 mg KOH/g) (SCHMIDT-HEBBEL *et al.*, 1981).

El que el índice de saponificación del aceite refinado de semilla de arándano sea inferior al del aceite crudo es una prueba de que fueron eliminados los AG de bajo peso molecular durante la refinación; esto es reafirmado por el ANDEVA realizado que reveló diferencias significativas al 95% de confianza ($p < 0,05$) según tipo de aceite, con un valor p de 0,0000.

Al comparar estos resultados con los que presenta la bibliografía (FIGURA 11 (d)) se puede ver que el aceite crudo de semilla de arándano presentó un índice de saponificación inferior con relación al de semilla de frambuesa (191 mg KOH/g), sandía (201 mg KOH/g) y calabaza (206 mg KOH/g); y para el aceite refinado se puede ver que el valor obtenido para el proveniente de semilla de arándano se encuentra dentro del rango reportado para aceite refinado de semilla de rosa mosqueta (CUADRO 15).

4.2.5 Índice de refracción. El índice de refracción determinado para aceite crudo fue de 1,4738 y para aceite refinado, 1,4775, presentando diferencias significativas según tipo de aceite al 95% de confianza con un p-valor igual a 0,0000. Este índice tiene una estrecha relación con la constitución del aceite y disminuye en forma casi lineal con el aumento del índice de yodo (AMOS *et al.*,

1968), lo cual se puede ver también al comparar los resultados para estos índices entre ambos tipos de aceite (CUADRO 13).

En la FIGURA 11 (e) se puede ver que el aceite crudo de semilla de arándano (1,4738) presenta un índice de refracción mayor que el de semilla de sandía (1,4677) y de calabaza (1,4687); y en el caso del aceite refinado de semilla de arándano (1,4775), coincide dentro del rango característico para el de semilla de rosa mosqueta (CUADRO 15).

4.2.6 Peso específico. El peso específico determinado por picnometría para ambos tipos de aceite de semilla de arándano fue de 0,922 para aceite crudo y 0,920 para aceite refinado, presentando diferencias significativas al 95% de confianza con un valor p de 0,0040. Este parámetro varía en forma directa con el grado de insaturación de sus AG constituyentes, lo cual coincide con el porcentaje total de AG insaturados determinados para los dos tipos de aceite en estudio (CUADRO 9).

Al comparar con los aceites provenientes de otras semillas (FIGURA 11 (f)) el aceite crudo de arándano presenta un mayor peso específico que el de semilla de sandía (0,916) y que el de semilla de calabaza (0,914); y en el caso del aceite refinado de semilla de arándano (0,943) coincide dentro del rango característico para el de semilla de rosa mosqueta (CUADRO 15).

4.2.7 Color. La percepción del color es un factor crítico para la determinación de potenciales aplicaciones de aceites comestibles en los alimentos. En este estudio la medición de color se realizó empleando un equipo colorimétrico triestímulo (Liquid tester LTMA, Dr. Lange), obteniendo los resultados presentados en el CUADRO 14 para las coordenadas X e Y, las cuales al ser comparadas con el diagrama de cromaticidad CIE (ANEXO 1), resultaron en un color “naranja” para aceite crudo y “naranja/amarillento” para aceite refinado.

En el caso del aceite crudo, al ser observado directamente se percibe más bien de un color verde con matices anaranjados (FIGURA 13), el que no coincide con ningún color de la carta. La diferencia con lo que indica la medición instrumental podría ser que la constitución de la muestra sea muy densa para la capacidad discriminativa del equipo, el cual está indicado para muestras líquidas.

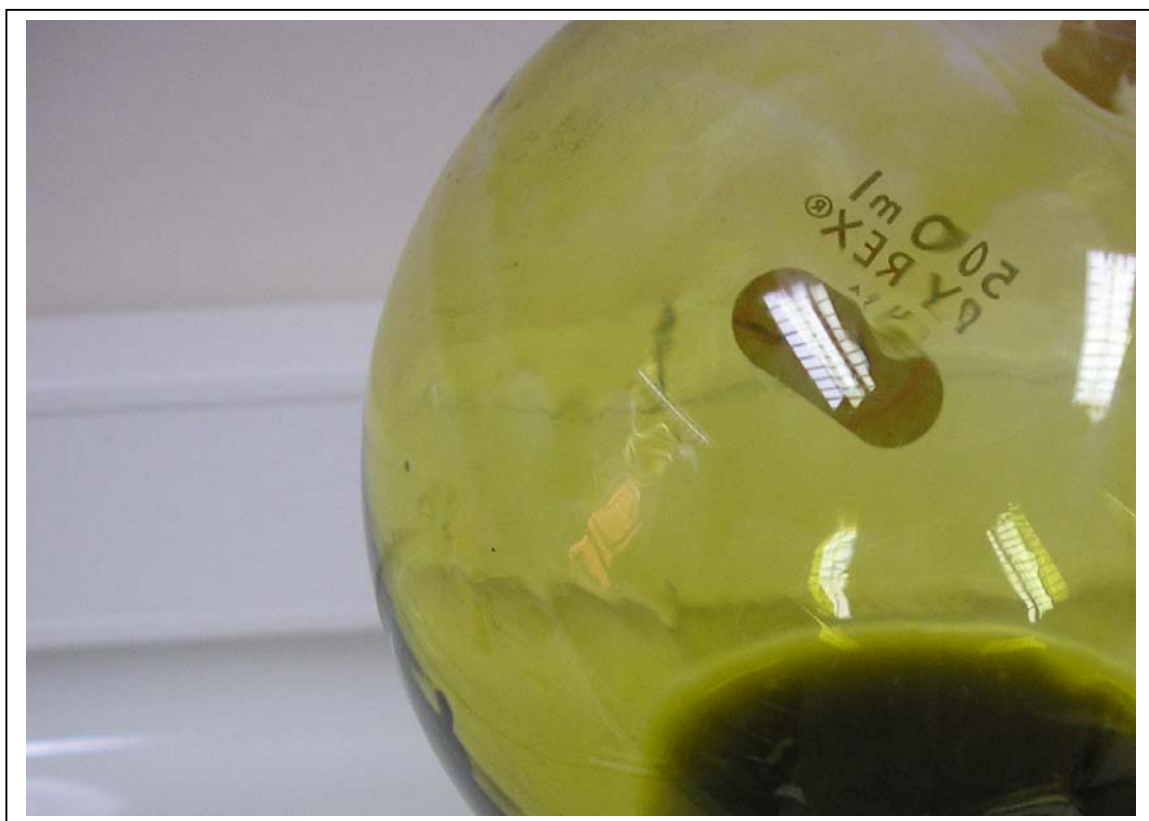


FIGURA 13. Color del aceite crudo.

El aceite refinado presenta un color muy atractivo a la vista (FIGURA 14), con matices un tanto similares al aceite de oliva extra virgen. Su marcado color naranja/amarillento es un reflejo de su contenido en antioxidantes naturales, como por ejemplo los carotenoides.



FIGURA 14. Aceite crudo y refinado de semilla de arándano.

4.3 Fibra cruda y dietética

Dentro de los estudios preliminares de la presente investigación, se determinó el contenido de fibra cruda de la semilla de arándano (fracción desgrasada) por el método convencional de composición proximal (digestión ácido-alcalina) y por el método FDN (Fibra Detergente Neutro). Los resultados obtenidos se resumen en el CUADRO 16.

CUADRO 16. Contenido de fibra cruda de semilla de arándano.

Método	% Fibra cruda (b.s.)
FDN (método del detergente neutro)	66,64
Proximal (digestión ácido-alkalina)	28,05

La notoria diferencia entre ambos resultados se explica por el hecho de que el método FDN determina el contenido de fibra que corresponde a la pared celular completa de las células vegetales, con una pérdida de lignina y hemicelulosa muy inferior a la provocada por el método de digestión ácido-alkalina, el cual es tan agresivo que prácticamente es sólo el reflejo del contenido de celulosa con una pérdida considerable de los otros componentes estructurales de la pared celular (BADUI, 1999; HART y FISHER, 1984; VAN-SOEST *et al.*, 1991).

El valor FDN de fibra cruda para semilla de arándano (66,64%) es mayor que el que presentan algunos tipos de alimentos para animales, por ejemplo, heno de alfalfa (45%), harina de poroto de soya (12%), harina de girasol (19%), etc. (VAN-SOEST *et al.*, 1991), lo cual sugiere que la fracción desgrasada de la semilla de arándano proveniente de la obtención de aceite, podría utilizarse eventualmente como suplemento de fibra para nutrición animal.

Por otro lado, el elevado porcentaje de fibra cruda determinado, constituyó una prueba de que el contenido de fibra dietética sería mucho mayor, tal como quedó demostrado según los resultados presentados en el CUADRO 17 para composición de fibra dietética total, soluble e insoluble en semilla de arándano.

CUADRO 17. Composición de fibra dietética total, soluble e insoluble en semilla de arándano.

Tipo de fibra	% (b.s.)
Fibra dietética total	83,50 ± 0,2
Fibra dietética soluble	77,66 ± 0,9
Fibra dietética insoluble	5,8 ± 0,7

En la literatura no se encontraron datos de contenido de fibra dietética en semilla de arándano u otro *berry*, sin embargo, cabe destacar que el contenido de fibra dietética total en esta semilla (83,5% b.s.) es mucho mayor que en el frejol (6% b.s.), avena (7% b.s), harina integral (10% b.s) y salvado de trigo (45% b.s.), sólo por mencionar algunos ejemplos (BADUI, 1999). El mayor porcentaje de la fibra dietética total lo constituye la fibra dietética soluble, con un 77,66% (b.s.), la cual es la que cumple la función más importante dentro del tracto gastrointestinal (BADUI, 1999; CHILDS y ABAJIAN, 1976; WOLEVER, 1990; OPS e ILSI, 1991; REDONDO, 2000). Esto sugiere que la semilla de arándano o su fracción desgrasada tiene excelentes posibilidades de ser utilizada como suplemento de fibra dietética en nutrición humana y también animal.

En suma, la excelente composición en ácidos grasos y las características físicas y químicas del aceite proveniente de semilla de arándano, así como su composición en fibra dietética de la fracción desgrasada de la semilla, sugieren que su uso potencial en alimentación humana y animal, en farmacéutica y cosmética tendría muy buenas posibilidades.

El aceite podría ser utilizado como fuente dietaria de ácidos grasos esenciales n-6 y n-3, contribuyendo a la prevención de enfermedades degenerativas del sistema nervioso, inmunitario y circulatorio. Desde el punto de vista organoléptico, este producto presenta un color muy atractivo a la vista y conserva un agradable aroma típico a arándano. Además, en lo que respecta a su aplicación en cosmética, el aceite de semilla de

arándano como tal presenta una excelente absorción en la piel y deja una suave humectación y agradable aroma frutal, lo cual fue una apreciación empírica adicional al analizarlo como producto final.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, la producción de aceite de semilla de arándano y la obtención de fibra dietética de la fracción desgrasada de la semilla como un subproducto de la industria de jugos concentrados de *berries* parece ser promisoria, ya que la obtención de estos subproductos permitiría dar un valor agregado a un producto de desecho como es la torta de prensado, aumentando la rentabilidad de la industria y al mismo tiempo, promoviendo la reducción de desechos y recursos invertidos en su disposición.

Desde el punto de vista del proceso de elaboración, el método empleado en este estudio para la obtención de aceite crudo y refinado de semilla de arándano como producto final, fue más bien artesanal y de una escala muy pequeña de producción a nivel de laboratorio. Debido a ello, los rendimientos con respecto al tiempo empleado partiendo de la torta de prensa, deberían ser mejorados si se pretende producir a escala industrial.

Las mayores dificultades a este respecto se presentaron particularmente en la separación de la semilla a partir de la torta de prensa y su posterior limpieza, esto debido al pequeño tamaño de la semilla (1,2 x 0,5 mm de diámetro) muy similar incluso en peso al orujo fraccionado que también forma parte de esta torta. La limpieza manual en tamices con la ayuda de utensilios muy básicos constituyó el mayor problema en términos de dedicación de tiempo empleados.

En vista de lo antes señalado, se sugiere la necesidad de estudios futuros con respecto a técnicas y equipos que permitan un método de separación y limpieza de semillas más efectivo, así como también el empleo de otros métodos de extracción que permitan un mayor rendimiento en aceite.

Cabe señalar que la tendencia en consumo de aceite hoy en día está en dirección a los aceites obtenidos por prensado en frío, debido a la búsqueda

cada vez mayor de productos naturales seguros e ino cuos (PARKER *et al.*, 2003). El tamaño de la semilla de arándano y su contenido en materia grasa hizo muy difícil el que en este estudio se produjera aceite virgen. Sin embargo, se considera importante el que también este punto sea tema de estudio en próximas investigaciones debido a que la obtención de aceite por prensado en frío de semilla de arándano sería lo ideal en vista de las excelentes características que presenta y el que se evitaría el riesgo de que el producto contenga residuos de solventes.

Además, sería conveniente la determinación de otras características composicionales así como físicas y químicas del aceite de semilla de arándano, como por ejemplo, su contenido de tocoferoles por ser antioxidantes naturales de gran importancia en la producción industrial de aceites, su estabilidad oxidativa para establecer su vida útil, determinar absorbancia y transmitancia para establecer su capacidad de protección contra radiaciones UV A, B y C, por sólo citar algunas ideas.

5. CONCLUSIONES

- Los valores resultantes de los análisis realizados en la presente investigación permitieron demostrar que es posible obtener aceite y fibra dietética de buena calidad nutricional a partir de semillas de arándano, susceptibles de ser destinados a alimentación humana y animal o también uso cosmetológico y farmacéutico.
- Los perfiles de ácidos grasos obtenidos para el aceite crudo y refinado de semilla de arándano, revelaron que en ambos casos presentan un elevado porcentaje de ácidos grasos esenciales y un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados, lo cual hace que su composición sea más atractiva desde el punto de vista nutricional que algunos de los aceites más utilizados.
- Tanto el aceite crudo como el refinado de semilla de arándano presentaron una relación n-6/n-3 muy cercana a 1, inferior a lo que presentan otros aceites de semilla de *berries* y que el aceite de oliva y soya, por ejemplo. Esta relación es un factor muy importante en la dieta para reducir riesgos de cáncer y enfermedades cardíacas.
- El ANDEVA realizado para cada parámetro físico y químico determinado en ambos tipos de aceite de semilla de arándano, reveló que todos ellos presentaron diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.
- El índice de peróxidos del aceite refinado de semilla de arándano está dentro del rango establecido por el reglamento vigente para aceites refinados en su período de vida útil.
- El contenido de fibra dietética total de la semilla de arándano fue mucho mayor que el que presentan otras fuentes conocidas, como harina integral y salvado de trigo, por ejemplo, siendo su mayor constituyente la fracción soluble, la cual es la que cumple la función más importante para la salud.

6. RESUMEN

En la elaboración de jugo concentrado de arándano se genera como residuo una torta de prensado conformada por los orujos de la fruta y sus semillas. Se han buscado formas prácticas de darle valor agregado a esta torta de prensa y una de ellas es obtener aceite y fibra dietética a partir de la semilla.

En el presente estudio se determinó el perfil de ácidos grasos y los valores de los parámetros físicos y químicos como acidez libre (A.L), índice de peróxidos (I.P.), índice de yodo (I.Y.), índice de saponificación (I.S.), índice de refracción (I.R.), peso específico (P.E.) y color, para caracterizar el aceite crudo y refinado, obtenido a partir de semillas de arándano. También se caracterizó la fibra dietética total (FDT) presente en la fracción desgrasada de estas semillas, en términos de su composición en fibra dietética soluble (FDS) e insoluble (FDI).

Tanto el aceite crudo como el refinado presentaron un elevado contenido de ácido α -linolénico (C18:3 n-3), de 28,11% y 28,36%, respectivamente; así como también de ácido linoleico (C18:2 n-6), con 41,34% y 39,55%, respectivamente. Ambos aceites presentaron una relación n-6/n-3 muy cercana a 1, con un valor de 1,47 para aceite crudo y 1,39 para aceite refinado, lo cual es excelente desde el punto de vista de nutrición humana y animal.

Todos los parámetros físicos y químicos presentaron diferencias significativas entre los dos tipos de aceite al 95% de confianza. Para aceite crudo y refinado, respectivamente, la A.L. inicial fue de 1,58% y 1,64% expresado como ácido oleico; el I.P. fue de 4,30 meq de O_2 /kg y 3,37 meq de O_2 /kg; el I.Y. fue de 168,39 g I_2 /100g y 163,89 g I_2 /100g; el I.S. fue de 188,15 mg KOH/g y 185,19 mg KOH/g; el I.R. (20°C) fue de 1,4738 y 1,4775; el P.E. (20°C) fue de 0,922 y 0,920; y el color fue naranja y naranja amarillento.

El contenido de FDT en la fracción desgrasada de la semilla fue de 83,5% (b.s.) y su composición en FDS y FDI fue de 77,66% (b.s.) y 5,8% (b.s.), respectivamente.

SUMMARY

In the manufacture of blueberry juice a press cake residue is produced which contains fruit peels and seeds. Several ideas have been studied for the utilization of this residue, like the oil extraction from the seed and the obtaining of dietary fiber from oil-free seed material.

This study determined the fatty acid composition and physical and chemical parameters like free acidity, peroxide index, iodine index, saponification index, refraction index, specific gravity and color were determined; in order to characterise the crude and refined seed oil. Also, the total dietary fiber from defatted seeds was determined as soluble and insoluble dietary fiber.

The crude oil as well as the refined one showed a very high α -linolenic acid content with 28,11% and 28,36% respectively, and linolenic acid with 41,34% and 39,55% respectively. Both types of oil presented a n-6/n-3 relation very near to 1, with 1,47 for crude and 1,39 for refined oil, which is excellent from a nutritional point of view.

All physical and chemical parameters presented statistical significant differences at 95% confidence level for the two oil types. For crude oil and refined oil the free fatty acids were 1,58% and 1,64% respectively, expressed as oleic acid. The peroxide values were 4,30 meq O₂/kg and 3,37 meq O₂/kg respectively. The iodine values were 168,39 g I₂/100g and 163,89 g I₂/100g each. The saponification numbers were 188,15 mg KOH/g and 185,19 mg KOH/g each. The refraction indexes (20°C) were 1,4738 and 1,4775 each. The specific gravities (20°C) were 0,922 and 0,920 each. The color was orange and green orange, respectively.

The total dietary fiber in defatted seed fraction was 83,5% and its composition on the soluble and insoluble fractions was 77,6% and 5,8%, respectively.

7. BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, C. 1999. Nutricines: food components in health and nutrition. Nottingham University. Nottingham, 128 p.

AMOS, A., BILLINGTON, A.; BURRELL, J.; DICKINSON, D.; EVANS, G.; GANE, R.; GERRARD, F.; GOODING, E.; INGRAMS, C.; PAINE, F.; SCHWITZER, M.; SLADE, F.; WILLIAMS, C.; CROSBY-WALSH, T. 1968. Manual de industrias de los alimentos. En: Grasas comestibles y alimentos grasos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp 731-800.

ARANCIBIA, J.; BASTIAS, A.; MARTÍNEZ, E. 2000. Relación bosque plantas medicinales. Rosa mosqueta. (Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/~plantamed/rosamosqueta.htm> Leído el: 04 de Noviembre de 2003).

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.) 1995. Official methods of analysis. 16th edition. The Association: Washington, D.C.

BADUI, S. 1999. Química de los alimentos. Ed. Alhambra Mexicana. México D. F. 648 p.

BERNAL, I. 1993. Análisis de alimentos. Editora Guadalupe Ltda. Colombia. 48 p.

- BRAVERMAN, J.B.S. 1980. Introducción a la bioquímica de los alimentos. En: Oxidación de lípidos. Ed. "El manual moderno" Mexico D.F. pp 248-266.
- BUZETA, A. 1997. Chile: Berries para el 2000. Fundación Chile. Santiago. Chile. 135 p.
- CANTELOPS, D.; REID, A.; EITENMILLER, R.; LONG, A. 1999. Determination of lipids in infant formula powder by direct extraction methylation of lipids and fatty acid methyl esters (FAMES) analysis by gas chromatography. Journal of AOAC International 82: 1128-1139.
- CHILDS, E.; ABAJIAN, A. 1976. Physico-chemical characterization of peanut hull as a potential fiber additive. J. of Food Science 41:1235-1236.
- CHILE, FUNDACIÓN CHILE, ÁREA AGROINDUSTRIAL. 2001. Diagnóstico nacional del sector berries y taller de planificación estratégica del sector. Solicitado por ProChile y ODEPA. (Disponible en: <http://serinfo.indap.cl/Doc/INFORME%20FINAL%20BERRIES%20PROC HILE1.doc> Leído el: 17 de Noviembre de 2004).
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN. 1956. Aceites vegetales comestibles. NCh108.Of1956.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN. 1956. Cuerpos grasos - Método para determinar el índice de refracción. NCh94.Of1956.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN. 1981. Cuerpos grasos de origen animal y vegetal - Método para determinar la acidez libre, índice de acidez y acidez mineral. NCh95.Of1981.

- CHILE, MINISTERIO DE SALUD. 2003. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Diario oficial de la República de Chile. Diciembre 2003. 184 p.
- CHILE, MINISTERIO DE SALUD. 1998. Manual. Métodos de análisis físico-químicos de alimentos, aguas y suelos. Instituto de Salud Pública de Chile, Subdepartamento Laboratorios del Ambiente. Edición Instituto de Salud Pública de Chile. 187 p.
- COLOM, R. 1955. Aceites y grasas. Su extracción industrial por disolventes. Ed. Tip Cat. Casals. Barcelona, España. 411 p.
- DREHER, M.; PADMANABAM, G. 1983. Sunflower hull flour as a potential dietary fiber supplement. *J. of Food Science* 48:1463-1465.
- EL-ADAWY, T.; TAHA, K. 2001. Characteristics and composition of different seed oils and flours. *Food Chemistry* 74:47-54.
- FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, FAO/OMS. 1997. Las grasas y aceite en la nutrición humana. Informe de una consulta de expertos (19-26 de Octubre de 1993). FAO, Roma, Italia. 168p.
- FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, FAO/OMS. 1999. Los carbohidratos en la nutrición humana. Estudio FAO alimentación y nutrición 66. FAO, Roma, Italia. 152 p.
- FEMENIA, A.; LEFEBVRE, A.; THEBAUDIN, J.; ROBERTSON, J.; BOURGEOIS, C. 1997. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *J. of Food Science* 62:635-639.

- FENNEMA, 2000. Química de los alimentos. . Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.1258 p.
- FERNÁNDEZ, M. 1999. Procesos de extracción con fluidos supercríticos. (Disponible en: www.uca.es/dept/ing_quimica/invest/fsc/fsc4.htm Leído el: 04 de Noviembre de 2003).
- GUARDA, M. 2000. Determinación de ácidos grasos trans en alimentos grasos de consumo habitual en Chile mediante espectroscopía infrarroja y cromatografía gas-líquido. Tesis Lic. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 76 p.
- HANSEN, H. 1994. New biological and clinical roles for the n-6 and n-3 fatty acids. Nutrition Reviews 52:162-165.
- HART, L; FISCHER,H. 1984. Análisis moderno de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 619 p.
- LEE, J.; DURST, RW.; WROLSTAD, RE. 2002. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: comparison of two pretreatments. J. Food Science 67:1660-1667.
- LEE, J.; WROLSTAD, R. 2004. Extraction of anthocyanins and polyphenolics from blueberry-processing waste. J. of Food Science 69:564-573.
- LEE, S.; PROSKY, L.; VRIES, J. 1992. Determination total, soluble and insoluble dietary fiber in food-enzimatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer: collaborative study. Journal of AOAC International 75 (3):395 - 416.

- MARLETT, J.; NAVIS, D. 1988. Comparison of gravimetric and chemical analyses of total dietary fiber in human foods. *J. Agric. Food Chem.* 36:311-315.
- MASSON, L.; MELLA, M. 1985. Materias grasas de consume habitual y potencial en Chile. Comparación en ácidos grasos. Facultad de Cs. Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 31 p.
- McCLEMENTS, D.; DECKER, E. 2000. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *J. Food Science* 65:1270-1281.
- MORAGA, V. 2004, Enero, 05. Auge de exportaciones: La "Berrimanía" llegó a Chile. *Revista del Campo. El Mercurio.* Santiago, Chile.
- NATURALOILS. 2003. Aceite natural de rosa mosqueta. (Disponible en: <http://www.naturaloils.cl/paginas1/armproceso.html> Leído el: 04 de Noviembre de 2003).
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS); INSTITUTO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA VIDA (ILSI). 1991. Conocimientos actuales sobre nutrición. Washington D. C., Publicación científica N° 532. Sexta edición. 614 p.
- OOMAH, B.; LADET, S.; GODFREY, D.; LIANG, J.; GIRARD, B. 2000. Characteristics of raspberry (*Rubus ideaus L.*) seed oil. *Food Chemistry* 69:187-193.

- PARKER, T.; ADAMS, D.; ZHOU, K.; HARRIS, M.; YU, L. 2003. Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils. *J. of Food Science* 68:1240-1243.
- PARRY, J.; YU, L. 2004. Fatty acid content and antioxidant properties of cold-pressed black raspberry seed oil and meal. *J. of Food Science* 69:189-193.
- PRIOR R.L.; CAO, G.; MARTIN, A.; SOFIC, E.; McEWAN, J.; O'BRIEN, C.; LISCHNER, N.; EHLENFELDT, M.; KATL, W.; KREWER, G.; MAINLAND, C. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric.Food Chem.* 46:2686-2693.
- REDONDO, M. 2000. La fibra terapéutica. Laboratorios Madaus, S.A. 132 págs.
- SENER, F; SCHERZ, H. 1999. El pequeño "Souci-Fachmann-Kraut". Tablas de composición de alimentos. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. 430 p.
- SKOOG, D.; LEARY, J. 1994. Análisis instrumental. McGaw-Hill. Madrid, España. 935 p.
- SKREDE, G.; WROLSTAD, R.; DURST, R. 2000. Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*). *J. of Food Science* 65:357-367.
- SCHMIDT-HEBBEL, H. 1966. Química y tecnología de los alimentos. Ed. Salesiana. Santiago, Chile. 313 p.
- SCHMIDT-HEBBEL, H; AVENDAÑO, S.; PENNACCHIOTTI, I.; MASSON,

L.; WITTIG DE PENNA, E.; AMADORI, E. 1981. Avances en ciencia y tecnología de los alimentos. Alfabet Impresores. Santiago, Chile. 265 p.

SMITH, J. 1991. Food additive user's handbook. Ed. Blackie. Glasgow, Escocia, Reino Unido. 286 p.

SMITH, M.; MARLEY, K.; SEIGLER, D.; SINGLETARY, K., MELINE, B. 2000. Bioactive properties of wild blueberry fruits. *J. of Food Science* 65:352-356.

VAN-SOEST, P.; ROBERTSON, J.; LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. of Dairy Science* 74: 3583-3597.

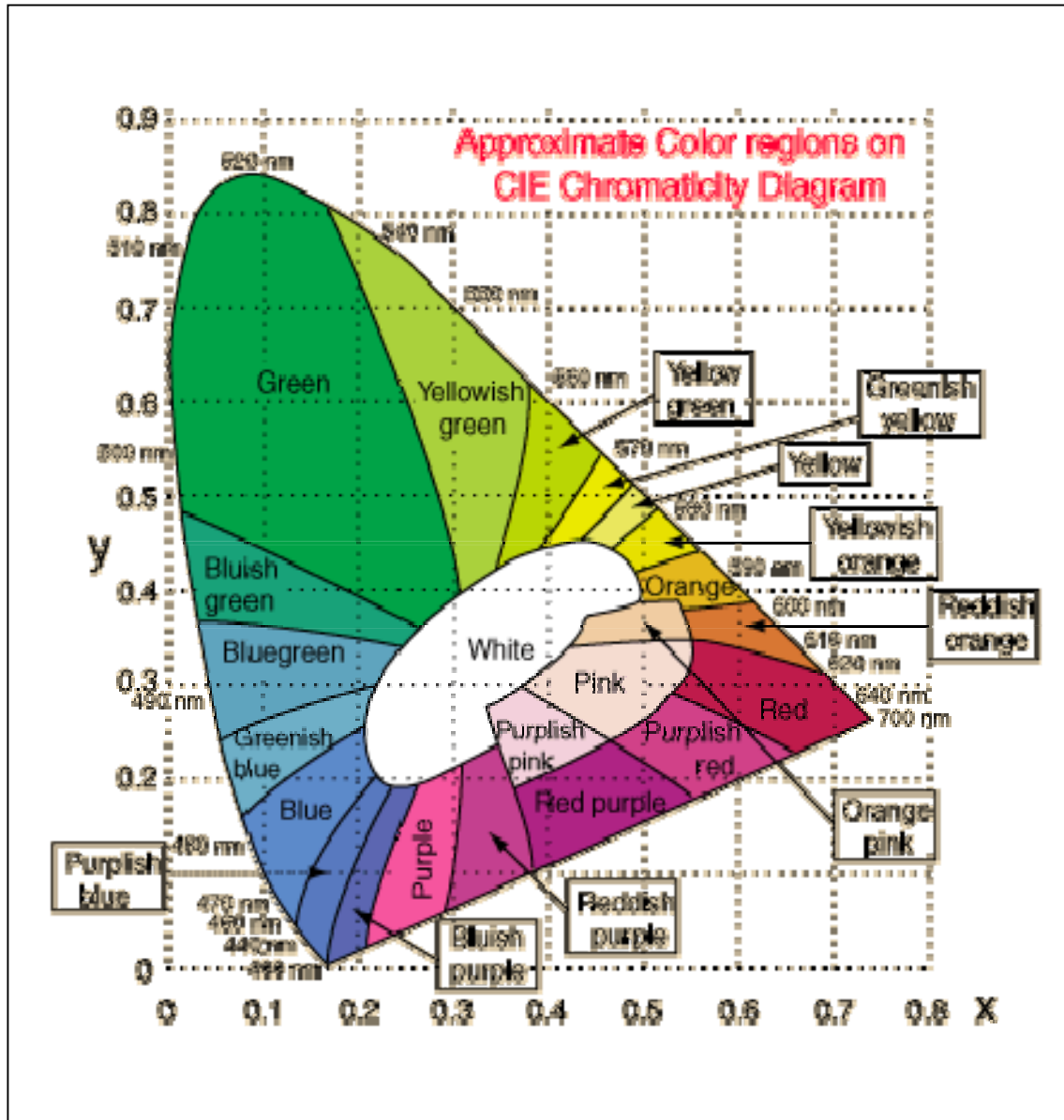
WOLEVER, T. 1990. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 51:72-75.

ZAMORANO, F. 2003. Factibilidad de obtención de subproductos con valor agregado a partir de residuos generados en la elaboración de jugo concentrado de frambuesa. Tema de Práctica Ing. Bioquímica, Valparaíso, Univ. Católica de Valparaíso, Chile. 40 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Diagrama de cromaticidad CIE



ANEXO 2

Resumen estadístico para composición de ácidos grasos

ANEXO 2.1 Aceite crudo de semilla de arándano.

ÁCIDOS GRASOS	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS					
	Prom.	Desv. Est.	mínimo	máximo	rango	Coef. Var.
C14:0	0,10	0,04	0,06	0,15	0,09	0,43%
C16:0	5,76	0,11	5,67	5,88	0,21	0,02%
C16:1	0,38	0,12	0,25	0,49	0,24	0,32%
C18:0	1,91	0,13	1,76	2,00	0,24	0,07%
C18:1	21,26	0,24	21,10	21,54	0,44	0,01%
C18:2	41,34	0,47	40,80	41,64	0,84	0,01%
C18:3	28,11	0,37	27,79	28,51	0,72	0,01%
Mono	21,64	0,34	21,40	22,02	0,63	0,02%
Poli	69,45	0,66	68,83	70,15	1,32	0,01%
Total Insat.	91,09	0,76	90,23	91,64	1,41	0,01%
Total Sat.	7,77	0,24	7,50	7,94	0,45	0,03%
n-6/n-3	1,47	0,02	1,46	1,50	0,04	0,02%

ANEXO 2.2 Aceite refinado de semilla de arándano.

ÁCIDOS GRASOS	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS					
	Prom.	Desv. Est.	mínimo	máximo	rango	Coef. Var.
C14:0	0,29	0,06	0,23	0,23	0,11	0,20
C16:0	5,86	0,26	5,68	6,15	0,47	0,04
C16:1	0,63	0,09	0,55	0,73	0,18	0,15
C18:0	2,06	0,17	1,89	2,23	0,34	0,08
C18:1	20,94	0,51	20,45	21,47	1,02	0,02
C18:2	39,55	0,61	39,06	40,24	1,17	0,02
C18:3	28,36	0,44	27,89	28,76	0,87	0,02
Mono	21,56	0,58	21,05	22,20	1,15	0,03
Poli	67,91	0,95	67,25	69,00	1,76	0,01
Total Insat.	89,48	0,95	88,55	90,45	1,90	0,01
Total Sat.	7,92	0,15	7,75	8,04	0,29	0,02
n-6/n-3	1,39	0,02	1,37	1,41	0,04	0,01

ANEXO 3

Resumen estadístico de parámetros físicos y químicos

ANEXO 3.1 Aceite crudo de semilla de arándano.

PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS					
	Prom.	Desv. Est.	mínimo	máximo	rango	Coef. Var.
Ac. L. (% ác. oleico)	1,58	0,04	1,54	1,61	0,08	0,02
I. P. (meq O ₂ /Kg)	4,30	0,19	4,14	4,52	0,38	0,05
I. Y. (g I ₂ / 100 g)	163,89	163,83	163,93	163,93	0,11	0,00
I. S. (mg KOH/g)	188,15	0,08	188,09	188,24	0,16	0,00
I. R. (20°C)	1,47	0,00	1,47	1,47	0,00	0,00
P. E. (20°C)	0,92	0,00	0,92	0,92	0,00	0,00
X color	0,56	0,00	0,56	0,56	0,00	0,00
Y color	0,42	0,00	0,42	0,43	0,01	0,01

ANEXO 3.2 Aceite refinado de semilla de arándano.

PARÁMETROS FÍSICO Y QUÍMICOS	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS					
	Prom.	Desv. Est.	mínimo	máximo	rango	Coef. Var.
Ac. L. (% ác. oleico)	1,64	0,01	1,63	1,66	0,03	0,01
I. P. (meq O ₂ /Kg)	3,37	0,08	3,29	3,45	0,16	0,02
I. Y. (g I ₂ / 100 g)	168,39	168,11	168,80	168,80	0,70	0,00
I. S. (mg KOH/g)	185,19	0,17	185,06	185,39	0,33	0,00
I. R. (20°C)	1,48	0,00	1,48	1,48	0,00	0,00
P. E. (20°C)	0,92	0,00	0,92	0,92	0,00	0,00
X color	0,54	0,00	0,54	0,54	0,00	0,00
Y color	0,45	0,00	0,45	0,45	0,00	0,00