

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE ACEITE DE DOS  
OLEAGINOSAS: SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis L.*) Y CANOLA  
(*Brassica napus* y *Brassica rapa*)**

**LISSET PANTOJA ARÉVALO  
SANTIAGO MALDONADO MUÑOZ**

TESIS DE GRADO PRESENTADA AL DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE  
ALIMENTOS.

QUITO

NOVIEMBRE DE 2012

Universidad San Francisco de Quito

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Título de Tesis: Caracterización del contenido de aceite de dos oleaginosas: Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) y Canola (*Brassica napus* y *Brassica rapa*)

Santiago Maldonado y Lisset Pantoja

Eduardo Uzcategui Ph.D

**Director de tesis**

Coordinador de agroempresas



Javier Garrido MSc.

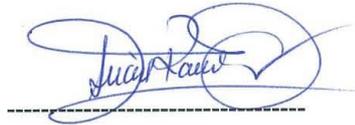
**Codirector de tesis**

Coordinador de ingeniería de alimentos



Lucía Ramírez Ph.D

**Miembro del comité de tesis**



Stalin Santacruz Ph.D

**Miembro del comité de tesis**



Mario Caviedes Ph.D

**Miembro del comité de tesis**



Quito, 16 de noviembre del 2012

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Lisset Pantoja

C. I.: 0924991805

Fecha: Noviembre, 2012

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Santiago Maldonado

C. I.: 1720907607

Fecha: Noviembre, 2012

## **DEDICATORIA**

A los profesionales de la industria de alimentos como material de aporte al conocimiento, como motivación a estudiar detalladamente nuevas opciones para el mercado y como sustento teórico para futuras investigaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la USFQ por ser una institución ejemplo de motivación y apoyo incondicional a sus estudiantes. A la empresa DANEC por su generoso auspicio. A la familia Borja Moreano por su considerada provisión de maquinaria pesada y área de trabajo. Finalmente, a los profesores revisores miembros del comité de tesis.

## RESUMEN

El aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*), semilla originaria de Perú actualmente cosechada en tierras ecuatorianas, posee omega-3, omega-6 y omega-9 en niveles de 51,94%, 34,37% y 7,97% respectivamente. Se caracterizó y comparó al aceite de sacha inchi con el aceite de canola (*Brassica napus* y *B. rapa*), oleaginosa que también se está sembrando actualmente en el Ecuador, y que tiene omega-3, omega-6 y omega-9 en niveles de 12,76%, 17,26% y 63,42% respectivamente. Se determinó el mejor método para la extracción de aceite en ambas semillas, se realizaron los análisis fisicoquímicos del aceite extraído y se estableció su composición nutricional a través de un perfil de ácidos grasos. Se evaluaron tres métodos de extracción: digestión mecánica, extracción por solventes orgánicos y prensado en frío. El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas con seis tratamientos y cinco variables: porcentaje de acidez, índice de peróxido, rendimiento y contenido de omega-3 y omega-9. Los datos obtenidos de las variables de respuesta se analizaron mediante ANOVA, la prueba de significación de Tukey y la prueba t de student. De los tres métodos de extracción, los que presentaron diferencia estadística favorable a la especificación y referencia fueron digestión mecánica y prensado en frío. Sin embargo, se concluyó que desde el punto de vista de calidad, el mejor método para la extracción de aceite de ambas semillas fue el método de prensado en frío cumpliendo con las normas nacionales e internacionales establecidas.

## ABSTRACT

The sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis L.*), seed originally from Peru, recently grown in equatorial lands, possesses omega-3, omega-6, omega-9 at levels 51,94%, 34,37% and 7,97%. Sacha inchi oil was characterized and compared to canola oil (*Brassica napus and B. rapa*), an oily seed also planted recently in Ecuador containing omega-3, omega-6, and omega-9 at levels of 12,76%, 17,26% y 63,42%. It was determined which is the best method of oil extraction in these seeds, physicochemical analysis was carried out for the extracted oil and its nutritional composition was established through a fatty acids profile. Three methods of oil extraction were evaluated: mechanical digestion, organic solvent extraction and cold pressing. The utilized experimental design was split plots with six treatments and five variables: acidity percentage, peroxide index, output percentage, omega-3 and omega-9 content. The obtained data from the solution variables were analyzed through ANOVA, tukey test and a student t test. Of all the extraction methods, mechanical digestion and cold pressing provided favorable statistic difference in front of the specification and references. However, from the quality point of view, the best method of oil extraction in both seeds is cold pressing accomplishing the national and international established standards.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>viii</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Sacha inchi</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Canola</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Pre-tratamiento de las semillas</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Métodos de extracción</b>	<b>13</b>
2.4.1 Digestión mecánica	13
2.4.2 Prensado en frío	14
2.4.3 Extracción por solventes	15
<b>2.5 Variables</b>	<b>18</b>
2.5.1 Porcentaje de acidez	18
2.5.2 Índice de peróxido	19
2.5.3 Porcentaje de rendimiento	19
2.5.4 Perfil de ácidos grasos	20
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Objetivo general</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Objetivos específicos</b>	<b>21</b>
<b>4 HIPÓTESIS</b>	<b>21</b>
<b>5 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Métodos de extracción</b>	<b>22</b>
5.1.1 Digestión mecánica	22
5.1.2 Prensado en frío	22
5.1.3 Extracción por solventes	23
<b>5.2 Procedimientos fisicoquímicos</b>	<b>23</b>
5.2.1 Porcentaje de acidez	23
5.2.2 Índice de peróxido	24
5.2.3 Rendimiento	24
5.2.4 Perfil de ácidos grasos	24

<b>6</b>	<b><i>Diseño experimental</i></b>	<b>26</b>
6.1	<b>Factores</b>	<b>26</b>
6.2	<b>Descripción del diseño</b>	<b>26</b>
6.3	<b>Variables de respuesta</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b><i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i></b>	<b>29</b>
7.1	<b>Análisis de la varianza y prueba de Tukey</b>	<b>29</b>
7.1.1	<b>Porcentaje de acidez</b>	<b>29</b>
7.1.2	<b>Índice de peróxido</b>	<b>33</b>
7.1.3	<b>Porcentaje de rendimiento</b>	<b>37</b>
7.1.4	<b>Omega-3</b>	<b>41</b>
7.1.5	<b>Omega-9</b>	<b>44</b>
7.2	<b>Prueba t de student</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b><i>Tablas de ponderación</i></b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b><i>CONCLUSIONES</i></b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b><i>RECOMENDACIONES</i></b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b>	<b>51</b>
<b>12</b>	<b><i>ANEXOS</i></b>	<b>57</b>
12.1	<b>Equipos de extracción por solventes orgánicos</b>	<b>57</b>
12.1.1	<b>Extractor Bollman</b>	<b>57</b>
12.1.2	<b>Extractor de Smet</b>	<b>58</b>
12.1.3	<b>Extractor Soxhlet</b>	<b>58</b>
12.2	<b>Diseño Experimental</b>	<b>59</b>
12.2.1	<b>Porcentaje de acidez</b>	<b>59</b>
12.2.2	<b>Índice de peróxido</b>	<b>62</b>
12.2.3	<b>Porcentaje de rendimiento</b>	<b>64</b>
12.2.4	<b>Porcentaje de omega-3</b>	<b>66</b>
12.2.5	<b>Contenido de omega-9</b>	<b>68</b>
12.3	<b>Prueba t de student</b>	<b>70</b>
	<b>Sacha inchi</b>	<b>70</b>
	<b>Canola</b>	<b>72</b>
12.4	<b>Reactivos utilizados para el análisis de las variables</b>	<b>74</b>

<b>12.4.1</b>	<b>Porcentaje de acidez</b>	<b>74</b>
<b>12.4.2</b>	<b>Índice de peróxido</b>	<b>75</b>
<b>12.4.3</b>	<b>Perfil de ácidos grasos</b>	<b>79</b>
<b>12.5</b>	<b>Diagramas de flujo</b>	<b>80</b>
<b>12.5.1</b>	<b>Pre-tratamientos</b>	<b>80</b>
<b>12.5.2</b>	<b>Método de digestión mecánica</b>	<b>81</b>
<b>12.5.3</b>	<b>Método de prensado en frío</b>	<b>83</b>
<b>12.5.4</b>	<b>Método de solventes orgánicos</b>	<b>84</b>
<b>12.6</b>	<b>Balance de materiales</b>	<b>86</b>
<b>12.6.1</b>	<b>Pre-tratamiento</b>	<b>86</b>
	Sacha inchi	86
	Canola	87
<b>12.6.2</b>	<b>Digestión mecánica</b>	<b>88</b>
	Sacha inchi	88
	Canola	90
<b>12.6.3</b>	<b>Prensado en frío</b>	<b>92</b>
	Sacha inchi	92
	Canola	93
<b>12.6.4</b>	<b>Solventes orgánicos</b>	<b>94</b>
	Sacha inchi	94
	Canola	96
<b>12.7</b>	<b>Perfil de ácidos grasos</b>	<b>98</b>
<b>12.7.1</b>	<b>Cromatografía de gases del aceite de sachá inchi y de canola extraído por prensado en frío</b>	<b>98</b>
<b>12.7.2</b>	<b>Resultados de cromatografía de gases</b>	<b>99</b>
<b>12.8</b>	<b>Fotos</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PRINCIPALES AGPI $\Omega$ -3 EN LOS ALIMENTOS -----	3
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SEMILLA DE SACHA INCHI-----	9
TABLA 3 COMPONENTES DE LA SEMILLA DE SACHA INCHI -----	9
TABLA 4 REQUISITOS DE CALIDAD DEL ACEITE DE SACHA INCHI -----	9
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SEMILLA DE CANOLA -----	11
TABLA 6 COMPONENTES DE LA SEMILLA DE CANOLA -----	11
TABLA 7 REQUISITOS DE CALIDAD DEL ACEITE DE CANOLA-----	11
TABLA 8 ESQUEMA ANOVA PARCELAS DIVIDIDAS-----	27
TABLA 9 NORMAS DE REFERENCIA PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN AMBAS SEMILLAS (SACHA INCHI Y CANOLA)-----	28
TABLA 10 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE ACIDEZ	29
TABLA 11 PORCENTAJE DE ACIDEZ EN LOS TRATAMIENTOS-----	30
TABLA 12 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO (MEQ O <sub>2</sub> /KG ACEITE) -----	33
TABLA 13 CONTENIDO DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO (MEQ O <sub>2</sub> /KG ACEITE) EN LOS TRATAMIENTOS -----	34
TABLA 14 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO -----	37
TABLA 15 PORCENTAJE DE RENDIMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS-----	38
TABLA 16 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL CONTENIDO DE OMEGA-3 -----	41
TABLA 17 CONTENIDO DE OMEGA-3 EN LOS TRATAMIENTOS -----	42
TABLA 18 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL CONTENIDO DE OMEGA-9 -----	44
TABLA 19 CONTENIDO DE OMEGA-9 EN LOS TRATAMIENTOS -----	45
TABLA 20 RESULTADOS DE LA PRUEBA T DE STUDENT PARA RENDIMIENTO -----	47
TABLA 21 PONDERACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MEJOR MÉTODO DE EXTRACCIÓN PARA EL ACEITE DE SACHA INCHI -----	48
TABLA 22 PONDERACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MEJOR MÉTODO DE EXTRACCIÓN PARA EL ACEITE DE CANOLA-----	48

TABLA 23 DESCRIPCIÓN DE CADA TRATAMIENTO UTILIZADO PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL	59
TABLA 24 DATOS FÍSICOQUÍMICOS PARA EL CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ACIDEZ DE LOS TRATAMIENTOS	59
TABLA 25 OBTENCIÓN DE MEDIAS DE LAS REPETICIONES DE PORCENTAJE DE ACIDEZ PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA	60
TABLA 26 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE ACIDEZ EN LOS TRATAMIENTOS	60
TABLA 27 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIAS PARA LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA	61
TABLA 28 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA (TUKEY) PARA EL PORCENTAJE DE ACIDEZ	61
TABLA 29 DATOS FÍSICOQUÍMICOS PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICE DE PERÓXIDO DE LOS TRATAMIENTOS	62
TABLA 30 OBTENCIÓN DE MEDIAS DE LAS REPETICIONES DE ÍNDICE DE PERÓXIDO PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA	62
TABLA 31 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIAS PARA LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA	62
TABLA 32 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO EN LOS TRATAMIENTOS	63
TABLA 33 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA (TUKEY) PARA EL ÍNDICE DE PERÓXIDO	63
TABLA 34 OBTENCIÓN DE MEDIAS DE LAS REPETICIONES DE PORCENTAJE DE RENDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA	64
TABLA 35 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS	64
TABLA 36 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIAS PARA LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA	65
TABLA 37 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA (TUKEY) PARA EL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO	65
TABLA 38 OBTENCIÓN DE MEDIAS DE LAS REPETICIONES DE PORCENTAJE DE OMEGA-3 PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA	66
TABLA 39 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE OMEGA-3 EN LOS TRATAMIENTOS	66
TABLA 40 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIAS PARA LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA	67

TABLA 41 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA (TUKEY) PARA EL PORCENTAJE DE OMEGA-3 -----	67
TABLA 42 OBTENCIÓN DE MEDIAS DE LAS REPETICIONES DE PORCENTAJE DE OMEGA-9 PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA -----	68
TABLA 43 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL PORCENTAJE DE OMEGA-9 EN LOS TRATAMIENTOS -----	68
TABLA 44 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MEDIAS PARA LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA -----	69
TABLA 45 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA (TUKEY) PARA EL PORCENTAJE DE OMEGA-9 -----	69
TABLA 46 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE SOLVENTES ORGÁNICOS CON EL DE DIGESTIÓN MECÁNICA -----	70
TABLA 47 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE SOLVENTES ORGÁNICOS CON EL DE PENSADO EN FRÍO-----	70
TABLA 48 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE PENSADO EN FRÍO CON EL DE DIGESTIÓN MECÁNICA -----	71
TABLA 49 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE SOLVENTES ORGÁNICOS CON EL DE DIGESTIÓN MECÁNICA -----	72
TABLA 50 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE SOLVENTES ORGÁNICOS CON EL DE PENSADO EN FRÍO-----	72
TABLA 51 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE PENSADO EN FRÍO CON EL DE DIGESTIÓN MECÁNICA -----	73
TABLA 52 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS TOTALES DEL SACHA INCHI (PENSADO EN FRÍO)	101
TABLA 53 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS TOTALES DE LA CANOLA (PENSADO EN FRÍO) ---	101

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Los aceites son sustancias líquidas a temperatura ambiente, de origen vegetal y que están constituidos por ácidos grasos. Los ácidos grasos son componentes orgánicos de los lípidos que proporcionan energía al cuerpo y permiten el desarrollo de los tejidos. Son sustancias químicamente reactivas, raramente libres, y casi siempre esterificando al glicerol, formando así los triglicéridos. Los triglicéridos, o tri-acil-glicéridos como también se los identifica, son moléculas formadas por la asociación del glicerol con tres ácidos grasos, los que pueden ser similares, o con más frecuencia, diferentes. El glicerol es un tri-alcohol de tres carbonos y los ácidos grasos se unen al carbono 1 (o sn-1 en la notación más específica), al carbono 2 (o sn-2) y al carbono 3 (o sn-3), mediante enlaces covalentes del tipo éster. (Sanhueza, 2009) Un enlace éster es aquel formado entre un radical ácido (-COOH) y otro alcohol (-OH). (Biología Perú, 2012)

Los ácidos grasos que componen los aceites son ácidos grasos saturados (AGS) e insaturados (AGI). Los insaturados pueden ser monoinsaturados (AGMI), como es el caso del omega-9 o poliinsaturados (AGPI). Desde el punto de vista nutricional, los AGPI se clasifican en familias o series de ácidos grasos. Las dos familias más importantes son omega-6 y omega-3. La denominación omega deriva de la última letra del alfabeto griego “ω” para manifestar que la enumeración de los ácidos grasos se realiza desde el carbono extremo terminal de la molécula. (Sanhueza, 2009). Los ácidos grasos omega-9 pueden ser sintetizados por el organismo humano, pero los ácidos grasos omega-6 y omega-3 no. Por esta razón a los ácidos grasos omega-9 se les considera como no esenciales, en cambio los ácidos grasos omega-6 y omega-3 son esenciales, lo cual significa que se los debe consumir en una determinada cantidad y proporción de la dieta diaria. (Sanhueza, 2009)

El ácido alfa linolénico (C 18:3, ω-3) es un ácido graso poliinsaturado esencial de 18 átomos de carbono con 3 insaturaciones o doble enlaces; su primer doble enlace empieza en el C<sub>3</sub>. (Guillén M. , 2003). Su ingesta regular ayuda a la eficiencia del funcionamiento del cerebro, como el mejoramiento de la neurotransmisión que contrarresta trastornos psiquiátricos como la depresión y la esquizofrenia. (Tapia, 2005).

El ácido linoléico (C 18:2, ω-6) es un ácido graso poliinsaturado esencial de 18 átomos de carbono con 2 insaturaciones o doble enlaces; su primer doble enlace empieza en el C<sub>6</sub>. (Guillén M. , 2003). Este ácido es útil para varias actividades esenciales como son: cumplir

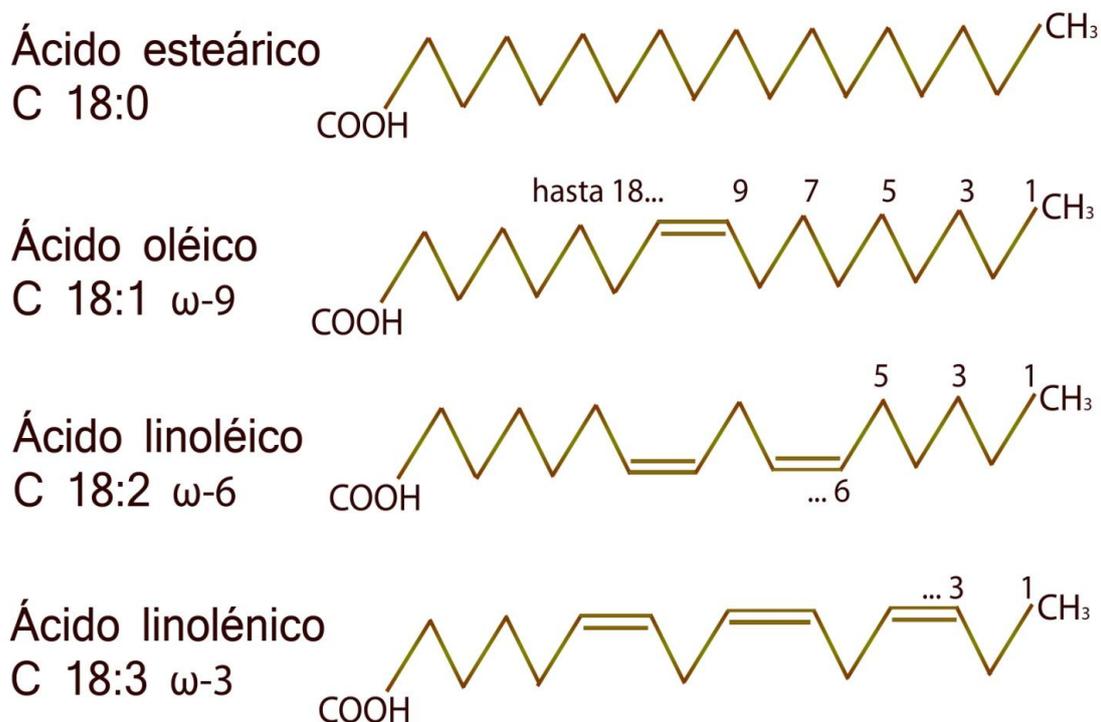
funciones energéticas y de reserva metabólica, y formar la estructura básica de algunas hormonas y de las sales biliares. (Valenzuela, 2003).

Este ácido compite con el  $\omega$ -3 por las mismas enzimas por lo que se deben consumir en diferentes proporciones que equilibren esta acción. (Silveira, 2003). Según el profesor Sanders, del King's College, en Londres, la proporción omega-3/omega-6 idónea debe estar alrededor de 3:1. (Guillén J. , 2009)

El ácido oléico (C 18:1,  $\omega$ -9) es un ácido graso monoinsaturado. Esta denominación proviene del único enlace doble en el C<sub>9</sub>. No es un ácido graso esencial ya que nuestro organismo puede sintetizarlo. Su consumo baja los niveles de colesterol total, de colesterol LDL (colesterol malo) y de triglicéridos, mejoran el perfil de ácidos grasos y disminuyen el riesgo de enfermedad cardiovascular. (Natudelia, 2010).

A continuación se muestra un diagrama con la estructura y clasificación de los ácidos grasos:

### Ilustración 1 Clasificación y estructura de ácidos grasos



Es necesario diferenciar entre los ácidos grasos omega-3 de origen vegetal terrestre y los de origen marino, ya que los primeros sólo tienen como principal componente al omega-3 de cadena corta. Mientras que, los de origen marino se caracterizan por su alto contenido de los llamados omega-3 de cadena larga (AGPICL  $\omega$ -3), siendo los más importantes el

ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). (Mataix, 2004).

El aceite con AGPI  $\omega$ -3 de origen terrestre es obtenido a partir de semillas y/o frutos de origen terrestre como el sacha inchi, la canola, el aguacate, etc. En contraste, el aceite con AGPICL  $\omega$ -3 (EPA y DHA) de origen marino se encuentra tanto en las algas marinas como en los animales marinos (peces, crustáceos, moluscos y mamíferos), entre los que se destaca: el atún, el jurel y el salmón. A continuación se muestra los tres AGPI  $\omega$ -3 de mayor relevancia nutricional.

**Tabla 1 Principales AGPI  $\omega$ -3 en los alimentos**

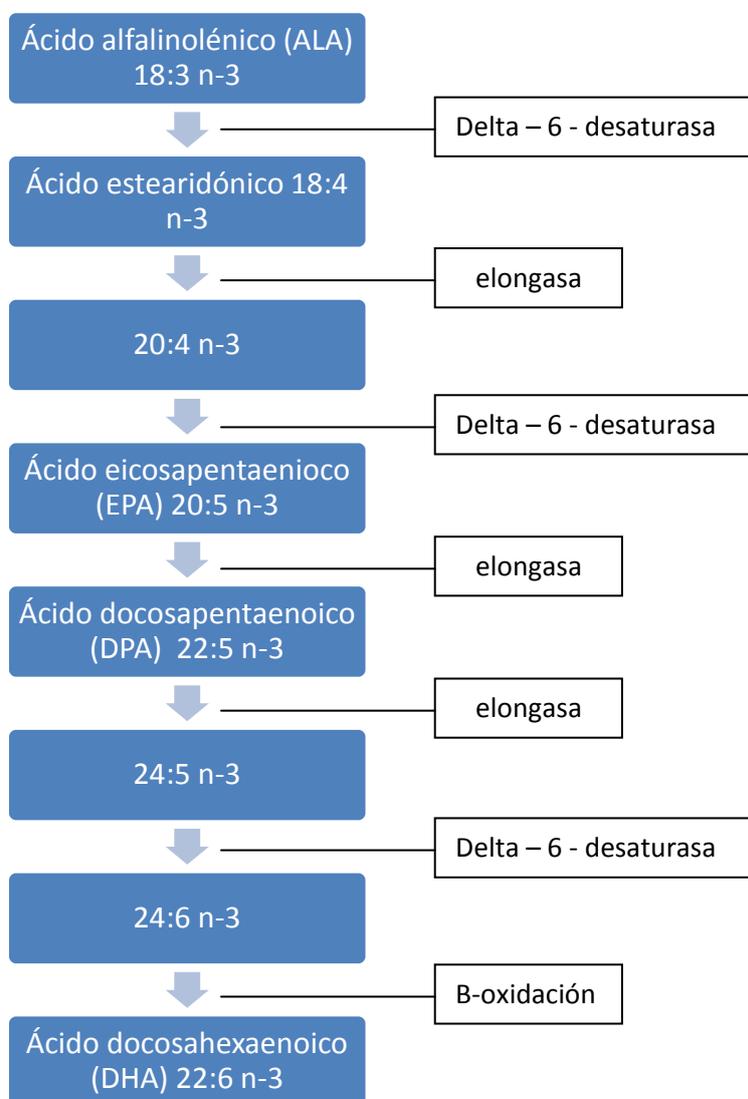
Ácido graso	Nomenclatura química	Cadena	Origen
<b>Acido alfa linolénico</b>	(18:3), ALN	corta	terrestre (semillas y frutos)
<b>Acido eicosapentaenoico</b>	(20:5), EPA	larga	marino ( algas y animales marinos )
<b>Acido docosahexaenoico</b>	(22:6) DHA	larga	marino (algas y animales marinos)

Los ácidos grasos omega-3 de cadena larga EPA y DHA son altamente valorados por los demostrados efectos benéficos en la salud y en la nutrición. Tanto el EPA como el DHA, luego de ser ingeridos, se incorporan rápidamente a los fosfolípidos de las membranas celulares donde pueden ser liberados por enzimas lipooxigenasas y ciclooxigenasas, originando productos con potentes propiedades citoprotectoras y especialmente antiinflamatorias. El consumo de EPA y DHA puede contribuir a la prevención y/o tratamiento de una serie de patologías, especialmente aquellas donde la inflamación juega un papel preponderante: enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, artritis reumatoidea e injuria por isquemia -reperusión. (Valenzuela, Tapia, & González, 2011)

De esta forma, no es lo mismo consumir ácidos grasos omega-3 de origen terrestre que consumir ácidos grasos omega-3 de origen marino. Sin embargo, se pone de manifiesto que el omega-3 de origen vegetal terrestre, también es conveniente para el organismo, ya que una parte de éstos, se transforman en omega-3 de cadena larga, esto por la acción de

las enzimas denominadas desaturasas y elongasas. Se transforma en ácidos grasos de cadena larga a través de una serie de desaturaciones y elongaciones alternadas. Las desaturaciones agregan un doble enlace a través de la eliminación de hidrógeno, mientras que las elongaciones agregan dos átomos de carbono. (Morris) Como sólo se transforma un porcentaje, es necesario consumir también omega-3 de cadena larga directamente para poder completar las cantidades recomendadas para una buena salud. (Mataix, 2004). A continuación, se presentan ilustraciones de las transformaciones de omega-3 y omega-6 de cadena corta a cadena larga.

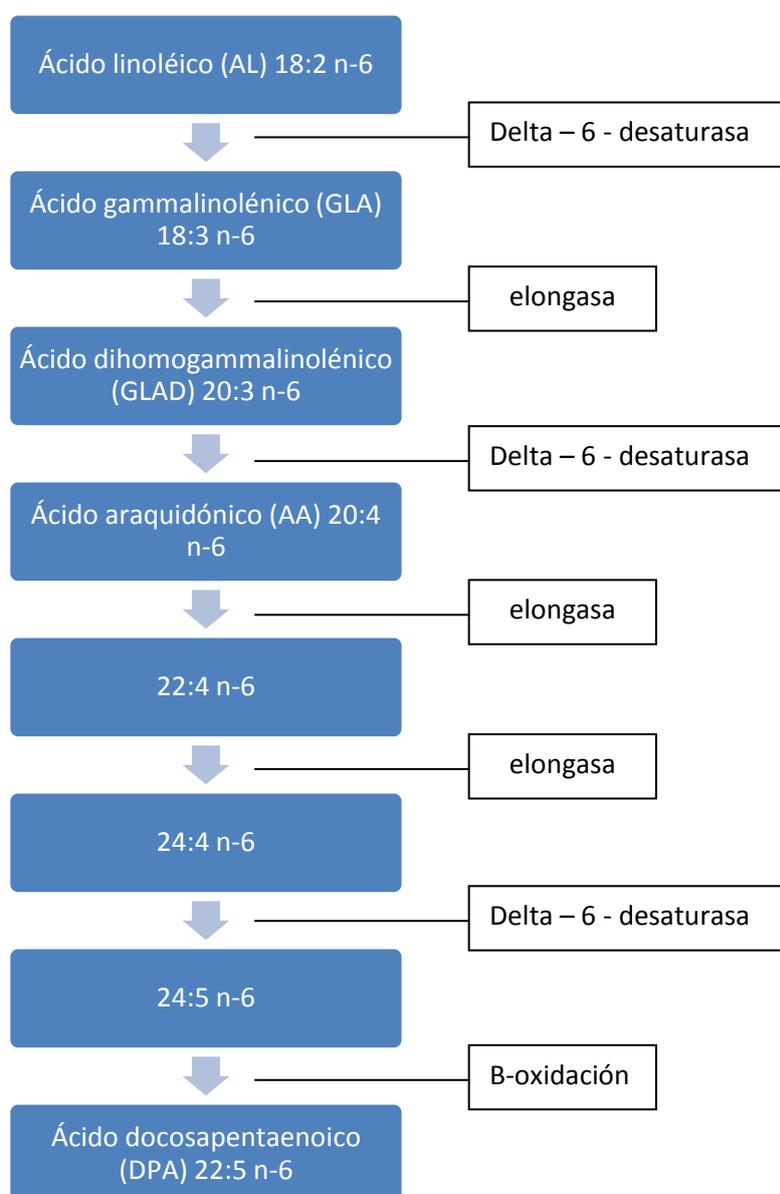
### Ilustración 2. Proceso metabólico de los ácidos grasos omega-3



El primer paso en el metabolismo del ALA es la desaturación, catalizado por la delta-6-desaturasa. Este paso se considera como limitante de tasa, ya que está afectado

principalmente por factores nutricionales, hormonales y metabólicos. Los pasos de desaturación y elongación ocurren en el retículo endoplásmico de la célula. Los pasos de desaturación tienden a ser lentos, mientras que los pasos de elongación son rápidos. Por esta razón, la concentración en tejido de ácido estearidónico tiende a ser más baja, debido a que esta se forma lentamente por desaturación y después se elonga rápidamente a otros metabolitos. (Morris)

**Ilustración 3. Proceso metabólico de los ácidos grasos omega-6**



Entre los AGPICL  $\omega$ -6 más importantes se encuentra el ácido araquidónico (AA) 20:4 n-6. Este ácido favorece la producción de metabolitos proinflamatorios, que afectan la respuesta

inmune deteriorándola. La adición de ácidos grasos omega-3 limita este efecto porque inhiben las desaturasas 6 y 5. La desaturasa 6 es la limitante de la conversión de ácido linoleico a ácido araquidónico. La función de estos ácidos grasos omega-3 es aportar un alto grado de fluidez a las membranas celulares, permitiendo el movimiento de proteínas en su superficie y dentro de la bicapa lipídica.

Los aceites provenientes de oleaginosas, están compuestos por una fracción saponificable constituida por glicerol y ácidos grasos, principalmente por ácidos grasos omega-3, omega-6 seguidos del omega-9. Por esta razón, su calidad depende de factores que midan la cantidad, el grado de rancidez y oxidación de estos ácidos grasos. La alteración de la calidad es consecuencia de la madurez de las semillas, del estado sanitario, del manejo que se les suministre, del proceso de extracción (diferentes métodos). Finalmente, de la conservación del mismo. (Porrás, 2000). De la misma manera, las características organolépticas como el color y el sabor del aceite son atribuibles a los componentes volátiles presentes en las semillas como los ácidos grasos libres, el oxígeno presente y polifenoles. (Porrás, 2000).

Un aceite es considerado extra virgen cuando se extrae aproximadamente el 30% de aceite y de 20% a 25% del mismo en la torta que queda como subproducto. Adicionalmente, no se aplica temperatura a su proceso por lo que se conservan sus propiedades nutricionales. Por otro lado, el aceite se considera virgen cuando se extrae aproximadamente 45% de aceite de la semilla y de 5% a 10% del mismo en su torta residual. A los aceites vírgenes se les aplica temperatura, ya sea en su proceso de extracción o en un pre-tratamiento. Finalmente, se encuentran los aceites refinados que son de los que se obtiene el mayor porcentaje de rendimiento de aproximadamente 49% a 55% quedando solamente un 1% de aceite en su torta residual. Esto se debe a que se aplican altas temperaturas de pre-tratamiento y de proceso de extracción. Por esta razón, tanto a los aceites vírgenes como a los refinados se les adiciona antioxidantes para alargar su tiempo de vida útil. (Méndez, 2010).

## 1.2. Justificación

Se caracterizó el aceite de sacha inchi y de canola porque ambas oleaginosas han iniciado recientemente su cultivo en el Ecuador. Se ha desarrollado el aceite de sacha inchi en el Perú. Sin embargo, no es común en el mercado ecuatoriano. Por esta razón, se investigó dicho aceite como nueva alternativa en el mercado del país y además, porque contamos con las herramientas necesarias. La semilla de canola y la de sacha inchi rinden tanto en aceite como en subproductos con alto contenido proteico. El mayor beneficio que aporta el aceite de sacha inchi es su alto contenido de omega-3 como ningún otro aceite virgen y el del aceite de canola, su alto contenido de omega-9 que iguala al alto contenido del mismo en el aceite de oliva.

El Ecuador tiene las herramientas necesarias para el desarrollo de nuevas tecnologías en la elaboración de nuevos productos industriales. Se comprobó que en la obtención del aceite de ambas oleaginosas se pueden conservar sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales de mejor manera mediante el diseño del más adecuado método de extracción y pre-tratamiento. Se extrajo el contenido de aceite por tres métodos: digestión mecánica, solventes orgánicos y prensado en frío. Posteriormente, se obtuvo el aceite virgen de cada semilla que luego se analizó fisicoquímica y nutricionalmente. Finalmente, se comprobó que el aceite se encontraba dentro de la especificación establecida por la norma nacional e internacional.

Se aprovechó toda la materia resultante del proceso de extracción. Por un lado, se obtuvo el aceite de la semilla y por otro, una pasta con alto contenido proteico, que fue utilizada para la elaboración de alimento balanceado. De esta manera, resulta rentable el aprovechamiento de toda la semilla en el caso de producir el aceite industrialmente.

En la semilla de sacha inchi se encuentra el omega-3 de cadena corta en mayor proporción, que aunque no brinda todos los beneficios propios del omega-3 de cadena larga, también trae beneficios para la salud ya que al consumirse en mayores cantidades, un porcentaje de éste se transforma en omega-3 de cadena larga. En cambio, en la semilla de canola se encuentra el omega-9 en mayor proporción, que también es de gran importancia nutricional porque igualó el porcentaje de omega-9 que tiene el aceite de oliva comercial. De esta manera, el aceite de canola se convierte en una mejor opción de compra frente al aceite de oliva importado.

Se caracterizó el aceite de ambas oleaginosas, para que sean una mejor alternativa en el mercado nacional. Así, crece la industria nacional dándole valor agregado a materia prima de primer grado como el sacha inchi y la canola.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Sacha inchi

(*Plukenetia volubilis L*), es el nuevo cultivo oleaginoso incorporado en la actividad agrícola del hombre moderno, debido a su rendimiento y composición nutricional. Se encuentra distribuida en la Amazonía peruana, especialmente los sectores de (San Martín, Ucayali, Madre de Dios y Loreto). La semilla de sachá inchi crece y tiene un buen comportamiento a diversas temperaturas, que oscilan entre (10 y 36°C). (Manco, 2006)

El sachá inchi proviene de una planta oleaginosa, trepadora, de altura indeterminada, con hojas de color verde oscuro. El fruto es una cápsula de 3,5 a 4,5 cm de diámetro dentro del cual se encuentran de 4 a 7 semillas, que es de donde se obtiene el aceite. (Manco, 2006). Es una planta de la familia Euphorbiaceae que crece principalmente en bosques peruanos; sin embargo, actualmente se fomenta su cultivo en el Ecuador. Tiene diferentes nombres comunes como “maní inca” “maní salvaje” y “maní de montaña”, ya que tradicionalmente ha sido consumida por los incas del Perú. (Follegatti, 2009).

La producción de sachá inchi, es continua e inicia aproximadamente entre los 6 y 8 meses después de la siembra. (Pascual, 2000). Esta leguminosa tiene semillas de forma lenticular con cáscara oscura y cuerpo color crema amarillento. Se compone de 35 – 45% de aceites y alrededor de 30% de proteínas. El aceite de sachá inchi contiene principalmente ácido linolénico (C18:3), ácido linoleico (C18:2) y ácido oleico (C18:1), a unos niveles de 51%, 35% y 9%, respectivamente. Así como también, contiene otros ácidos como el ácido palmítico y ácido esteárico.(Follegatti, 2009).

La empresa peruana Pro-Amazonía extrae el aceite de sachá inchi por prensado en frío. Este proceso lo realizan sin utilizar solventes químicos o altas temperaturas para conservar su valor nutricional. El aceite es sometido a un proceso de filtración para eliminar impurezas. Se obtiene un aceite extra virgen no refinado, de color claro y con agradable sabor, nutricionalmente rico (abundante en ácidos grasos). Los equipos que utilizan son: una zaranda seleccionadora, una peladora y la prensa o expeller, que se trata de un tornillo sin fin que aplasta las semillas y separa la torta del aceite. (Pro-amazonía, 2012).

A continuación, se presentan algunos cuadros con referencia bibliográfica, que serán de gran ayuda para comparar los resultados obtenidos.

**Tabla 2 Características físicas de la semilla de sacha inchi**

<b>Características</b>	<b>Pulpa</b>	<b>Pulpa + Cáscara</b>
Espesor (mm)	7,7-8,3	10
Diámetro (mm)	14,8-15,2	18
Peso (g)	0,771-0,774	1,2
Color	Crema	marrón

(Pascual, 2000).

**Tabla 3 Componentes de la semilla de sacha inchi**

<b>Componente</b>	<b>Base Húmeda %</b>
Humedad	6,67
Proteína total	28,21
Grasa	44,80
Fibra cruda	12,70
Cenizas	2,89
Carbohidratos	4,73
Total	100

(Pascual, 2000).

**Tabla 4 Requisitos de calidad del aceite de sacha inchi**

<b>Constantes</b>	<b>Aceite crudo</b>
Densidad a 20°C	Min 0,926 Max 0,931
Índice de yodo (g de I/100 g grasa)	Min 183 Max 199
Índice de saponificación (mg KOH/g grasa)	Min 192 Max 196
Índice de refracción a 20°C	Min 1,478 Max 1,481
Índice de acidez (mg KOH/g grasa)	1,0
Índice de peróxido (meq oxígeno activo/kg)	10,0
M. insaponificable (g insaponificables/100 g grasa)	0,242
Tocoferoles mg/kg (gama y delta tocoferol)	1900
Viscosidad a 37°C (centistokes)	44,7795

(Pascual, 2000).

## 2.2 Canola

(*Brassica napus* y *B. rapa*) es una planta oleaginosa muy difundida en el mundo de la cual se obtiene un aceite esencial comestible de excelente calidad. En la actualidad China, Canadá e India son algunos de los principales productores. La semilla de canola crece en climas que van desde templados a ligeramente fríos y húmedos (mínimas de 0 C° y máximas de 40 C°). (Rubio, 2007).

La canola se deriva de la hibridación natural de la col (*Brassica oleracea L.*) y el nabo silvestre (*Brassica campestris L.*), es una planta que tiene hojas ásperas, color verde azulado, sus flores son de color amarillo brillante. La parte más importante es su semilla, de donde se extrae el aceite. Cada vaina mide de 3 a 4 mm de ancho y 6 cm de largo y contiene de 15 a 40 semillas, cada una de las cuales mide de 1.5 a 2 mm de diámetro. (Financiera Rural, 2010). La canola (canadian oil low acid) es una planta que pertenece a la familia de las crucíferas, también conocida como colza, que se cultiva alrededor del mundo y recientemente también en el Ecuador.(Gunstone, 2004).

La canola es una planta anual, sus semillas son esféricas, una vez maduras tienen la cáscara de color café rojizo, mientras que el grano es amarillento. Sus semillas se componen aproximadamente de 55% de aceites y 20% de proteínas. (Agro-información, 2002). El aceite de canola contiene principalmente ácido linolenico (C18:3), ácido linoleico (C18:2) y ácido oleico (C18:1), a unos niveles de 8% 14% y 45%-65%, respectivamente. Así como también, contiene otros ácidos como el ácido palmítico, ácido esteárico y ácido erúrico, cada uno de los cuales se encuentra en diferentes proporciones dependiendo de algunos factores, como el método de extracción utilizado. Otro factor importante a mencionar, es el hecho, de que el aceite de canola contiene altos contenidos de tocoferoles. (Hernandez, 2009).

Como ejemplo se cita a la empresa Uruguay Pymes que extrae el aceite de canola por prensado en frío, así como también con el método de solventes orgánicos donde se obtiene un mayor rendimiento (aproximadamente 48%). Sin embargo, la ventaja del método de prensado en frío es que protege las cualidades nutricionales del aceite, obteniéndose un aceite extra virgen de muy buena calidad, al cual se lo filtra para remover impurezas y así poder ser consumido. El equipo de procesamiento consta de un expeller que trabaja a presiones altas y dos vías de salida: una por donde sale el aceite y otra por donde sale la torta o subproducto de la extracción. (Elgart, 2010).

A continuación, se presentan algunos cuadros con referencia bibliográfica, que serán de gran ayuda para comparar los resultados obtenidos.

**Tabla 5 Características físicas de la semilla de canola**

<b>Características</b>	<b>Semilla de canola</b>
Espesor (mm)	2-3
Diámetro (mm)	1,5-2,0
Peso (g)	0,5.1,0
Color	Negro-café

(Aguilar, 2009).

**Tabla 6 Componentes de la semilla de canola**

<b>Componente</b>	<b>% Base húmeda</b>
Humedad %	6,5
Proteína%	22,0
Grasa%	52,2
Fibra%	12,1
Ceniza%	3,0
Carbohidratos%	4,2
Total	100

(Ali, 2005).

**Tabla 7 Requisitos de calidad del aceite de canola**

<b>Constantes</b>	<b>Aceite crudo</b>
Densidad relativa 25/25	Min. 0,907 Máx. 0,913
Índice de yodo (cg/g)	Min. 95 Máx. 108
Acidez (Como ácido erúxico) (%)	0,25
Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg aceite)	Máx. 15
Perdida por calentamiento (%)	0,05
Índice de saponificación (mg/g)	Min. 168 Máx. 180
Material insaponificable (%)	1,5
Índice de refracción a 25°C	Min. 1,470 Máx. 1,474

(Ali, 2005).

### 2.3 Pre-tratamiento de las semillas

La extracción de aceites vegetales da la posibilidad de mejorar el rendimiento de los mismos, con un tratamiento previo a las semillas en cuestión, para luego ser sometidas a los diferentes métodos de extracción. (Meyer, 1996).

El paso más importante en el pre-tratamiento de las semillas oleaginosas es la cocción debido a que su objetivo primario se puede resumir en: a) coagulación de las proteínas de las semillas agrupando el aceite disperso y haciendo a los sólidos de las semillas permeables al flujo de aceite b) disminución de la afinidad del aceite para las superficies de los sólidos, para conseguir máximo rendimiento en su proceso de elaboración c) dar a la masa plasticidad apropiada d) insolubilización de fosfátidos, así como otras impurezas indeseables e) destrucción de mohos y bacterias) aumento de la fluidez del aceite, al incrementar la temperatura. (Bailey, 2004).

Las semillas acondicionan previamente de la siguiente forma:

- a) Limpieza: se eliminan cuerpos extraños y vestigios de tierra y hojas.
- b) Secado: para evitar degradación del color y el aumento de ácidos grasos libres.
- c) Descascarado: puede provocar modificaciones indeseables de color y sabor.
- d) Molturación: triturado o molido de las semillas.
- e) Cocción: tiene por objeto romper las paredes de las células para que el aceite pueda escurrir con facilidad durante la extracción. (Meyer, 1996).
- f) Maceración: consiste en sumergir las semillas en un líquido y dejarlo, determinada cantidad de tiempo. (Romero, 2004).

## 2.4 Métodos de extracción

### 2.4.1 Digestión mecánica

La digestión mecánica es un método que es parte de la tecnología de los aceites que utiliza una fuente de calor, un molino manual y telas finas de filtrado en caliente. Esta extracción se utiliza generalmente con el aceite de palma africana, pero se puede adaptar a semillas como el sachá inchi y la canola. (Grasso, 2006).

Este método también es conocido como el método tradicional para la extracción de aceites. La tecnología empleada en este proceso era el molino de rulos, que separaba las fases del aceite por decantación, pero en la actualidad se emplean trituradores metálicos o molinos de martillos y centrifugas tanto horizontales como verticales para la separación de los elementos que forman parte de la composición de las semillas. Las semillas que llegan al molino, deben triturarse lo más rápido posible, ya que el tiempo de almacenamiento deteriora notablemente la calidad del producto final. (Porras, 2000).

Los rendimientos industriales en la digestión mecánica no son del 100%, es más el rendimiento es bajo (aproximadamente 25-30%) comparado con otros métodos de extracción de aceites. Esto debido a que existen restos de aceite que las máquinas no pueden extraer y que se recuperan posteriormente mediante procesos químicos. Estos rendimientos industriales, varían dependiendo de algunos factores, que van desde la naturaleza de la maquinaria utilizada, hasta la profesionalidad y experiencia del personal. (Porras, 2000).

Este sistema de digestión mecánica somete a las semillas a una serie de lavados por filtración. La temperatura del extractor oscila entre 75 y 90°C. En el interior del aparato hay una banda o cinta transportadora de tela metálica, que circula en sentido longitudinal, transportando el material a extraer. Las semillas contenidas en la banda transportadora, son aplastadas por una serie de cilindros propios del extractor, mientras una serie de micelas van realizando los lavados respectivos. A medida que se va desprendiendo el aceite, los lavados cada vez son en menor cantidad. (Sánchez, 2003). El proceso de la digestión también puede realizarse en unos cilindros verticales de aproximadamente 3200 litros de capacidad, equipados con paredes dobles por donde circula vapor de agua para mantener una temperatura entre 80 y 90°C. El objetivo es disminuir la viscosidad del aceite y facilitar su extracción de las semillas correspondientes. El digestor cuenta con un eje central con 4 grupos de brazos, que gira a pocas revoluciones por minuto, golpeando las semillas, para facilitar la extracción del aceite. (Ortiz, 2001).

Las ventajas de la digestión mecánica se resumen en que se trata de un método adecuado para el trabajo en marcha continua y que es un método capaz de producir productos de buena calidad en relativamente pocas etapas. (Bailey, 2004).

#### 2.4.2 Prensado en frío

El proceso de extracción del aceite por prensado en frío, utiliza las semillas sin impurezas, las mismas que se las muelen hasta obtener el aceite por un lado y los desperdicios (pasta) por otro. (Collao, 2007).

El prensado es uno de los procesos más antiguos y más usados en la extracción de aceites vegetales a partir de semillas, en este caso sacha inchi y canola. Las semillas son prensadas en frío o en caliente, en una prensa del tipo hidráulico o de tornillo “expeller”. Al ser sometidas a presión, las gotas de aceite y las partículas de grasa se separan de la masa. Las gotas que no quedaron libres por la trituración, se desgarran por las paredes de las células y se separan de igual forma de la masa. Es recomendable que las semillas tengan un porcentaje mínimo de humedad (5%) para favorecer el proceso de extracción. (Aravena, 2000).

Una vez acondicionadas (pre-tratamiento 25-35°C) las semillas, se procede a prensarlas, una de las alternativas existentes, es colocar las mismas, dentro de un saco de tela filtrante para extraer la mayor cantidad posible de aceite. La carga de la prensa debe ser rápida, para evitar que las semillas se enfríen y que pierdan el efecto deseado. (Aravena, 2000). Las presiones (hasta 60 toneladas) a las que se realizan los ensayos son distintas dependiendo del tipo de prensa y semilla que se utilice. Generalmente se manejan tiempos de 5, 15 y 30 minutos. El procedimiento consiste en colocar las semillas en el cilindro extractor, para ser sometidas lentamente a la presión requerida, con la ayuda de la palanca de activación que mantiene la presión constante durante el tiempo correspondiente para el ensayo, el cual se controla mediante el uso de un cronómetro. (Hernández, 2007).

Durante el prensado no se debe bajar la presión para evitar que la torta reabsorba el aceite. El tiempo de prensado está en función de la presión máxima ejercida sobre la torta y de la velocidad de escurrimiento del aceite. Cabe recalcar que por la viscosidad del aceite, este tiene una lenta velocidad de escurrimiento. (Aravena, 2000). La presión en frío, es un modo de extracción exclusivamente mecánico que se realiza a baja temperatura (temperatura máxima de 45°C) preservando de este modo la proporción de ácidos grasos esenciales, vitaminas y antioxidantes naturales. (Almazora, 2010).

Al aceite finalmente se lo recoge, se lo filtra (para eliminar posibles impurezas y residuos indeseables) y se lo pesa. La torta de prensado que aún se encuentra en el cilindro extractor es sometida nuevamente a las mismas presiones antes mencionadas durante el mismo tiempo, con la finalidad de obtener el rendimiento total.(Hernández, 2007).

Es decir, dependiendo del tipo de semilla utilizada se recomienda realizar algunos prensados, para la obtención del aceite.(Aravena, 2000).

Las ventajas del prensado en frío se resumen en que se obtiene un producto con una densidad más uniforme, requiere herramientas menos costosas y es aplicable a cortas corridas de producción. (Groover, 2002).

### 2.4.3 Extracción por solventes

El método de extracción por solventes es uno de los más utilizados en la industria para la obtención de aceites proveniente de semillas tales como el sachá inchi y la canola; esto debido a los altos porcentajes alcanzados. En la industria se utiliza maquinaria especializada como los extractores Bollman y Smet; sin embargo, estos aparatos funcionan con el mismo principio que el extractor Soxhlet (utilizado a nivel de laboratorio); es decir, consiste en el lavado sucesivo de una mezcla sólida, con un determinado solvente, que va extrayendo de la mezcla los componentes más solubles (aceite).(Fernández, 2001).

La extracción por solventes es una operación que tiene por finalidad la separación de uno o más componentes contenidos en una fase sólida, mediante la utilización de una fase líquida o disolvente. Entre más grande sea la superficie de contacto entre la parte sólida y el líquido que le atraviesa aumenta la eficiencia de la extracción y para esto es necesario someter a la parte sólida (muestra) a un pre-tratamiento (Primo, 2007).

Los componentes de este sistema son los siguientes:

1. *Soluto*: Son los componentes que se transfieren desde el sólido hasta en líquido extractor.
2. *Sólido Inerte*: Parte del sistema que es insoluble en el solvente.
3. *Solvente*: Es la parte líquida que entra en contacto con la parte sólida con el fin de retirar todos los compuestos solubles en ella.(Primo, 2007).

A continuación se explican los equipos para la extracción de aceites por el método de solventes, a nivel industrial (extractor Bollman y Smet) y a nivel de laboratorio (extractor Soxhlet):

### **Extractor Bollman:**

El extractor Bollman tiene un mecanismo altamente calificado para la extracción de aceites. Este equipo cuenta con un conjunto de cangilones (especie de pequeños baldes), de fondo perforado que giran en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que un solvente cae sobre los sólidos (muestra) depositados en el interior de los cangilones.(Vega, 2004)

La cadena de cangilones gira dentro de una carcasa hermética, para impedir la fuga del disolvente. Los cangilones son alimentados automáticamente por una caja situada en la parte superior de la maquinaria. Primeramente, se riega con un extracto de baja concentración. Luego, con un extracto de mediana concentración y finalmente con el disolvente puro. En el proceso se utilizan altas temperaturas (100°C aproximadamente).(Bagué, 2006). *Ver equipo en anexos, sección 12.1.1*

### **Extractor de Smet:**

El extractor de Smet, es uno de los aparatos más manipulados para la producción de aceites. El equipo está constituido por un cuerpo horizontal, provisto con aberturas de gran diámetro por donde es fácil el acceso de los materiales. En el interior del aparato hay una banda o cinta transportadora impulsada por un motor con una variadora de velocidad, la muestra circula por la cinta transportadora, donde queda sometida a un rociado intenso del disolvente.(Sanchez, 2003).

Este tipo de extractores cuenta además con una bomba centrífuga, que lo que hace es recoger el solvente utilizado y lo recicla, devolviéndolo al proceso. Posteriormente, se procede a la destilación para separar el aceite del solvente y a su vez la materia prima agotada se seca y tuesta para recuperar el resto del solvente. Se trabaja a una temperatura de 100° C y 10% de humedad.(Navarro, 2000). *Ver equipo en anexos, sección 12.1.2*

**Extractor Soxhlet:**

Se utiliza el sistema Soxhlet, que tiene el mismo principio de los equipos industriales (Bollman y Smet). Como se dijo anteriormente, la muestra (semillas de sacha inchi y canola) debe ser previamente molida, para permitir mayor área de contacto entre esta y el solvente. El rendimiento obtenido del aceite es alto (45-48%). (Velasco, 2007).

Este es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceites vegetales, puede dejar un residuo aproximado del aceite de menos del 1%, mientras que la extracción por prensado deja un residuo aproximado del 6%. A la extracción por solventes debe preceder la limpieza y trituración de la semilla, esta trituración tiene por finalidad abrir las células y facilitar la salida del aceite. Luego de la limpieza y trituración, se utiliza un pre-tratamiento, la cocción de las semillas en condiciones controladas. Es claro que las grasas líquidas o aceites abandonan más fácilmente la masa, si se calientan, porque disminuye su viscosidad. Por otra parte, si se calienta el aceite aumenta el poder disolvente para los cuerpos que le dan olor, sabor y color y que están contenidos en las semillas. (Aravena, 2000).

La extracción por solventes es una típica operación de transferencia de masa, en donde el solvente penetra el sólido y el aceite contenido en él se hace miscible con el solvente. Después de la extracción se debe separar el solvente del aceite, ya sea por separación mecánica o mediante destilación. Como se menciona anteriormente, para la extracción por solventes, se utiliza el equipo Soxhlet, que por lo general trabaja con disolventes como el hexano. El tiempo estimado de la duración del proceso es de aproximadamente 6 horas, dependiendo de la capacidad del equipo Soxhlet utilizado y el tipo de semillas a analizar. (Aravena, 2000). El equipo Soxhlet está compuesto por tres piezas de vidrio a saber: cámara de condensación que va en la parte superior del soxhlet, recipiente que contiene el dedal (sifón) que va en la parte intermedia y el balón de destilación o matraz que va en la base del Soxhlet. (Fernández, 2001).

En la extracción por solventes, el matraz inferior se calienta y evapora el disolvente, que pasa a través del equipo Soxhlet al condensador. Cuando el disolvente se condensa, cae gota a gota en el depósito interior, donde se encuentra la muestra de la que se está haciendo la extracción. El disolvente caliente se pone en contacto con la muestra y empieza a producirse la transferencia de masa. El disolvente condensado se acumula y continúa destilándose, mientras que el matraz inferior continúa calentándose. Repitiéndose así el proceso durante el tiempo necesario (5-6 horas). Una vez terminado el proceso se procede a evaporar el disolvente por destilación a 80°C con 250 mililitros del solvente (generalmente hexano) y posteriormente a pesar. (Sogorb, 2004).

Las ventajas de la extracción con solventes se resumen en el abastecimiento de productos con muy altos porcentaje de rendimiento, su adecuación para el trabajo en marcha continuo y su facilidad de control.(Fernández, 2001). *Ver equipo en anexos, sección 12.1.3*

## 2.5 Variables

### 2.5.1 Porcentaje de acidez

El valor de acidez de un aceite, se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se necesitan para neutralizar 1 g de muestra. Este valor mide hasta qué grado el aceite se ha descompuesto por la acción de enzimas. (Kirk, 2006). A nivel de laboratorio se utiliza hidróxido de sodio debido a que es de menor costo y más accesible. Su uso no altera los resultados debido a que tanto el sodio como el potasio tienen la misma valencia química. La acidez es una medida del grado de descomposición de los aceites, esto por acción de las lipasas (enzimas). Es importante mencionar también que la descomposición se acelera por la luz y el calor. La rancidez de los aceites se acompaña, generalmente, por la formación de ácidos grasos libres, esta determinación (% acidez) es usada con frecuencia como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites. (Herrera, 2003).

La acidez de un aceite es función del estado sanitario de las semillas de donde procede y fundamentalmente del tratamiento al cual sea sometido, antes de la extracción e incluso durante proceso mismo. (Porrás, 2000). Un elevado valor del índice de acidez en los aceites, será indicativo de su deterioro, es decir, que han iniciado los procesos de enranciamiento. La importancia de este parámetro, se pone de manifiesto en el hecho de que sirve para clasificar la calidad de los diferentes tipos de aceites comerciales. (Fernández, 2001).

El grado de acidez, es un cálculo de los ácidos grasos libres presentes en el aceite expresados en porcentaje de ácido oleico. Para determinar el índice de acidez se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{PE del ácido oleico} = 282,47 \frac{\text{eq}\cdot\text{q}}{\text{g}}$$

$$\text{PE del ácido erúxico} = 338,57 \frac{\text{eq}\cdot\text{q}}{\text{g}} \quad (\text{VaxaS, 2012})$$

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(\text{ml})V_{\text{base}} \times N_{\text{base}} \times (\text{meqq})PE_{\text{acido}}}{(\text{g})P_{\text{muestra}}} \times 100 \quad (\text{Kirk, 2006}).$$

### 2.5.2 Índice de peróxido

El índice de peróxidos, se expresa como la cantidad de microgramos de oxígeno activo en un gramo de sustancia o de muestra de aceite y ofrece información sobre el grado de oxidación de un aceite. Los ácidos grasos insaturados son capaces de tomar oxígeno a la altura de sus dobles enlaces, para dar origen a la formación de peróxidos, los mismos que son altamente reactivos y pueden ser estimados yodométricamente. La metodología se basa en la capacidad del oxígeno peroxídico de oxidar el ión yoduro del yoduro de potasio (KI) produciendo yodo. Las sustancias que oxidan el yoduro de potasio son los peróxidos u otros productos similares de la oxidación de la grasa. (Hernandez, 2009).

Como ya se mencionó, el índice de peróxidos evalúa el estado de oxidación inicial de un aceite y permite detectarlo antes de que sea perceptible organolépticamente. Así como también, refleja la capacidad para su conservación. Valores elevados de ese índice señalan bajas temperaturas en la última fase de maduración de las semillas, o la utilización de altas temperaturas en alguna etapa del proceso de elaboración o extracción. (Porras, 2000).

El índice de peróxido es el punto de enranciamiento, tiende a aumentar cuando aumenta la instauración del aceite y su contenido de antioxidantes. Los aceites expuestos a radiaciones de corta longitud de onda, o almacenados con un limitado acceso de oxígeno, pueden llegar a enranciarse a valores más bajos, que los expuestos en las normas de referencia (de 5 meq O<sub>2</sub> a 10 meq O<sub>2</sub>). (Bailey, 2004).

Para determinar el índice de peróxidos se aplica la siguiente fórmula:

$$IPO = \frac{((ml)V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3}) \times 1000}{(g)pmuestra} \quad (\text{Hernandez, 2009}).$$

### 2.5.3 Porcentaje de rendimiento

El rendimiento total del proceso se determina a partir de la relación entre la masa de aceite obtenida del método utilizado y la cantidad de muestra de semilla pre-tratada utilizada. Se pesa la cantidad inicial de aceite crudo obtenido, antes de ser sometido a posteriores etapas, de esta forma se logra determinar el rendimiento de cada etapa y de todo el proceso en sí. (Hernández, 2007). El rendimiento del aceite depende también del equipo empleado y de los pre-tratamientos utilizados, así como de las semillas y de las condiciones de cultivo de las mismas. (Ramirez, 2008).

El rendimiento de cada uno de los métodos, se calcula dividiendo la masa total del aceite entre la cantidad de muestra de semilla utilizada. Con el método de solventes orgánicos se obtiene mayor rendimiento debido a la utilización del hexano, que al no tener grupos funcionales en su estructura química, facilita la liberación y recuperación del aceite durante el proceso. (Lafont, 2010).

El rendimiento de aceite se determinará mediante la expresión:

$$P = \frac{M_1}{M_2} * 100$$

Donde;

$M_1$  = Masa final del aceite

$M_2$  = Masa inicial de muestra

100= Factor matemático porcentual (Quert, 2000).

#### 2.5.4 Perfil de ácidos grasos

El perfil de los ácidos grasos es una técnica que se utiliza para determinar las proporciones de ácidos grasos poliinsaturados presentes en los aceites vegetales. En la cromatografía de gases (CG), un gas en movimiento (fase móvil) lleva a la muestra a través de una fase estacionaria (el sólido soporta a la muestra entre la columna del CG). Se estima que del 10% al 20% de los compuestos conocidos pueden ser analizados por CG. Para que un compuesto sea adecuado para el análisis por CG, debe tener suficiente volatilidad y estabilidad térmica. El CG es normalmente utilizado cuando la muestra puede ser vaporizada debajo de 400 a 450°C. (IET, 2012)

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Determinar las diferencias en la composición de los aceites de las semillas de sachá inchi y canola cultivadas en el Ecuador.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las diferencias de los aceites en cuanto a sus características fisicoquímicas y composición nutricional.
- Determinar los mejores tratamientos considerando semillas y métodos de extracción.
- Seleccionar el método que extraiga el aceite de mejor calidad.

## **4 HIPÓTESIS**

Los aceites (sachá inchi y canola), provenientes de la producción agrícola nacional, presentarán una buena composición nutricional, fisicoquímica y buen rendimiento.

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Métodos de extracción

#### 5.1.1 Digestión mecánica

Lo expuesto con anterioridad es cómo se extrae un aceite de forma industrial, en la presente investigación lo que se hizo fue simular este proceso. Se acondicionaron las semillas mediante un pre-tratamiento (*Ver sección 2.3*). Se utilizó un molino Micro-Mill (de semillas de café) para triturar las semillas de sacha inchi y canola (465 g aproximadamente), las mismas que se sometieron a calentamiento previo de máximo 27°C. Posteriormente, se sumergieron en agua destilada y se las calentó con agitación manual a 80°C hasta que se evaporó el agua (La temperatura fue importante para facilitar la extracción, pues el líquido aceitoso con menor viscosidad fluye más fácilmente a través de la masa). Luego, la masa caliente fue filtrada manualmente usando tela de nylon. Posteriormente, se almacenó el precipitado o torta y se llevó el líquido obtenido a la cámara de -18°C y se dejó por aproximadamente 24 horas. Al día siguiente, se separó el hielo del aceite descongelando, con un poco de agua de grifo (por fuera del recipiente) y se procedió a pesar el aceite obtenido. (Porrás, 2000).

*Ver diagrama de flujo en anexos, sección 12.5.2*

#### 5.1.2 Prensado en frío

Se utilizó una prensa manual, marca STECK NOG, cuya capacidad depende del cilindro con el que se trabaje, en este caso se utilizaron cilindros con capacidad de una libra o 453.6 gramos, que soporta presiones de hasta 60 toneladas. El aceite comenzó a salir a las 2 toneladas de presión, hasta las 20 toneladas de presión para ambas semillas. Cabe recalcar, que previa a la extracción en la prensa, se acondicionaron las semillas (pre-tratamiento). Se estandarizó el método realizando varias pruebas hasta adaptar valores de presión, cantidad de muestra y tiempo de pre-tratamiento. Esto para obtener el mayor rendimiento con cada una de las semillas utilizadas; así también se utilizó una tela que facilitó el escurrimiento del aceite y la operación del filtrado. (Aravena, 2000).

*Ver diagrama de flujo en anexos, sección 12.5.3*

### 5.1.3 Extracción por solventes

AOAC-925.41

Primero, se acondicionan las semillas (pre-tratamiento). Luego, se pesó de 10 a 15 gramos de la muestra molida en un dedal de extracción o capuchón. Posteriormente, se secó el balón de extracción y se registró el peso del mismo, el cual contenía núcleos de ebullición (Ej. 95.2716 g). En seguida, se colocó el hexano (250 g) en el balón de extracción y se lo trasladó al sistema Soxhlet, junto con el dedal de extracción (con la muestra previamente pesada). Se dejó la muestra con el solvente en el sistema Soxhlet por el tiempo pertinente (6 horas aproximadamente). Una vez terminada la extracción, se retiró el solvente por evaporación en el rotavapor, (también se lo pudo hacer por destilación), hasta que el hexano se haya evaporado. Inmediatamente después, se secó el balón en la estufa hasta que el olor a hexano desapareció y también hasta eliminar posibles trazas de éste en el aceite, el tiempo necesario fue por 24 horas aproximadamente. Finalmente, se registró el peso final y obtuvo el peso de la masa de aceite por diferencia. (Ocampo, 2008). (AOAC, 1990)

*Ver diagrama de flujo en anexos, sección 12.5.4*

## 5.2 Procedimientos fisicoquímicos

### 5.2.1 Porcentaje de acidez

AOAC-940.28

Se pesó alrededor de 5 g de la muestra en un erlenmeyer (registra peso exacto). Luego, se añadió 50 ml de alcohol neutralizado y unas pocas gotas de fenolftaleína. Después, se calentó la muestra por unos breves momentos, se retiró del calor y se añadió de 4-6 gotas de fenolftaleína. Posteriormente, se procedió a titular con NaOH 0.1 N, previamente estandarizado, hasta que apareció una coloración rosada y permaneció estable por unos 20 segundos. Se tituló agitando constantemente y vigorosamente el erlenmeyer. Finalmente, se registraron los mililitros de NaOH 0.1N ocupados hasta la obtención de una ligera coloración rosada. (AOAC, 1990)

### 5.2.2 Índice de peróxido

AOAC-965.33

Se pesó alrededor de 5 g de muestra del aceite en un erlenmeyer (registrar peso exacto). Luego, se añadió 25 ml de ácido acético/cloroformo (60:40) y 0,5 ml exactamente medidos de la solución de yoduro de potasio. Se tomó la precaución de agitar muy bien esta solución para luego incorporar 25 ml de agua destilada y finalmente 0,5 ml de solución indicadora de almidón. Inmediatamente después, se introdujo el erlenmeyer en completa oscuridad por 3 minutos y transcurrido este tiempo se procedió a titular con el tiosulfato de sodio hasta la desaparición del color azul (cambio de color). Se registraron los mililitros de tiosulfato de sodio utilizados hasta el cambio de coloración. (AOAC, 1990)

### 5.2.3 Rendimiento

Para todos los tratamientos se relaciona: cantidad de aceite obtenido sobre cantidad de muestra molida pesada (luego del pre-tratamiento).

$$\frac{\text{g aceite obtenido}}{\text{g muestra molida}} \times 100$$

### 5.2.4 Perfil de ácidos grasos

Para determinar el perfil de ácidos grasos se utilizó un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard modelo 5890 Series II) equipado con un detector que captura electrones. El gas transportador que se utilizó fue el hidrógeno (H<sub>2</sub>), la temperatura del detector fue de 300 °C y el volumen de inyección fue de 1 microlitro. Las condiciones de operación fueron las siguientes: temperatura inicial 45 °C (1 min.), con incremento de 20 °C/min hasta alcanzar 150 °C, permaneciendo 5 min a esta temperatura. Luego se incrementó 4 °C/min hasta 280 °C durante 20 min. La temperatura del inyector fue de aproximadamente 250 °C. Se realizó siempre un lavado previo con acetona para eliminar vestigios de muestras anteriores. (Rissato, 2005).

#### *Preparación de la muestra*

Se colocó 4 gotas de la muestra de los aceites junto con 15 ml de hidróxido de potasio metanólico en un balón. Luego, se añadió 4 ml de trifluoruro de boro y se conectó el balón

a un refrigerante, dejándolo así por 6 minutos aproximadamente. Posteriormente, se procedió a poner 10 ml de hexano y se dejó enfriar. Después del tiempo pertinente, se adicionaron 20 ml de solución salina y se colocó en un embudo de separación. Se dejó reposar hasta obtener 2 fases, se trabajó con la fase superior, colocándola en un tubo de ensayo, rotulando la muestra.

### *Preparación del cromatógrafo*

AOAC-963.15

Se encendió el cromatógrafo y se verificó que haya señal, la misma que se deja estabilizar por unos 10 minutos. Luego se accedió al programa en la computadora, se identificó el tipo de muestra (aceite) y se procedió a inyectar 1 microlitro de la muestra previamente preparada. Posteriormente, se dio inicio al análisis cromatográfico. Como resultado, se obtuvo el porcentaje de cada ácido graso presente en las muestras de aceite analizadas. (AOAC, 1990).

## 6 Diseño experimental

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ); así como también en las instalaciones de la empresa DANEC, SA.

### 6.1 Factores

**6.1.1 Factor A:** métodos de extracción: extracción por digestión mecánica, extracción por solvente orgánico y extracción por prensado en frío.

**6.1.2 Factor B:** semillas: sachá inchi y canola.

### 6.2 Descripción del diseño

#### 6.2.1 Parcelas Divididas

El diseño de parcelas divididas se utiliza en experimentos factoriales, con condiciones experimentales en donde no es posible ensayar todas las combinaciones de los factores en forma aleatoria (Sánchez, 2009). De este modo, el diseño de parcelas divididas estudia dos o más factores simultáneamente, pero uno de ellos (factor B), se estudia con mayor precisión que el otro. Aclarando que se estudia la acción independiente de los factores y el efecto de interacción entre ellos. (Pedroza, 2006).

En estos diseños para experimentos factoriales (estudio del efecto de varios factores), se subdivide la parcela principal en varias sub-parcelas con el objetivo de poder estudiar los efectos de más factores. (Rosselló, 2001). En esta investigación, dentro de las parcelas principales se encuentran los métodos de extracción (digestión mecánica, extracción por solvente y prensado en frío) y dentro de las subparcelas están las semillas de sachá inchi y canola.

Se realizaron en total 6 tratamientos ( $3 \times 2 = 6$ , en donde “3” representa a los 3 métodos de extracción de aceite y “2” representa a las dos semillas estudiadas) con tres repeticiones cada una ( $6 \times 3 = 18$  unidades experimentales). De esta manera, se determinaron las diferencias significativas entre los tratamientos mediante el análisis de la varianza ANOVA, se compararon medias mediante la prueba de significación de Tukey y se establecieron diferencias significativas para cada variable a través de la prueba t de student.

A continuación, se muestra el esquema que se utilizó para el análisis de la varianza de este diseño experimental.

**Tabla 8 Esquema ANOVA parcelas divididas**

<b>Elementos</b>	<b>Fórmula aplicable</b>
Grados de libertad	$t - 1$
Total	$(r*t) - 1$
Bloques	$r - 1$
Factor A	$a - 1$
Error (A)	$(a-1) (r - 1)$
Factor B	$b - 1$
AB	$(a - 1) (b - 1)$
Error (B)	$a (r - 1) (b - 1)$

(Sánchez, 2009).

Donde  $t =$  tratamientos,  $r =$  repeticiones o bloques,  $A =$  métodos de extracción y  $B =$  semillas.

La tabla 9 muestra los elementos del ANOVA para la disposición de los tratamientos. La característica sobresaliente de parcelas divididas es que presenta dos errores experimentales: error A y error B. El primero generado por las diferencias entre las parcelas; y el segundo por las diferencias entre las subparcelas. El error A es mayor al error B debido a que las observaciones en las subparcelas de la misma parcela tienden a correlacionarse positivamente. (Mendiburu)

### 6.2.2 Prueba de significación Tukey

Es una prueba estadística utilizada general y conjuntamente con ANOVA. La prueba Tukey se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones. Es una

prueba de comparación múltiple, generalmente realiza comparaciones con una significación del 5%. (Rial, 2008).

### 6.2.3 Prueba t de student

Esta prueba se efectúa para comparar la media observada en la muestra con la esperada bajo la hipótesis nula. Si el p-valor asociado al estadístico de contraste es mayor que  $\alpha$ , se asumirá la hipótesis nula, lo que significará que la muestra pertenece a la población a un determinado nivel de significancia  $\alpha$  (Por ejemplo,  $\alpha=0,05$ ) (Tomás, 2009). La aplicación de la prueba exige el mismo número de sujetos en ambas situaciones. (Sábado, 2009)

## 6.3 Variables de respuesta

**Tabla 9 Normas de referencia para cada una de las variables analizadas en ambas semillas (sacha inchi y canola)**

<b>Semillas</b>	<b>Variabes</b>	<b>Fuente de referencia</b>
<b>Sacha inchi</b>	% Acidez	Máx. 2,0% (López, 2011)
	Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg aceite )	Máx. 10 meq O <sub>2</sub> /kg (López, 2011)
	% Rendimiento	48% INIA (2006)
	% Omega-3	Mín. 44,7% (López, 2011)
	% Omega-9	Mín. 8,9% (López, 2011)
<b>Canola</b>	% Acidez	Máx. 4,0% NORMA INEN 25:1973 (INEN)
	Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg aceite)	Máx. 15 meq O <sub>2</sub> /kg CODEX ALIMENTARIUS 210-1999 (CODEX, 2011)
	% Rendimiento	43% BCCBA (Bolsa de Cereales de Córdova, 2012)
	% Omega-3	5-13% CODEX ALIMENTARIUS 210-1999 (CODEX, 2011)
	% Omega-9	8-60% CODEX ALIMENTARIUS 210-1999 (CODEX, 2011)

## 7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis de la varianza y prueba de Tukey

#### 7.1.1 Porcentaje de acidez

En la tabla 10 se presenta el resumen de análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de acidez de los tratamientos con 5% de probabilidad.

**Tabla 10 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de acidez**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	207,2744	---			
Bloques	2	0,0401	0,020041	3,5764 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	87,17612	43,58806	7778,286 <sup>*</sup>	>	6,94
Error A	4	0,0224	0,005604	---		
Factor B	1	42,46453	42,46453	3932,829 <sup>*</sup>	>	5,99
A*B	2	77,5065	38,75325	3589,111 <sup>*</sup>	>	5,14
Error B	6	0,0648	0,010797	---		

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

CV(a) 3,57%                      Sy 0,059993  
CV(b) 4,95%

Los bloques son las repeticiones realizadas por cada variable, esto quiere decir que al observar un menor valor al de F tabular, las repeticiones realizadas tienen diferencia estadística no significativa. El resultado del factor A (métodos de extracción) influyó en el porcentaje de acidez del aceite extraído. Mientras que, el factor B indica que la semilla de canola presenta un aceite de diferente acidez que el de la semilla de sachá inchi. Finalmente, la interacción de los factores indicó que dependiendo del método de extracción y la semilla utilizada, se obtiene un porcentaje de acidez diferente.

**Tabla 11 Porcentaje de acidez en los tratamientos**

<b>Tratamientos</b>			<b>Acidez (%)</b>
<b>1</b>	Sacha inchi	Digestión mecánica	0,4287 bc
<b>2</b>	Canola	Digestión mecánica	0,8857 b
<b>3</b>	Sacha inchi	Solventes orgánicos	0,7398 b
<b>4</b>	Canola	Solventes orgánicos	9,6696 a
<b>5</b>	<u>Sacha inchi</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>0,5097 bc</u>
<b>6</b>	<u>Canola</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>0,3385 c</u>

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Todos los aceites extraídos de sachá inchi con los diferentes métodos de extracción cumplieron con la fuente de referencia (López, 2011). De acuerdo a la Tabla 11, los tratamientos 1, 3 y 5 para sachá inchi no presentaron diferencia estadística entre sus medias mediante el análisis de Tukey. Los tres tratamientos de sachá inchi presentaron la misma letra estadística “b”, lo que significa que tienen el mismo valor estadístico y para su efecto, se puede escoger cualquiera de los tres métodos.

El método ideal sería el que contiene el menor porcentaje de acidez, es decir, de ácidos grasos libres en solución (digestión mecánica) porque mediante este método de extracción se obtiene un aceite con menor enranciamiento. Mientras menor porcentaje de acidez tiene un aceite, mayor es su calidad y por tanto, su tiempo de vida útil. Sin embargo, se escogió el método de prensado en frío ya que en éste método no se utilizan temperaturas altas, lo que evita la oxidación del aceite. Además, para el método de prensado en frío se utilizan semillas enteras, las cuales no son expuestas al oxígeno del ambiente de manera directa. En cambio, en el método de digestión mecánica, las semillas son molidas previamente, exponiendo su superficie al oxígeno favoreciendo la oxidación lipídica del aceite por la

enzima lipoxidasa. Evitando estos dos factores (temperatura alta y oxidación lipídica) mediante el método de prensado en frío se logra un aceite de mejor calidad.

Para la semilla de canola existió un tratamiento (tratamiento 4: aceite de canola extraído por el método de solventes orgánicos) que no estuvo dentro de la norma de referencia (Norma INEN 25:1973). Por lo tanto, el método de solventes orgánicos no fue considerado adecuado para la extracción del aceite de canola. Esta elevada acidez que presentó el aceite de canola con respecto al resto de aceites se debe a que la canola reacciona negativamente frente a numerosos cambios de temperatura. (Yague, 2003) La extracción por soxhlet fue el método en el que más cambios de temperatura bruscos sufrió el aceite, por esta razón, según Yague (2003) se puede manifestar el síndrome del aceite tóxico (SAT) en la canola cuando éste es sometido a varios cambios de temperatura y cuando no es refinado.

Como se muestra en la tabla 11, los tres métodos de extracción de aceite de canola presentaron diferencia estadística significativa; escogiéndose como mejor opción al aceite de canola extraído por el método de prensado en frío (tratamiento 6) por presentar el valor de acidez más bajo, lo que garantiza que se trata de un método que conserva mejor las características del aceite y por consiguiente, su calidad.

Se debe considerar que se trata de un aceite crudo que no ha sido desacidificado y desodorizado, en cuyos procesos se eliminan ácidos grasos libres y sustancias volátiles e insaponificables causantes del olor y sabor de los aceites.(Lafont, 2010).

La empresa española Inkanatura (2006), que extrae aceite virgen de sacha inchi por el método de prensado en frío desde aproximadamente el año 2006, extrae un aceite que presenta 0,22% de acidez. El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) también ha realizado extracciones de aceite virgen de sacha inchi por el método de prensado en frío e incluso utilizando el pre-tratamiento de calentamiento previo aplicado, obteniéndose aceite virgen de sacha inchi con 1,227% de acidez (IIAP, 2011). En contraste, en el Ecuador se ha obtenido un aceite virgen de saha inchi con 0,5097% de acidez, correspondiente al tratamiento 5 de la Tabla 11. Estas variaciones porcentuales, aunque todas dentro de la fuente de referencia, se deben posiblemente a las diferencias composicionales de las semillas sembradas en los diferentes países. De acuerdo al IIAP (2011), la composición del aceite extraído de sacha inchi puede variar cuando influyen factores como: almacenamiento de las semillas, tratamiento post-cosecha y temperatura de pre-tratamiento.

De acuerdo a un estudio realizado por Sadia Ali (2009), el aceite de canola extraído tuvo desde 0,4 a 1,40% de acidez. Muy de acuerdo con estos resultados, el Instituto Botánico Texas (Botanical, 1999) especifica que el aceite de canola o colza no supera valores de 2

en términos de porcentaje de acidez. La norma de referencia INEN 25:1973 para el aceite de colza especifica un máximo de 4% de acidez por lo que todos los valores obtenidos por estos autores, se encuentran dentro de la norma de referencia para Ecuador. El instituto botánico recomienda que cuando se realicen extracciones por solventes con el objetivo de obtener un mayor rendimiento de aceite, se debe someter a un refinado del aceite posterior para mejorar su calidad fisicoquímica y evitar aumentos bruscos de porcentaje de acidez. De la misma manera, el estudio de Sadia Ali (2005) recomienda una reducción en el contenido de ácido erúico en el cultivar de la semilla. Por lo tanto, al aplicar esta reducción ácida desde el cultivo de la semilla y adicionalmente, un refinado posterior del aceite de colza, como lo recomiendan ambos autores, se podría lograr un aceite de colza de menor acidez a través del método de extracción por solvente orgánico.

De manera global, luego de analizar estadísticamente los datos, se escogió al método de prensado en frío como el mejor método de extracción con respecto al porcentaje de acidez para el aceite tanto de sachá inchi como de canola. Mediante este método se obtuvieron aceites de mejor calidad: con bajas cantidades de ácidos grasos libres, baja oxidación, baja rancidez, y adicionalmente con mejor olor y color debido a la menor presencia de sustancias insaponificables.

### 7.1.2 Índice de peróxido

En la tabla 12 se presenta el resumen de análisis de la varianza (ANOVA) para el índice de peróxido de los tratamientos con 5% de probabilidad.

**Tabla 12 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del índice de peróxido (meq O<sub>2</sub>/kg aceite)**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	14,9011			---	
Bloques	2	0,0128	0,006406	0,91396 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	12,1906	6,095302	869,6616*	>	6,94
Error A	4	0,0280	0,007009		---	
Factor B	1	2,12695	2,12695	188,7863*	>	5,99
A*B	2	0,4751	0,237546	21,08435*	>	5,14
Error B	6	0,0676	0,011266		---	

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

$$\begin{aligned} CV(a) &= 5,51\% & S\bar{y} &= 0,061282 \\ CV(b) &= 6,98\% \end{aligned}$$

Los bloques son las repeticiones realizadas por cada variable, esto quiere decir que las repeticiones realizadas presentan diferencia estadística no significativa al observar un menor valor al de F tabular en la tabla 12. El resultado del factor A (métodos de extracción) influyó en el índice de peróxido del aceite extraído. Mientras que, el factor B indica que la semilla de canola presenta un aceite de diferente índice de peróxido que el de la semilla de sachá inchi. Finalmente, la interacción de los factores indicó que dependiendo del método de extracción y la semilla utilizada, se obtiene un índice de peróxido diferente.

**Tabla 13 Contenido del índice de peróxido (meq O<sub>2</sub>/kg aceite) en los tratamientos**

Tratamientos			Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg aceite )
<u>1</u>	Sacha inchi	Digestión mecánica	0,6359 e
<u>2</u>	Canola	Digestión mecánica	1,0721 cd
<u>3</u>	Sacha inchi	Solventes orgánicos	2,1054 b
<u>4</u>	Canola	Solventes orgánicos	3,2517 a
<u>5</u>	<u>Sacha inchi</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>0,7841 de</u>
<u>6</u>	<u>Canola</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>1,2640 c</u>

Medias seguidas por las mismas letras no tienen diferencia entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Todos los tratamientos cumplieron con el máximo de 10 meq O<sub>2</sub> /kg que especifica la fuente de referencia. Sin embargo, de acuerdo a Arreguín (2008) mientras menor es el índice de peróxido, menor es el deterioro u oxidación que han sufrido los lípidos durante la extracción del aceite.

De acuerdo con la tabla 13, los tratamientos 1 y 3 ; 3 y 5 correspondientes a la semilla de sachá inchi presentaron diferencia estadística entre sus medias mediante el análisis de Tukey. Sin embargo, los tratamientos 1 y 5 presentaron la misma letra estadística “e”, lo que significa que tienen el mismo valor estadístico y para su efecto, se puede escoger cualquiera de los dos métodos.

El método ideal sería el que contiene el menor índice de peróxido, es decir, el de menor deterioro por la baja oxidación de sus lípidos (digestión mecánica). Mediante este método de extracción se obtiene un aceite con menor número de insaturaciones o dobles enlaces. Mientras menor índice de peróxido tiene un aceite, mayor es su calidad y por tanto, su tiempo de vida útil.

Desde el punto de vista de calidad, se escogió el método de prensado en frío ya que en éste método no se utilizan temperaturas altas, lo que evita la oxidación del aceite. Además, para

el método de prensado en frío se utilizan semillas enteras, las cuales no son expuestas al oxígeno del ambiente de manera directa. Finalmente, el proceso a seguir para la extracción por prensado en frío se realiza en pocas etapas, lo que expone al aceite menos tiempo a la oxidación durante su procesamiento.

En contraste, en el método de digestión mecánica se somete a las semillas a una temperatura de 80°C, lo que promueve la formación de insaturaciones; es decir, un mayor índice de peróxido. Adicionalmente, para este método las semillas son molidas previamente, exponiendo su superficie al oxígeno favoreciendo la oxidación lipídica del aceite por la enzima lipoxidasa. Además, el método de digestión mecánica tiene más etapas de procesamiento, lo que expone al aceite durante más tiempo a un mayor deterioro. Evitando estos factores (temperatura alta y oxidación lipídica); se concluye que mediante el método de prensado en frío se logra un aceite de mejor calidad.

Todos los tratamientos de extracción de aceite de canola también se encuentran dentro del valor especificado por el Codex Alimentarius 210-1999. De acuerdo con la tabla 13, los tratamientos 2 y 4 ; 4 y 6 correspondientes a la semilla de canola presentaron diferencia estadística entre sus medias mediante el análisis de Tukey. Sin embargo, los tratamientos 2 y 6 presentaron la misma letra estadística “c”, lo que significa que tienen el mismo valor estadístico y para su efecto, se puede escoger cualquiera de los dos métodos.

El método ideal sería el que contiene el menor índice de peróxido por las razones descritas. Sin embargo, como se explicó anteriormente, se elige como mejor método desde el punto de vista de calidad al prensado en frío para el aceite de canola.

Los valores bajos de un índice de peróxido no sólo demuestran baja rancidez sino también comprueba que para la extracción de un aceite virgen, sus semillas han tenido un adecuado pre-tratamiento (Porrás, 2000).

La empresa Inkanatura (2006) obtiene un índice de peróxido de 3,13 meq O<sub>2</sub> /kg para el aceite de sacha inchi extraído por el método de prensado en frío. Esta diferencia con 2,1054 meq O<sub>2</sub> /kg, que es la media del valor más alto que se obtuvo en el presente estudio (tratamiento 3) podría deberse a que las muestras fueron sometidas a tratamiento previo de calentamiento. Según el IIAP (2011), el índice de peróxido es un indicativo del progreso de la descomposición auto-oxidativa. Por lo tanto, se demuestra que la auto-oxidación se está deteniendo con la ayuda de un pre-tratamiento.

En la investigación de Sadia Ali (2009), se obtuvieron valores de índice de peróxido para el aceite de canola desde 2.00 hasta 7.08, indicando la utilización de un método de extracción a temperatura un poco más drástica o a su vez, que se ha almacenado el aceite en un medio circundante con más oxígeno (Bailey, 2004). De acuerdo a la compañía Gama

Products (2009), que comercializa el aceite de canola, recomienda un valor máximo de 1.0 meq O<sub>2</sub> /kg para que el producto tenga una duración con fecha de expiración de 2 años, es decir para que el producto sea de larga duración. De esta manera, se comprueba la teoría de Porras que manifiesta que un índice de peróxido bajo refleja su capacidad para su conservación (Porras, 2000).

De manera global, luego de analizar estadísticamente los datos, se escogió al método de prensado en frío como el mejor método de extracción con respecto al índice de peróxido para el aceite tanto de sacha inchi como de canola. Mediante este método se obtuvieron aceites de mejor calidad: baja oxidación, baja rancidez, bajo número de insaturaciones y adicionalmente mayor tiempo de vida útil.

### 7.1.3 Porcentaje de rendimiento

En la tabla 14 se presenta el resumen de análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de rendimiento de los tratamientos con 5% de probabilidad.

**Tabla 14 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de rendimiento**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>		<b>Ft</b>
Total	17	2716,3644	---			
Bloques	2	0,3854	0,192707	0,358928 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	2683,6644	1341,832	2499,246*	>	6,94
Error A	4	2,1476	0,536895	---		
Factor B	1	24,388361	24,38836	36,83883*	>	5,99
A*B	2	1,8065	0,903235	1,364344 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	3,9722	0,662029	---		

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

$$CV(a) = 2,06\% \qquad S\bar{y} = 0,469762$$

$$CV(b) = 2,28\%$$

Los bloques muestran diferencia estadística no significativa, esto quiere decir, que no hay diferencia estadística entre las repeticiones de cada variable. El factor A muestra que según el método de extracción utilizado, se obtiene mayor o menor cantidad de aceite, ya sea de canola o de sachá inchi. De la misma manera, el factor B refleja que los porcentajes de rendimiento varían también según la semilla procesada. Finalmente, el resultado de la interacción entre métodos de extracción y semilla procesada no muestra diferencia significativa; es decir, cuando se trata de un mismo método de extracción, los porcentajes de rendimiento no varían sin importar si se extrae el aceite del sachá inchi o de la canola.

**Tabla 15 Porcentaje de rendimiento en los tratamientos**

<b>Tratamientos</b>			<b>Rendimiento (%)</b>
<b>1</b>	Sacha inchi	Digestión mecánica	18,3916 e
<b>2</b>	Canola	Digestión mecánica	19,8240 e
<b>3</b>	Sacha inchi	Solventes orgánicos	46,9314 b
<b>4</b>	Canola	Solventes orgánicos	49,7319 a
<b>5</b>	<u>Sacha inchi</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>37,8569</u> d
<b>6</b>	<u>Canola</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>40,6079</u> c

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Los 3 tratamientos de aceite de sachá inchi analizados (tratamientos 1, 3 y 5) presentaron valores de porcentaje de rendimiento por debajo del valor de referencia que indica 48% (INIA, 2006). En ningún tratamiento de aceite de sachá inchi se alcanzó al valor referencial. En contraste, con respecto al aceite de canola, el tratamiento 4 sobrepasó el valor referencial de 43% de rendimiento (BCCBA, 2012). Los tratamientos 3 y 4, correspondientes a la extracción de aceite por el método de solvente orgánico, fueron los que más se acercaron a los valores de referencia, y también, los que presentaron los porcentajes más altos de extracción.

No existe una norma que especifique cuánto rendimiento debe obtenerse al extraer aceite de sachá inchi, por lo que se utilizó el valor investigado por el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria del Ministerio de Agricultura Peruano “INIA” que es de 48% (INIA, 2006). En tanto que, para el aceite de canola se tomó de referencia 43% de rendimiento, valor especificado en la norma argentina de la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCCBA, 2012)

La prueba Tukey de significancia indicó que los tratamientos 1, 3 y 5 son estadísticamente diferentes ya que presentaron diferente rango. Esto quiere decir, que los tres tratamientos para sachá inchi mostraron diferentes medias estadísticas. Entonces, estadísticamente el

mejor porcentaje de rendimiento para sachá inchi fue el tratamiento 3 correspondiente al rango “b”.

Para la canola, los tratamientos 2, 4 y 6 también presentaron diferencia estadística significativa. Por lo tanto, de acuerdo a la prueba estadística de Tukey el mejor porcentaje de rendimiento fue el tratamiento 4, correspondiente al rango “a”.

Para ambas semillas, los valores más altos de porcentaje de rendimiento resultaron del método de solvente orgánico. Esto se debe a que, el solvente utilizado para la extracción de aceites vegetales es el n-hexano que resulta de una mezcla de ciclopentanos, cicloheptanos, pentanos y heptanos que actúan como agentes circundantes. Gracias a estos agentes, las trazas de grasa son envueltas eficientemente lográndose así, la creación de una micela lipídica hasta la formación de una voluminosa dispersión coloidal (solución aceitosa). (INSHT, 2007). Es por esta razón, que el método de extracción por solvente orgánico (n-hexano) es el más eficiente.

A pesar de tener un aceite de mayor rendimiento para ambas semillas mediante el método de solventes orgánicos, se procedió a escoger el mejor método considerando la mejor calidad; es decir el método de prensado en frío por las razones descritas a continuación. Si bien el n-hexano presenta la ventaja de quitar casi todo el aceite contenido en la semilla dejando trazas que no superan 1 ppm de concentración, acarrea desventajas como la emisión de compuestos orgánicos volátiles al medio ambiente y problemas en la salud para las personas que lo manipulan si no se toman las medidas de seguridad adecuadas. (UCFCA, 2012)

El n-hexano puede ser tóxico al inhalarlo o al contacto con la piel aparte de ser una sustancia muy inflamable. Este solvente afecta también las características organolépticas del aceite como su color y su aroma cuando supera 1ppm de concentración máxima. Entre los inconvenientes de la utilización del n-hexano, se encuentra la obtención de extractos más oscuros debido a que el disolvente extrae pigmentos de las semillas que se conservan durante la destilación. (Ortuño, 2006)

No hay autores que hayan publicado investigaciones argumentadas que indiquen porcentaje de rendimiento de aceite de la semilla de sachá inchi. Sin embargo, las máquinas de extracción de aceite en frío especializadas de sachá inchi que se encuentran en venta en el Perú, exponen un valor de rendimiento desde 38,88% hasta 64,25%. (Buscape Company, 2006). De esta manera, se comprueba que el porcentaje obtenido por el tratamiento 5 de 37,86% es un porcentaje aceptable ya que se acerca al rango de rendimiento de una máquina industrial. Al contrario, el método de digestión mecánica produce porcentajes muy bajos y muy alejados de los porcentajes deseados

industrialmente. Se podría modificar la temperatura de pre-tratamiento de las semillas, el tiempo de pre-tratamiento y las toneladas de presión durante la extracción para subir el porcentaje de rendimiento del tratamiento 5 y hacerlo igual de eficiente que el tratamiento 3.

El rendimiento del aceite de canola o colza sí ha sido investigado por la Comisión Canadiense de Granos (Canadian Grain Commission, 2010). Han sido analizadas algunas variedades calculándose un promedio de 44,3% de contenido de aceite extraído. No se especifica el método de extracción utilizado en aquella investigación; sin embargo, al observar los tratamientos 4 y 6 son los que más se acercan a este porcentaje escogiéndose al prensado en frío como el mejor método de acuerdo a su mejor calidad. Se podría también optimizar el tiempo de pre-tratamiento para elevar lo máximo posible su porcentaje de rendimiento.

Según las normas de referencia INIA y BCCBA, respectivas para el sachá inchi y la canola, mostraron que el rendimiento de canola es menor al de sachá inchi; sin embargo, en la presente investigación, se demostró lo contrario, es decir que el rendimiento de la canola fue superior al del sachá inchi. Esto puede deberse a la clase de semilla utilizada, al pre-tratamiento o al método de extracción.

De manera global, para ambas semillas se escogió el método de prensado en frío como el mejor método con respecto al rendimiento. Estadísticamente el método de solventes orgánicos es el que presentó la mayor media estadística; sin embargo, desde el punto de vista de calidad se prefiere al método de prensado en frío.

### 7.1.4 Omega-3

En la tabla 16 se presenta el resumen de análisis de la varianza (ANOVA) para el contenido de omega-3 de los tratamientos con 5% de probabilidad.

**Tabla 16 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del contenido de omega-3**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	6858,9162	---			
Bloques	2	1,4941	0,74705	2,104564 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	5,7696333	2,884817	8,127007*	>	6,94
Error A	4	1,4199	0,354967	---		
Factor B	1	6849,1808	6849,181	57574,96*	>	5,99
A*B	2	0,3380	0,169017	1,420772 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	0,7138	0,118961	---		

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

$$\begin{aligned} CV(a) &= 1,87\% & S\bar{y} &= 0,199132 \\ CV(b) &= 1,08\% \end{aligned}$$

Los bloques demuestran que las repeticiones realizadas para esta variable presentaron diferencia estadística no significativa. Los métodos de extracción influyeron en el contenido de ácido linolénico u omega-3. El contenido de omega-3 depende también de la semilla analizada, dependiendo si se trata del aceite de la semilla de sacha inchi o de canola. Finalmente, el resultado de la interacción de ambos factores A y B muestra que el contenido de omega-3 para la semilla de sacha inchi es similar con los tres métodos de extracción; ocurriendo lo mismo con el contenido de omega-3 para la semilla de canola.

**Tabla 17 Contenido de omega-3 en los tratamientos**

<b>Tratamientos</b>			<b>Omega-3 (%)</b>
<b>1</b>	Sacha inchi	Digestión mecánica	51,3167 ab
<b>2</b>	Canola	Digestión mecánica	12,6900 c
<b>3</b>	Sacha inchi	Solventes orgánicos	50,6300 b
<b>4</b>	Canola	Solventes orgánicos	11,4000 d
<b>5</b>	<u>Sacha inchi</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>51,9433 a</u>
<b>6</b>	<u>Canola</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>12,7600 c</u>

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

El aceite de sacha inchi presentó un contenido de omega-3 que se ajusta a la fuente de referencia (López, 2011). Presenta valores de 51,31%, 50,63% y 51,94% cuando la fuente de referencia establece un mínimo de 44,7%. (López, 2011) Esto significa que los métodos de extracción utilizados son muy eficientes con respecto a la cantidad de omega-3 que se puede obtener. Los valores obtenidos superan los establecidos por la fuente de referencia de López.

Los tratamientos 1 y 3; 1 y 5 presentaron el mismo rango con respecto a la prueba de significancia de Tukey. Es decir, el mejor método para la extracción de aceite de sacha inchi podría ser tanto el tratamiento 1, el 2 como el 3 con respecto al porcentaje de omega-3. Entonces, se escogió al tratamiento 5 como el mejor método desde el punto de vista estadístico como de calidad. Un prensado en frío conservó mejor las características organolépticas de los aceites al no incluir temperatura en su técnica y también conservó sus características fisicoquímicas (% acidez e IP). Por lo tanto, el prensado en frío puede conservar tanto a las enzimas ya contenidas en el aceite, que favorecen la transformación del omega-3 y también, la estructura del omega-3 para las enzimas que puedan añadirse al aceite (elongasas y desaturasas).

El omega -3 es un ácido graso esencial, es decir, el cuerpo humano no es capaz de producirlo por lo que hay que consumirlo de la dieta. Es un ácido graso poli-insaturado de importancia neuronal, es esencial para el correcto funcionamiento del cerebro y si un ser humano posee deficiencia, produciría diferentes deficiencias en la neurotransmisión y por consiguiente, posibles enfermedades de trastornos psiquiátricos como la depresión mayor y la esquizofrenia. (Tapia, 2005).

Con respecto al aceite de canola, los tratamientos 2, 4 y 6 se encuentran dentro de los valores de 5-13% que establece el Codex Alimentarius 210-1999 para omega-3. De acuerdo a la Tabla 17, los tratamientos 2 y 4 ; 4 y 6 presentaron diferencia estadística entre sus medias mediante la prueba de Tukey. En contraste, los tratamientos 2 y 6 son iguales estadísticamente porque presentan el mismo rango “c”. Esto indica que los tratamientos 2 y 6 son los mejores en el caso de la canola. Entonces, se escogió al tratamiento 6 como el mejor método para la extracción del aceite de canola tanto desde el punto de vista estadístico como de calidad.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por INIA (2006) con sachá inchi peruano, se obtuvieron valores de 43,75% de omega-3; mientras que, los valores obtenidos en el presente estudio sobrepasan el 50% para ácido linolénico con respecto a la cantidad total de ácidos grasos. El sachá inchi sembrado en tierras ecuatorianas demuestra tener mayor porcentaje de este ácido graso esencial, omega-3. Investigaciones realizadas por Inca Inchi (2007), que son industrias amazónicas europeas, han obtenido valores promedio de 48,61% para el ácido linolénico u omega-3, el cual también se encuentra por debajo de los porcentajes obtenidos en Ecuador. El presente estudio demostró que la semilla de sachá inchi sembrada en tierras ecuatorianas presentó mayor contenido del ácido graso esencial linolénico u omega-3 que en otras partes del mundo donde se hayan realizado estudios de esta semilla.

La cantidad de omega-3 en el aceite de canola, es mucho más baja que en el aceite de sachá inchi. Sin embargo, también presenta ventaja frente a porcentajes obtenidos en otras partes del mundo. Por ejemplo, el menor porcentaje de omega-3 fue obtenido por el método de solventes orgánicos, tratamiento 4 = 11,40% omega-3, este valor sigue siendo superior a 11,2% que es un valor obtenido por Gunstone en su libro “Rapessed and canola oil: production, processing, properties and uses” (2004). Tanto el aceite de canola como el de sachá inchi demostraron tener mayor contenido de omega-3 que en aceites de las mismas semillas sembradas en otras partes del mundo.

De manera global, se escogió a los tratamientos 5 y 6 correspondientes al método de prensado en frío como mejores con respecto al contenido de omega-3. Esto es, debido a

que la composición nutricional de los aceites se conserva de mejor manera con una extracción en frío como lo es el prensado.

### 7.1.5 Omega-9

En la tabla 16 se presenta el resumen de análisis de la varianza (ANOVA) para el contenido de omega-3 de los tratamientos con 5% de probabilidad.

**Tabla 18 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) del contenido de omega-9**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>		<b>Ft</b>
Total	17	13690,8314	---			
Bloques	2	1,1446	0,572289	1,281778 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	0,8160444	0,408022	0,913863 <sup>NS</sup>	<	6,94
Error A	4	1,7859	0,446481	---		
Factor B	1	13684,094	13684,09	38507,57*	>	5,99
A*B	2	0,8588	0,429422	1,208411 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	2,1322	0,355361	---		

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

$$\begin{aligned} CV(a) &= 1,88\% & S\bar{y} &= 0,344171 \\ CV(b) &= 1,67\% \end{aligned}$$

Las repeticiones realizadas no presentaron diferencia significativa estadística para la medición del contenido de omega-9. El factor A o métodos de extracción mostraron que sin importar el método de extracción utilizado, las semillas presentaron un determinado contenido de omega-9. Adicionalmente, el factor B o semillas procesadas indicaron que el contenido de omega-9 cambió dependiendo de si se trata de sachá inchi o de canola. Finalmente, la interacción de los métodos de extracción con las semillas estudiadas no presentó diferencia estadística significativa; es decir, hay diferencia en los resultados de las combinaciones entre métodos de extracción y semillas estudiadas.

**Tabla 19 Contenido de omega-9 en los tratamientos**

<b>Tratamientos</b>			<b>Omega-9 (%)</b>
<b>1</b>	Sacha inchi	Digestión mecánica	7,9033 b
<b>2</b>	Canola	Digestión mecánica	63,3633 a
<b>3</b>	Sacha inchi	Solventes orgánicos	7,9533 b
<b>4</b>	Canola	Solventes orgánicos	62,4800 a
<b><u>5</u></b>	<u>Sacha inchi</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>7,9733 b</u>
<b><u>6</u></b>	<u>Canola</u>	<u>Prensado en frío</u>	<u>63,4200 a</u>

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Los aceites obtenidos del sachá inchi con los diferentes métodos de extracción no cumplieron con la fuente de referencia que establece un mínimo de 8,9% de omega-9 (López, 2011). Los tratamientos 1, 3 y 5 para sachá inchi no presentaron diferencia estadística entre sus medias mediante la prueba de Tukey. En este caso, se escogería cualquiera de ellos porque presentaron igualdad estadística. Entonces, se escogió el tratamiento 5 que corresponde al prensado en frío como mejor método de extracción de aceite de sachá inchi desde el punto de vista estadístico y de mejor calidad.

El prensado en frío conservó las características organolépticas y fisicoquímicas de los aceites al no utilizar temperatura dentro de su proceso de extracción. De igual manera que ocurrió con el omega-3, este método conservó también las enzimas necesarias para su transformación estructural (enlongasas y desaturasas).

El aceite de canola obtenido por los 3 diferentes métodos presenta porcentajes de omega-9 por encima de lo establecido por el Codex alimentarius 210-1999 (8-60%). Esto demuestra que el aceite de canola ecuatoriano tiene ventaja comparativa con respecto a su contenido de omega-9 frente al aceite de sachá inchi por cualquiera de los 3 métodos de extracción.

Para el aceite de canola, los tratamientos 2, 4 y 6 no presentan diferencia estadística entre sus medias a través de la prueba de Tukey. Al igual que con el aceite de sachá inchi,

estadísticamente se puede escoger cualquiera de los 3 métodos porque presentan el mismo rango “a”. Sin embargo, desde el punto de vista de calidad, se escogió al prensado en frío ya que es un método que conserva mejor las características organolépticas y fisicoquímicas del aceite. De esta manera, se conserva la mayor cantidad de omega-9. Siempre se prefiere el contenido de ácido oleico alto por ser un ácido graso insaturado y de cadena corta, por lo tanto volátil y fluido que ayuda a la prevención de enfermedades cardiovasculares. (Calvo, 2012).

Según las investigaciones peruanas para el aceite de sacha inchi, se obtienen porcentajes de omega-9 de máximo 8,40%, alcanzando al porcentaje de la fuente de referencia. De acuerdo a la empresa europea Incha Inchi (2007), se obtienen porcentajes de 8,28% de ácido oleico. Por lo que, tampoco llega al valor establecido de 8,9%. Así, el aceite de sacha inchi ecuatoriano no es una fuente rica en omega-9, pero si de omega-3. Mientras, que el aceite de canola es rico en omega-9, pero no en omega-3.

El aceite de canola ecuatoriano se considera rico en omega-9 debido a que en comparación con autores como Gusnstone (2004), que obtienen valores máximos de 58,1%, en esta investigación se obtuvo un contenido de omega-9 de 63,42%, que corresponde al método de prensado en frío.

De forma general, el mejor método de extracción considerando el contenido de omega-9 es el método de prensado en frío para ambas semillas. Este método conserva mejor las características organolépticas y fisicoquímicas para que el contenido de omega-9 salga favorecido.

## 7.2 Prueba t de student

Considerando que el método de solventes orgánicos por Soxhlet tiene como limitación el tamaño de su muestra y su característica de laboratorio, se procede a valorar los resultados obtenidos mediante la prueba t de student para la variable rendimiento.

**Tabla 20 Resultados de la prueba t de student para rendimiento**

Semillas	Métodos Comparados	Valor de $t_c$ y $t_t$	H0: No existe diferencia entre los 2 métodos
<b>sacha inchi</b>	Solventes Orgánicos y Digestión mecánica	$t_c = 34,42$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0
	Solventes Orgánicos y Prensado en Frío	$t_c = 20,04$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0
	Prensado en frío y Digestión mecánica	$t_c = 37,05$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0
<b>canola</b>	Solventes Orgánicos y Digestión mecánica	$t_c = 250,39$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0
	Solventes Orgánicos y Prensado en Frío	$t_c = 16,64$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0
	Prensado en frío y Digestión mecánica	$t_c = 40,45$ $t_t = 2,92$ $t_c > t_t$	Rechazo H0

Se comprueba que hay diferencia estadísticamente significativa entre los tres métodos utilizados. Los porcentajes de rendimiento varían significativamente dependiendo del método que se escoja de acuerdo con la prueba t de student.

## 8 Tablas de ponderación

Las tablas 21 y 22 muestran la ponderación de resultados para la determinación del mejor método de extracción del aceite de sacha inchi y canola. Se analizó el resultado desde el punto de vista de calidad con respecto a las cinco variables estudiadas; siendo “5” la variable más importante y “1” la menos importante hablando en términos de calidad.

**Tabla 21 Ponderación de resultados para el mejor método de extracción para el aceite de sacha inchi**

VARIABLES	Valor	Semilla	Método de extracción	Calificación	Puntuación
% Acidez	5	Sacha inchi	1. Digestión mecánica	5+4+3+2+0	14
Índice de peróxido	4				
Contenido omega-3	3		2. Solventes orgánicos	5+0+0+2+1	8
Contenido omega-9	2				
Rendimiento	1				

**Tabla 22 Ponderación de resultados para el mejor método de extracción para el aceite de canola**

VARIABLES	Valor	Semilla	Método de extracción	Calificación	Resultado
% Acidez	5	Canola	1. Digestión Mecánica	5+4+3+2+0	14
Índice de peróxido	4				
Contenido omega-9	3		2. Solventes orgánicos	0+0+3+0+1	4
Contenido omega-3	2				
Rendimiento	1				

Desde el punto de vista de calidad, los métodos que obtuvieron la mejor puntuación para la extracción del aceite de sachá inchi y canola fueron digestión mecánica y prensado en frío. Sin embargo, se escogió el método de prensado en frío porque teóricamente no aplica temperatura alguna durante su procesamiento, evita la oxidación y conserva mejor las características fisicoquímicas y organolépticas del aceite.

## 9 CONCLUSIONES

- El mejor método de extracción para la caracterización del aceite de sachá inchi y de canola, es el método de prensado en frío, debido a que por medio de éste se obtienen aceites de baja acidez, bajo índice de peróxido, buen rendimiento y buenos porcentajes de omega-3 para el aceite de sachá inchi y de omega-9 para el de canola.
- La investigación realizada por Soxhlet a nivel de laboratorio mostró que el método de solventes orgánicos, es el que presenta mayor rendimiento. Sin embargo, se escoge el método de prensado en frío debido a que presenta una mejor calidad fisicoquímica en los aceites extraídos.
- El método de digestión mecánica, es aceptable desde el punto de vista fisicoquímico (porcentaje de acidez e índice de peróxido); sin embargo, su procesamiento incluye temperaturas altas por lo que se prefirió escoger el método de prensado en frío.
- La semilla de canola proporciona mayor rendimiento que la de sachá inchi posiblemente debido a las diferentes características geográficas y climáticas del país.
- El contenido de omega-3 y de omega-9 tanto en las semillas de sachá inchi como en las de la canola, no son influenciados por el método de extracción utilizado.
- En la producción industrial, se debería considerar calidad sobre cantidad, por lo que, el prensado en frío sería la mejor opción, debido a su calidad fisicoquímica y a su rendimiento que es bastante aceptable.

## 10 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios sobre el perfil de ácidos grasos de diferentes combinaciones de ambos aceites en diferentes proporciones.
- Debido al alto porcentaje de proteína que quedan en las tortas obtenidas de las semillas de sachá inchi y canola, se recomienda utilizarlas en algún subproducto.
- En el método del prensado en frío se recomienda comprimir varias veces la torta, para disminuir los residuos del aceite.
- Se recomienda utilizar antioxidantes como BHT (butil-hidroxi-tolueno), BHA (butil-hidroxi-anexol) o TBHQ (ter-butil-hidroxi-quinona) para controlar de mejor manera el aumento de acidez en los aceites a medida que pasa el tiempo; es decir, aumentar su tiempo de vida útil.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- Agro-información. (2002). *El cultivo de la colza*. Retrieved 2012 12-04 from <http://www.abcagro.com>
- Aguilar, P. (2009). *Calidad de la canola: cuidados en el manejo de campo y de cosecha de la canola para lograr un producto de buena calidad*. (C. n. oleaginosos, Editor) Retrieved 2012 22-04 from [www.oleaginosas.org](http://www.oleaginosas.org)
- Ali, S. e. (2005). Evaluation of canola seeds of different cultivars with special emphasis on the quantification of erucic acid and glucosinolates. (D. o. Agriculture., Ed.) *Grasas y Aceites*, 60.
- Almazora, C. (2010). *Aceites: Extracción por prensado en frío*. Retrieved 2012 05-abril from <http://www.prensandoenfrio.com>
- AOAC. (1990). *Acids (volatile) in Oils and Fats Titrimetric Method*.
- AOAC. (1990). *Fatty Acids (free) in Crude and Refined Oils*.
- AOAC. (1990). *Gas Chromatographic and Gravimetric Method*.
- AOAC. (1990). *Peroxide Value of Oils and Fats Titration Method*.
- Aranceta, J. (2009). *Alimentos funcionales y salud en las etapas infantil y juvenil*. Espana: Panamericana.
- Aravena, M. (2000). *Información Tecnológica: industrialización de la higuerrila para la producción de aceite de ricino*. V5 N:3. La Serena Chile: Panamericana.
- Arreguín, Z. (2008). *Departamento de Química*. (F. A. Chiñas, Ed.) Retrieved 2012 10-04 from Facultad de Química de la UNAM: [www.depa.fquim.unam.mx](http://www.depa.fquim.unam.mx)
- Bagué, A. (2006). *Tecnología Farmacéutica*. (C. Universitario, Ed.) España.
- Bailey, A. (2004). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona: Reverté, S.A.
- BCCBA. (2012). *Bolsa de Cereales de Córdoba*. Retrieved 2012 12-04 from [www.bccba.com.ar](http://www.bccba.com.ar)
- Biología Perú. (2012). *Bioquímica*. Retrieved 2012 15-04 from Biología Perú: <http://biologiaperu.com>
- Bolsa de Cereales de Córdoba. (2012). *Precio base de 220 a 225 u\$s/t para forwards de colza 2007/08*. Retrieved 2012 28-05 from BCCBA: <http://www.bccba.com.ar>

- Botanical. (1999). *Aceite de colza*. Retrieved 2012 10-04 from <http://www.botanical-online.com>
- Buscape Company. (2006). *Maquina para extracción de aceite*. Retrieved 2012 15-04 from Cundinamarca: <http://cundinamarca.com.co>
- Calvo, M. (2012). *Ácidos grasos*. (U. Zaragoza, Producer) Retrieved 2012 15-04 from <http://milksci.unizar.es>
- Canadian Grain Commission. (2010). *Quality of western Canadian canola*. Retrieved 2012 15-04 from Grainscanada: <http://www.grainscanada.gc.ca>
- CODEX. (2011). *NORMA DEL CODEX PARA ACEITES VEGETALES ESPECIFICADOS. CODEX STAN 210-1999*. Retrieved 2012 28-05 from UCLM: <http://www.uclm.es>
- Collao, C. (2007). Tratamiento enzimático en la extracción de aceite y obtención de antioxidantes a partir de semilla de onagra, por prensado en frío. EBSCO. Retrieved 2012 19-Marzo
- Elgart, D. (2010 23-04). *Pymes Rio Uruguay*. Retrieved 2012 19-04 from Aceite de canola: Desde Perdices al mundo: <http://www.pymesriouruguay.com.ar>
- Fernández, I. (2001). *Obtención de aceite de orujo mediante extracción con fluidos supercríticos*. España: Universidad de Castilla.
- Financiera Rural. (2010 mayo). *Dirección nacional adjunta de planeación estratégica y análisis sensorial*. From Canola: <http://www.financierarural.gob.mx>
- Follegatti, R. (2009). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Supercritical Fluids*, 323-329.
- Gama Products. (2009). *Aceite de canola*. Retrieved 2012 10-04 from Gamaproducts: <http://www.gamaproducts.com>
- Grasso, F. (2006). Pretratamiento Enzimático de Expandido de Soja para la Extracción de Aceite con Solvente. *17*(3). Retrieved 2011 02-octubre from <http://www.scielo.cl/scielo.php>
- Groover, M. (2002). *Fundamentos de la manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas*. . Mexico: Pearson.
- Guillén, J. (2009). *Omega-3. La Salud Inmediata. Dar la vuelta a las enfermedades*. (Culturalibros, Ed.) España.
- Guillén, M. (2003). Guillen D. Maria, et al. "Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubi* L.) by FTIR Spectroscopy and <sup>1</sup>H NMR. Comparison with Linseed Oil."

- Journal of the American Oil Chemists' Society. 2003. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.
- Gunstone, F. D. (2004). *Rapessed and Canola Oil: production, processing, properties and uses*. Retrieved 2012 15-04 from Googlebooks: <http://books.google.com.ec>
- Hernández, C. (2007). Efecto de la Refinación Física Sobre el Aceite de la Almendra del Corozo (*Acrocomia aculeata*). 18. Retrieved 2012 05-abril from <http://scielo.cl>
- Hernandez, C. (2009). Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz (*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído. 20(4). Retrieved 2011 30-Junio from <http://www.scielo.ec>
- Herrera, C. (2003). *Química de los alimentos, manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- IET. (2012). Hewlett Packard 5890 Series II Gas Chromatograph. Obtenido de [www.IetLtd.com](http://www.IetLtd.com)
- IIAP. (2011). *Tecnología de extracción de aceite de sachá inchi*. Retrieved 2012 10-04 from Instituto de investigaciones de la amazonía peruana: <http://www.iiap.org.pe>
- Inca Inchi. (2007). *Agroindustrias amazónicas*. Retrieved 2012 15-04 from <http://incainchi.es>
- INEN. (n.d.). *Aceite de colza. Requisitos*. Retrieved 2012 28-05 from INEN: <http://apps.inen.gob.ec>
- INIA. (2006 06). *Ministerio de Agricultura*. Retrieved 2012 28-05 from inca inchi: <http://www.incainchi.es>
- Inkanatura. (2006). *Inkanatura*. Retrieved 2012 05-Abril from Inkanatura: <http://www.inkanat.com>
- INSHT. (2007). *n-Hexano*. Retrieved 2012 11-04 from <http://www.insht.es>
- Kirk. (2006). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. México: CECSA.
- Lafont, J. (2010). Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla de almendra del marañón. Córdoba, Colombia. Retrieved 2012 04-abril from [www.scielo.cl](http://www.scielo.cl)
- López, E. (2011 01). *Presentación norma técnica aceite de sachá inchi*. Retrieved 2012 28-05 from Scribd: <http://es.scribd.com>
- Los Seibos. (n.d.). *Extracción Solvente*. From <http://www.los-seibos.com/teoria/extraccionsolvente.pdf>

- Manco, E. (2006). *Nacional de investigación y extensión agraria: cultivo de sachá inchi*. San Martín Perú: Ministerio de Agricultura.
- Mataix, J. (2004). *Libro blanco de los omega-3. Los ácidos grasos poli-insaturados y mono-insaturados y su papel en la salud*. Madrid, España: Panamericana.
- Méndez, L. (2010). (V. [www.vevica.com](http://www.vevica.com), Editor) Retrieved 2012 04-abril from Aceite de Sachá Inchi Extra Virgen .
- Mendiburu, F. d. (s.f.). Diseño en parcela dividida (Split Splot). Perú. Obtenido de <http://tarwi.lamolina.edu.pe>
- Meyer, M. (1996). *Elaboración de productos agrícolas. manuales para las industrias agropecuarias*. Mexico: Trillas.
- Morris, D. (s.f.). Metabolismo del ácido alfa-linolénico. Obtenido de <http://www.flaxcouncil.ca>
- Natudelia. (2010). *Acido graso omega-9*. Retrieved 2012 17-04 from <http://www.natudelia.com>
- Navarro, F. (2000). *La oleorresina del pimentón*. (U. d. Murcia, Ed.) Murcia.
- Ocampo, R. (2008). *Curso Practico de química organica. enfocado a biología y alimentos*. Caldas Colombia: Universidad de Caldas.
- Ortiz, R. (2001). *El cultivo de la palma aceitera*. San José: Universidad Estatal.
- Ortuño, F. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes* (Primera ed.). (Aiyana, Ed.) Obtenido de [http://books.google.com.ec/books?id=cW5TsDKqx9wC&pg=PA46&lpg=PA46&q=desventaja+extraccion+aceite+con+hexano&source=bl&ots=LIT2QQaDkj&sig=T0Hvm\\_c75yGQ5if9nuGR3RY4HJk&hl=en&sa=X&ei=BFJ0UJ7vMYSs9ASu74GoBA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=desventaja%20extraccion%20ac](http://books.google.com.ec/books?id=cW5TsDKqx9wC&pg=PA46&lpg=PA46&q=desventaja+extraccion+aceite+con+hexano&source=bl&ots=LIT2QQaDkj&sig=T0Hvm_c75yGQ5if9nuGR3RY4HJk&hl=en&sa=X&ei=BFJ0UJ7vMYSs9ASu74GoBA&redir_esc=y#v=onepage&q=desventaja%20extraccion%20ac)
- Pascual. (2000). *Extracción y caracterización de sachá inchi (Plukenetia volubilis)*. Retrieved 2012 21-04 from Lamolina: <http://www.lamolina.edu.pe>
- Pedroza, H. (2006). *Sistema de Análisis estadísticos con SPSS*. Managua Nicaragua: Instituto Nicaragüense de tecnología agropecuaria.
- Pitchford, P. (2003). *Sanando con alimentos integrales*. Mexico: Planeta.
- Porras, A. (2000). *Olivicultura y elaiotecnía*. Murcia: Universidad de Castilla.
- Primo, E. (2007). *Química orgánica básica y aplicada, de la molécula a la industria*. (Reverté, Ed.) Valencia.

- Pro-amazonía. (2012 12-abril). *Tecnología de extracción de aceite de sachá inchi*. From [www.promamazonia.org.pe](http://www.promamazonia.org.pe)
- Quert, R. (2000). Contenido de aceite esencial en el follaje de *PinusCaribaeamorelet* en función de la edad del árbol. *34(2)*. Retrieved 2012 23-abril from [www.scielo.cl](http://www.scielo.cl)
- Ramirez, M. (2008). *Cultivo para la producción sustentable de biocombustibles, Higuerrillo*. Honduras: Comunica.
- Rial, A. (2008). *Estadística práctica para la investigación en la ciencia de la salud*. España: Gesbiblo.
- Rissato, G. (2005). Retrieved 2012 03-abril from Metodo Multiresiduo para determinar Pesticidas en frutas por extracción con fluido supercritico. Revista: Inf. Tecno vol: 16 n:6 pp: 13 a 19. disponible en: [www.scielo.sl](http://www.scielo.sl)
- Romero, M. (2004). *Plantas aromáticas. Métodos de extracción*. Buenos Aires: Kier S.A.
- Rosselló, E. (2001). *Estudio FAO producción y protección vegetal. Guía técnica para ensayos de variedades en campo*. Roma , Italia.
- Rubio, G. (2007). Distribución de nitrógeno, fosforo y azufre en el cultivo de colza: efectos sobre el ciclado de nutrientes. Argentina. Retrieved 2012 25-enero from <http://www.scielo.cl>
- Sábado, J. (2009). *Fundamentos de bioestadística y análisis de datos para enfermería*. Barcelona, España: Servei de Publicación.
- Sadia Ali, F. A. (2009). *Grasas y Aceites*. Retrieved 2012 10-04 from <http://grasasyaceites.revistas.csic.es>
- Sánchez, O. (2009). *Introducción al diseño experimental*. Quito, Ecuador: Derechos Reservados.
- Sánchez, P. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. . Madrid: Vicente Ediciones.
- Sanchez, T. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. (Iragra, Ed.) Madrid.
- Sanhueza, A. V. (2009 09). *Aceites de origen marino*. Retrieved 2012 15-04 from Scielo: <http://www.scielo.cl>
- Silveira, M. (2003 junio). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?. (S. Monereo, Ed.) 77. Retrieved 2011 10-julio from <http://scielo.isciii.es/scielo.php>.
- Sogorb, M. (2004). *Técnicas analíticas de contaminantes químicos. Aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimenticias*. España: Días de Santos S.A.

- Tapia, A. (2005-08). *La suplementación con ácidos grasos omega-3 disminuye la agresividad, hostilidad y el comportamiento antisocial*. Retrieved 2012-15-04 from <http://www.scielo.cl>
- Task Force. (n.d.). *Procedimientos de extracción*. From <http://wvmdtaskforce.com/proceedings/84/ren/84ren.htm>
- Tomás, J. (2009). *Fundamentos de bioestadística y análisis de datos para enfermería*. España. Obtenido de <http://books.google.com.ec>
- Torres, C. (2008). *Producción de aceites extra vírgenes con omega 3 y 6*. From <http://elcacique.sac.com>
- UCFCA. (2012). *Jatropha curcas para producción de biodiesel*. Chile. Obtenido de <http://146.83.42.4/tics22011/159580474/extraccion.html>
- Vackavik, V. (2002). *Fundamento de la ciencia de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Valenzuela, A. (2003-marzo). *Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición*. Retrieved 2011-01-octubre from <http://scielo.isciii.es/scielo.php>.
- Valenzuela, R., Tapia, G., & González, M. y. (09 de 2011). *Ácidos grasos omega-3 (EPA Y DHA) y su aplicación en diversas situaciones clínicas*. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <http://www.scielo.cl/scielo.php>
- VaxaS. (01 de 02 de 2012). *Propiedades de ácidos grasos*. Obtenido de [www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/bio/acidosgrasos.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/bio/acidosgrasos.pdf)
- Vega, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces*. (C. A. Bello, Ed.) Bogotá.
- Velasco, R. (2007). *Aplicaciones de los fluidos supercríticos en la agroindustria*. 18. From <http://www.scielo.cl>
- Vogel, A. I. (1980). *Química Analítica Cuantitativa* (Vol. 1). (Kapelutz, Ed.)
- Yague, A. (2003). *Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas*. Bellaterra.

## 12 ANEXOS

### 12.1 Equipos de extracción por solventes orgánicos

#### 12.1.1 Extractor Bollman

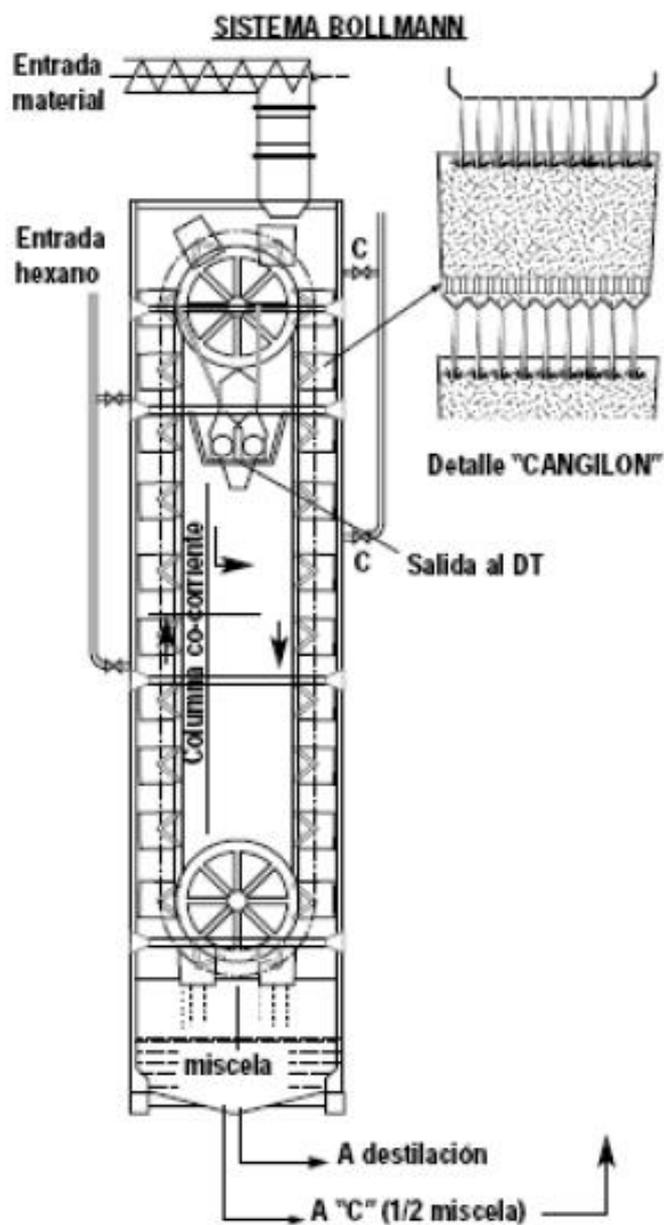


Ilustración 4 Extractor Bollman (Los Seibos)

### 12.1.2 Extractor de Smet

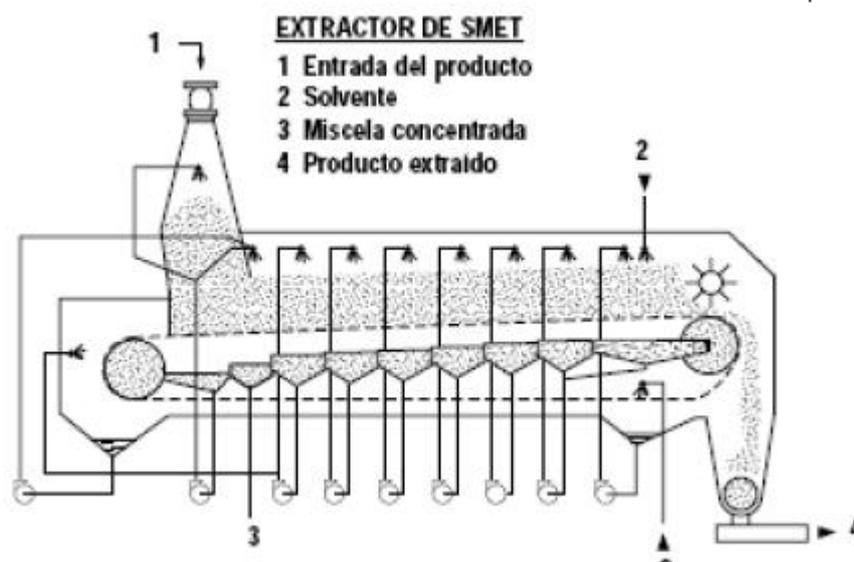


Ilustración 5 Extractor de Smet, (Los Seibos)

### 12.1.3 Extractor Soxhlet

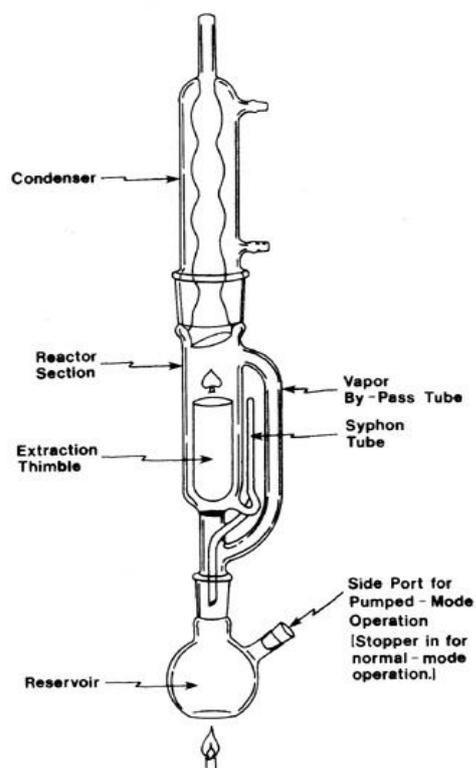


Figure 1 SOXHLET EXTRACTOR

Ilustración 6 Extractor Soxhlet, (Task Force)

## 12.2 Diseño Experimental

**Tabla 23 Descripción de cada tratamiento utilizado para el diseño experimental**

Método utilizado	Semilla analizada	Número de tratamiento
Digestión mecánica	Sacha inchi	1
Digestión mecánica	Canola	2
Solventes orgánicos	Sacha inchi	3
Solventes orgánicos	Canola	4
Prensado en frío	Sacha inchi	5
Prensado en frío	Canola	6

### 12.2.1 Porcentaje de acidez

**Tabla 24 Datos fisicoquímicos para el cálculo de porcentaje de acidez de los tratamientos**

Tratamientos	ml titulación			Pesos muestra (g)		
	I	II	III	I	II	III
1*	0,6000	0,6000	0,6000	4,0600	4,1000	4,0800
2**	0,8500	1,0500	1,2000	4,1200	4,0600	4,0600
3*	1,1500	0,7500	1,2000	4,1300	4,0200	4,0500
4**	11,4000	11,3000	11,2000	4,1400	4,0800	4,0300
5*	0,8000	0,6000	0,7500	4,1800	4,0800	4,0300
6**	0,3500	0,4000	0,4500	4,2600	4,1200	4,0400

\* Los valores de acidez para SI están expresados como ácido oléico

\*\* Los valores de acidez para SI están expresados como ácido erúico

**Tabla 25 Obtención de medias de las repeticiones de porcentaje de acidez para el análisis de la varianza**

Tratamientos	Bloques			$\Sigma$ Tratamientos	$\bar{X}$ $t_{tratamientos}$
	I	II	III		
1	0,4308	0,4266	0,4287	1,2861	0,4287
2	0,7209	0,9036	1,0327	2,6572	0,8857
	<b>1,1517</b>	<b>1,3302</b>	<b>1,4614</b>	<b>3,9433</b>	
3	0,8117	0,5439	0,8637	2,2193	0,7398
4	9,6213	9,6771	9,7105	29,0089	9,6696
	<b>10,4330</b>	<b>10,2210</b>	<b>10,5742</b>	<b>31,2282</b>	
5	0,5579	0,4287	0,5425	1,5291	0,5097
6	0,2871	0,3392	0,3892	1,0155	0,3385
	<b>0,8450</b>	<b>0,7679</b>	<b>0,9317</b>	<b>2,5446</b>	
$\Sigma$ Bloques	<b>12,4296</b>	<b>12,3191</b>	<b>12,9673</b>	<b>37,7161</b>	$\bar{X}_{general} =$ <b>2,0953</b>

**Tabla 26 Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de acidez en los tratamientos**

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
Total	17	207,2744			
Bloques	2	0,0401	0,020041	3,5764 <sup>NS</sup>	< 6,94
Factor					
A	2	87,17612	43,58806	7778,286*	> 6,94
Error A	4	0,0224	0,005604		
Factor					
B	1	42,46453	42,46453	3932,829*	> 5,99
A*B	2	77,5065	38,75325	3589,111*	> 5,14
Error B	6	0,0648	0,010797		

NS: No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

\*: Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**Tabla 27 Cálculo del coeficiente de variación y de la desviación estándar de las medias para la prueba de significancia**

CV(A)	3,572627	Sy	0,059993
CV(B)	4,959141		

**Tabla 28 Prueba de significancia (Tukey) para el porcentaje de acidez**

$$T = Qp * Sy$$

$$T = 0,337760119 \text{ (valor de referencia)}$$

Tratamientos	6	1	5	3	2	4
$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$	0,3385	0,4287	0,5097	0,7398	0,8857	9,6696
<b>rango</b>	c	bc	bc	b	b	a
	9,3311	>	0,337760119			
	9,2409	>	0,337760119			
	9,1599	>	0,337760119			
	8,9299	>	0,337760119			
	8,7839	>	0,337760119			
	0,5472	>	0,337760119			
	0,4570	>	0,337760119			
	0,3760	>	0,337760119			
	0,1460	<	0,337760119			
	0,4013	>	0,337760119			
	0,3111	<	0,337760119			
	0,2301	<	0,337760119			
	0,1712	<	0,337760119			
	0,0810	<	0,337760119			
	0,0902	<	0,337760119			

### 12.2.2 Índice de peróxido

**Tabla 29 Datos fisicoquímicos para el cálculo de índice de peróxido de los tratamientos**

Tratamientos	ml titulación			Pesos muestra (g)		
	I	II	III	I	II	III
1	0,2600	0,2300	0,2400	4,0900	4,1400	4,0000
2	0,4100	0,4000	0,4200	4,0900	4,0900	4,0400
3	0,8200	0,7800	0,8000	4,1000	4,0400	4,0000
4	1,2500	1,3000	1,1500	4,0500	4,0200	4,0500
5	0,3100	0,3000	0,2800	4,0200	4,0300	4,0400
6	0,4700	0,5000	0,4800	4,1000	4,0300	4,0900

**Tabla 30 Obtención de medias de las repeticiones de índice de peróxido para el análisis de la varianza**

Tratamiento s	Bloques			$\Sigma$ Tratamientos	$\bar{X}$ tratamientos
	I	II	III		
1	0,6770	0,5917	0,6390	1,9077	0,6359
2	1,0676	1,0416	1,1072	3,2163	1,0721
	<b>1,7445</b>	<b>1,6332</b>	<b>1,7462</b>	<b>5,1240</b>	
3	2,1300	2,0562	2,1300	6,3162	2,1054
4	3,2870	3,4440	3,0241	9,7551	3,2517
	<b>5,4170</b>	<b>5,5002</b>	<b>5,1541</b>	<b>16,0713</b>	
5	0,8213	0,7928	0,7381	2,3522	0,7841
6	1,2209	1,3213	1,2499	3,7921	1,2640
	<b>2,0421</b>	<b>2,1141</b>	<b>1,9880</b>	<b>6,1443</b>	
$\Sigma$ Bloques	<b>9,2038</b>	<b>9,2476</b>	<b>8,8882</b>	<b>27,3396</b>	$\bar{X}_{\text{general}} =$ <b>1,5189</b>

**Tabla 31 Cálculo del coeficiente de variación y de la desviación estándar de las medias para la prueba de significancia**

CV(A)	5,511914	Sy	0,061282
CV(B)	6,988331		

**Tabla 32 Análisis de varianza (ANOVA) del índice de peróxido en los tratamientos**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	14,9011				
Bloques	2	0,0128	0,006406	0,91396 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	12,1906	6,095302	869,6616*	>	6,94
Error A	4	0,0280	0,007009			
Factor B	1	2,12695	2,12695	188,7863*	>	5,99
A*B	2	0,4751	0,237546	21,08435*	>	5,14
Error B	6	0,0676	0,011266			

NS: No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

\*: Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**Tabla 33 Prueba de significancia (Tukey) para el índice de peróxido**

$$T = Q_p * S_y$$

$$T = 0,34501759 \text{ (valor de referencia)}$$

Tratamientos	1	5	2	6	3	4
$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$	0,6359	0,7841	1,0721	1,2640	2,1054	3,2517
rango	e	de	cd	c	b	a
2,6158	>	0,345017595				
2,4676	>	0,345017595				
2,1796	>	0,345017595				
1,9877	>	0,345017595				
1,1463	>	0,345017595				
1,4695	>	0,345017595				
1,3213	>	0,345017595				
1,0333	>	0,345017595				
0,8414	>	0,345017595				
0,6281	>	0,345017595				
0,4800	>	0,345017595				
0,1919	<	0,345017595				
0,4362	>	0,345017595				
0,2881	<	0,345017595				
0,1482	<	0,345017595				

### 12.2.3 Porcentaje de rendimiento

**Tabla 34 Obtención de medias de las repeticiones de porcentaje de rendimiento para el análisis de la varianza**

Tratamientos	Bloques			$\Sigma$ Tratamientos	$\bar{X}$ tratamientos
	I	II	III		
1	18,2103	17,9789	18,9855	55,1747	18,3916
2	20,2688	19,2108	19,9924	59,4720	19,8240
	<b>38,4791</b>	<b>37,1897</b>	<b>38,9779</b>	<b>114,6467</b>	
3	46,7898	47,9345	46,0699	140,7942	46,9314
4	50,0148	49,3518	49,8292	149,1958	49,7319
	<b>96,8046</b>	<b>97,2863</b>	<b>95,8991</b>	<b>289,9900</b>	
5	37,1802	38,4945	37,8959	113,5706	37,8569
6	40,4369	39,5901	41,7968	121,8238	40,6079
	<b>77,6171</b>	<b>78,0846</b>	<b>79,6927</b>	<b>235,3944</b>	
$\Sigma$ Bloques	<b>212,9008</b>	<b>212,5606</b>	<b>214,5697</b>	<b>640,0311</b>	$\bar{X}_{\text{general}} =$ <b>35,5573</b>

**Tabla 35 Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de rendimiento en los tratamientos**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	2716,3644				
Bloques	2	0,3854	0,192707	0,358928 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	2683,6644	1341,832	2499,246*	>	6,94
Error A	4	2,1476	0,536895			
Factor B	1	24,388361	24,38836	36,83883*	>	5,99
A*B	2	1,8065	0,903235	1,364344 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	3,9722	0,662029			

**NS:** No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**\*:** Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**Tabla 36 Cálculo del coeficiente de variación y de la desviación estándar de las medias para la prueba de significancia**

$$\begin{aligned} CV(A) &= 2,060706 & Sy &= 0,469762 \\ CV(B) &= 2,288283 \end{aligned}$$

**Tabla 37 Prueba de significancia (Tukey) para el porcentaje de rendimiento**

$$\begin{aligned} T &= Qp * Sy \\ T &= 2,644759254 \text{ (valor de referencia)} \end{aligned}$$

<b>Tratamientos</b>	1	2	5	6	3	4
$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$	18,3916	19,8240	37,8569	40,6079	46,9314	49,7319
<b>rango</b>	e	e	d	c	b	a
	31,3404	>	2,644759254			
	29,9079	>	2,644759254			
	11,8751	>	2,644759254			
	9,1240	>	2,644759254			
	2,8005	>	2,644759254			
	28,5398	>	2,644759254			
	27,1074	>	2,644759254			
	9,0745	>	2,644759254			
	6,3235	>	2,644759254			
	22,2164	>	2,644759254			
	20,7839	>	2,644759254			
	2,7511	>	2,644759254			
	19,4653	>	2,644759254			
	18,0329	>	2,644759254			
	1,4324	<	2,644759254			

### 12.2.4 Porcentaje de omega-3

**Tabla 38 Obtención de medias de las repeticiones de porcentaje de omega-3 para el análisis de la varianza**

Tratamientos	Bloques			$\Sigma$ Tratamientos	$\bar{X}$ tratamientos
	I	II	III		
1	51	50,98	51,97	153,9500	51,3167
2	12,3	13,13	12,64	38,0700	12,6900
	<b>63,3000</b>	<b>64,1100</b>	<b>64,6100</b>	<b>192,0200</b>	
3	50,34	50,44	51,11	151,8900	50,6300
4	11,11	11,41	11,68	34,2000	11,4000
	<b>61,4500</b>	<b>61,8500</b>	<b>62,7900</b>	<b>186,0900</b>	
5	51,33	52,93	51,57	155,8300	51,9433
6	12,24	13,36	12,68	38,2800	12,7600
	<b>63,5700</b>	<b>66,2900</b>	<b>64,2500</b>	<b>194,1100</b>	
$\Sigma$ Bloques	<b>188,3200</b>	<b>192,2500</b>	<b>191,6500</b>	<b>572,2200</b>	$\bar{X}_{\text{general}} =$ <b>31,7900</b>

**Tabla 39 Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de omega-3 en los tratamientos**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	6858,9162				
Bloques	2	1,4941	0,74705	2,104564 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	5,7696333	2,884817	8,127007*	>	6,94
Error A	4	1,4199	0,354967			
Factor B	1	6849,1808	6849,181	57574,96*	>	5,99
A*B	2	0,3380	0,169017	1,420772 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	0,7138	0,118961			

NS: No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

\*: Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**Tabla 40 Cálculo del coeficiente de variación y de la desviación estándar de las medias para la prueba de significancia**

$$\begin{aligned} CV(A) &= 1,874145 & Sy &= 0,199132 \\ CV(B) &= 1,084956 \end{aligned}$$

**Tabla 41 Prueba de significancia (Tukey) para el porcentaje de omega-3**

$$\begin{aligned} T &= Q_p * Sy \\ T &= 1,12111528 \text{ (valor de referencia)} \end{aligned}$$

Tratamientos	4	2	6	3	1	5
$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$	11,4000	12,6900	12,7600	50,6300	51,3167	51,9433
rango	d	c	c	b	ab	a
	40,5433	>	1,12111528			
	39,2533	>	1,12111528			
	39,1833	>	1,12111528			
	1,3133	>	1,12111528			
	0,6267	<	1,12111528			
	39,9167	>	1,12111528			
	38,6267	>	1,12111528			
	38,5567	>	1,12111528			
	0,6867	<	1,12111528			
	39,2300	>	1,12111528			
	37,9400	>	1,12111528			
	37,8700	>	1,12111528			
	1,3600	>	1,12111528			
	0,0700	<	1,12111528			
	1,2900	>	1,12111528			

### 12.2.5 Contenido de omega-9

**Tabla 42 Obtención de medias de las repeticiones de porcentaje de omega-9 para el análisis de la varianza**

Tratamientos	Bloques			$\Sigma$ Tratamientos	$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$
	I	II	III		
1	7,59	8,27	7,85	23,7100	7,9033
2	63,71	64,18	62,2	190,0900	63,3633
	<b>71,3000</b>	<b>72,4500</b>	<b>70,0500</b>	<b>213,8000</b>	
3	7,72	8,12	8,02	23,8600	7,9533
4	63,15	61,95	62,34	187,4400	62,4800
	<b>70,8700</b>	<b>70,0700</b>	<b>70,3600</b>	<b>211,3000</b>	
5	7,75	8,19	7,98	23,9200	7,9733
6	62,62	64,45	63,19	190,2600	63,4200
	<b>70,3700</b>	<b>72,6400</b>	<b>71,1700</b>	<b>214,1800</b>	
$\Sigma$ Bloques	<b>212,5400</b>	<b>215,1600</b>	<b>211,5800</b>	<b>639,2800</b>	$\bar{X}_{\text{general}} =$ <b>35,5156</b>

**Tabla 43 Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de omega-9 en los tratamientos**

FV	GL	SC	CM	Fc		Ft
Total	17	13690,8314				
Bloques	2	1,1446	0,572289	1,281778 <sup>NS</sup>	<	6,94
Factor A	2	0,8160444	0,408022	0,913863 <sup>NS</sup>	<	6,94
Error A	4	1,7859	0,446481			
Factor B	1	13684,094	13684,09	38507,57*	>	5,99
A*B	2	0,8588	0,429422	1,208411 <sup>NS</sup>	<	5,14
Error B	6	2,1322	0,355361			

NS: No significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

\*: Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F.

**Tabla 44 Cálculo del coeficiente de variación y de la desviación estándar de las medias para la prueba de significancia**

$$\begin{aligned} CV(A) &= 1,881407 & Sy &= 0,344171 \\ CV(B) &= 1,678481 \end{aligned}$$

**Tabla 45 Prueba de significancia (Tukey) para el porcentaje de omega-9**

$$\begin{aligned} T &= Qp * Sy \\ T &= 1,9376829 \text{ (valor de referencia)} \end{aligned}$$

Tratamientos	1	3	5	4	2	6
$\bar{X}_{\text{tratamientos}}$	7,9033	7,9533	7,9733	62,4800	63,3633	63,4200
<b>rango</b>	b	b	b	a	a	a
	55,5167	>	1,9376829			
	55,4667	>	1,9376829			
	55,4467	>	1,9376829			
	0,9400	<	1,9376829			
	0,0567	<	1,9376829			
	55,4600	>	1,9376829			
	55,4100	>	1,9376829			
	55,3900	>	1,9376829			
	0,8833	<	1,9376829			
	54,5767	>	1,9376829			
	54,5267	>	1,9376829			
	54,5067	>	1,9376829			
	0,0700	<	1,9376829			
	0,0200	<	1,9376829			
	0,0500	<	1,9376829			

### 12.3 Prueba t de student

Variable: rendimiento

Sacha inchi

**Tabla 46 Comparación de resultados para el método de solventes orgánicos con el de digestión mecánica**

Tratamientos	Solventes orgánicos	Digestión mecánica	d	d <sup>2</sup>
1	46,7898	18,2103	28,5795	816,7878
2	47,9345	17,9789	29,9556	897,338
3	46,0699	18,9855	27,0844	733,5647
$\sum$	<b>140,7942</b>	<b>55,1747</b>	<b>85,6195</b>	<b>2447,691</b>
$\bar{X}$	<b>46,9314</b>	<b>18,39157</b>		

**Hipótesis nula**

H0: No existe diferencia entre los 2 métodos

**Cálculos**

$$S^2d = 2,062127$$

$$Sd = 1,436011$$

$$tc = 34,42344$$

$$tt = 2,92$$

$$tc > tt,$$

**Resultado**

Rechazo H0

**Tabla 47 Comparación de resultados para el método de solventes orgánicos con el de prensado en frío**

Tratamientos	Solventes orgánicos	Prensado en frío	d	d <sup>2</sup>
1	46,7898	37,1802	9,6096	92,34441
2	47,9345	38,4945	9,44	89,1136
3	46,0699	37,8959	8,174	66,81428
$\sum$	<b>140,7942</b>	<b>113,5706</b>	<b>27,2236</b>	<b>248,2723</b>
$\bar{X}$	<b>46,9314</b>	<b>37,85687</b>		

Hipótesis nula	Cálculos	Resultado
H0: No existe diferencia entre los 2 métodos	$S^2d = 0,61541$ $Sd = 0,78448$ $tc = 20,0356$ <b><math>tt = 2,92</math></b> $tc > tt,$	Rechazo H0

**Tabla 48 Comparación de resultados para el método de prensado en frío con el de digestión mecánica**

Tratamientos	Prensado en frío	Digestión mecánica	d	d <sup>2</sup>
1	37,1802	18,2103	18,9699	359,8571
2	38,4945	17,9789	20,5156	420,8898
3	37,8959	18,9855	18,9104	357,6032
$\Sigma$	<b>113,5706</b>	<b>55,1747</b>	<b>58,3959</b>	<b>1138,35</b>
$\bar{X}$	37,85687	<b>18,39157</b>		

Hipótesis nula	Cálculos	Resultado
H0: No existe diferencia entre los 2 métodos	$S^2d = 0,82823$ $Sd = 0,91007$ $tc = 37,0464$ <b><math>tt = 2,92</math></b> $tc > tt,$	Rechazo H0

## Canola

**Tabla 49 Comparación de resultados para el método de solventes orgánicos con el de digestión mecánica**

Tratamientos	Solventes orgánicos	Digestión mecánica	d	d <sup>2</sup>
1	50,0148	20,2688	29,746	884,8245
2	49,3518	19,2108	30,141	908,4799
3	49,8292	19,9924	29,8368	890,2346
$\frac{\Sigma}{X}$	<b>149,1958</b> 49,731933	<b>59,472</b> 19,824	<b>89,7238</b>	<b>2683,539</b>

Hipótesis nula	Cálculos	Resultado
H0: No existe diferencia entre los 2 métodos	$S^2d = 0,0428$ $Sd = 20,688$ $tc = 250,391$ <b><math>tt = 2,92</math></b> $tc > tt,$	Rechazo H0

**Tabla 50 Comparación de resultados para el método de solventes orgánicos con el de prensado en frío**

Tratamientos	Solventes orgánicos	Prensado en frío	d	d <sup>2</sup>
1	50,0148	40,4369	9,5779	91,73617
2	49,3518	39,5901	9,7617	95,29079
3	49,8292	41,7968	8,0324	64,51945
$\frac{\Sigma}{X}$	<b>149,1958</b> 49,731933	<b>121,8238</b> 40,60793	<b>27,372</b>	<b>251,5464</b>

Hipótesis nula	Cálculos	Resultado
H0: No existe diferencia entre los 2 métodos	$S^2d = 0,90214$ $Sd = 0,94981$ $tc = 16,6383$ <b><math>tt = 2,92</math></b> $tc > tt,$	Rechazo H0

**Tabla 51 Comparación de resultados para el método de prensado en frío con el de digestión mecánica**

Tratamientos	Prensado en frío	Digestión mecánica	d	d <sup>2</sup>
1	40,4369	20,2688	20,1681	406,7523
2	39,5901	19,2108	20,3793	415,3159
3	41,7968	19,9924	21,8044	475,4319
$\sum$	<b>121,8238</b>	<b>59,472</b>	<b>62,3518</b>	<b>1297,5</b>
$\bar{X}$	40,60793	19,824		

Hipótesis nula	Cálculos	Resultado
H0: No existe diferencia entre los 2 métodos	$S^2d = 0,79217$ $Sd = 0,89004$ $tc = 40,4464$ <b><math>tt = 2,92</math></b> $tc > tt,$	Rechazo H0
	<b>Resultado</b>	
<b>Cálculos</b>		

## 12.4 Reactivos utilizados para el análisis de las variables

### 12.4.1 Porcentaje de acidez

❖ 250 ml de hidróxido de sodio 0,1N (NaOH 0,1N).

○ Procedimiento para la preparación y estandarización del NaOH 0,1 N:

Se considera un 100% de riqueza para el NaOH sólido. Entonces, se pesó 1 gramo de NaOH, éste se disolvió en agua destilada en un vaso de precipitación y se aforó en un matraz de 250 ml. El NaOH 0,1N se estandarizó con KHP (ptalato ácido de potasio), se pesó 0,306 g del mismo en 50 ml de agua destilada, luego se agregaron 3 gotas de fenolftaleína y se procedió a titular, hasta que haya un cambio de color de transparente a rosado.

○ Cálculo para la preparación de NaOH 0,1 N:

$$g \text{ NaOH} = V_{\text{preparación}} \times N_{\text{NaOH}} \times PE_{\text{NaOH}}$$

$$g = 0,25 \text{ L} * 0,1 \text{ N} * (40 \text{ g})$$

$$g = 1 \text{ g NaOH (Se afora a 250 ml)}$$

○ Reacción de estandarización:



$$g_{\text{NaOH}} = V_{\text{titulable}} * N_{\text{NaOH}} * PE_{\text{NaOH}}$$

$$g = 0,015 \text{ L} * 0,1 \text{ N} * 40 \text{ g}$$

$$g = 0,06 \text{ g NaOH}$$

$$0,06 \text{ g NaOH} * \frac{204,23 \text{ g KHP}}{40 \text{ g NaOH}} = 0,306 \text{ KHP (se pesó 0,3057)}$$

- Cálculo de la normalidad verdadera del NaOH:

$$\text{Meqq A} = \text{Meqq B}$$

$$V \text{ base} * N \text{ base} = \frac{\text{mg ácido}}{\text{PE ácido}}$$

$$N = \frac{\text{mg (lo que pesé de KHP)}}{\text{PE PE KHP} \times V (\text{gotas NaOH})}$$

$$N = \frac{305,7 \text{ mg KHP}}{\frac{204,23 \text{ g}}{\text{eqq}} \text{KHP} \times 14,5 \text{ ml (NaOH)}}$$

$$N = 0,1032 \text{ N (Concentración NaOH)}$$

- ❖ 90 mililitros de fenolftaleína al 1%
  - Se disolvió 1 gramo de fenolftaleína sólida en 100 mililitros de etanol.
- ❖ 450 mililitros de alcohol neutralizado a la fenolftaleína
  - Se colocaron de 4 a 6 gotas de fenolftaleína por cada 25 mililitros de alcohol neutro.

#### 12.4.2 Índice de peróxido

- ❖ 450 mililitros de agua destilada.
- ❖ 450 mililitros de ácido acético/cloroformo ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$  60% -  $\text{CHCl}_3$  40%)
  - Se mezclaron 60 mililitros de ácido acético y 40 mililitros de cloroformo.
- ❖ 9 mililitros yoduro de potasio (KI)

- Se mezclaron 3 gramos de yoduro de potasio en 4 gramos de agua destilada caliente a 30°C.

❖ 9 mililitros de solución indicadora de almidón (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)

- Se pesaron 2 gramos de almidón y se mezclan en 4 gramos de agua destilada caliente a 30°C.

❖ 25 mililitros de tiosulfato de sodio 0,01 N (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 5 H<sub>2</sub>O)

- Procedimiento para la preparación y estandarización del tiosulfato de sodio 0,01 N.

Una solución 0,01 N se preparó disolviendo 25 gramos de tiosulfato de sodio cristalizado en agua. Luego, se aforó en un matraz de 1 litro homogenizando la solución. El tiosulfato de sodio 0,01 N se estandarizó con yodato de potasio (KIO<sub>3</sub>), para esto, se pesaron 0,015 gramos de yodato de potasio y se disolvieron en 25 ml de agua destilada. Luego, se agregaron 0,2 gramos de yoduro de potasio libre de yodato y 5 ml de ácido sulfúrico 2 N. Posteriormente se procedió a titular, se tituló el yodo liberado con la solución de tiosulfato, agitando continuamente. Cuando el color de la solución es amarillo pálido, se diluye a unos 200 ml con agua destilada, luego se agrega 2 ml de la solución de almidón y se continúa titulando hasta que el color cambie de azul a incoloro. A continuación, se muestra la reacción de estandarización del tiosulfato de sodio.

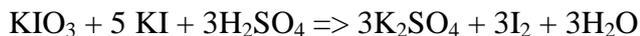
- Cálculo para la preparación de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01 N:

$$g \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * 5\text{H}_2\text{O} = V_{\text{preparación}} \times N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * 5 \text{H}_2\text{O}} \times PE_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * 5 \text{H}_2\text{O}}$$

$$g = 0,25 \text{ L} * 0,01 \text{ N} * (248,20 \text{ g})$$

$$g = 0,6205 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * 5 \text{ H}_2\text{O} \text{ (Se afora a 250 ml)}$$

- Reacción de estandarización:



1 ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  N  $\approx$  0.03567 g de  $\text{KIO}_3$

(Vogel, 1980)

$$g_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V_{\text{titulable}} * N_{\text{KIO}_3} * PE_{\text{KIO}_3}$$

$$g = 0,040 \text{ L} * 0,01 \text{ N} * 35,67 \text{ g KIO}_3$$

$$g = 0,014268 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

$$0,014268 \text{ g H}_2\text{SO}_4 * \frac{214 \text{ g KIO}_3}{294,24 \text{ g H}_2\text{SO}_4} = 0,0104 \text{ g KIO}_3 \text{ (se pesó } 0,0158 \text{ g)}$$

$$g_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V_{\text{titulable}} * N_{\text{KI}} * PE_{\text{KI}}$$

$$g = 0,040 \text{ L} * 0,01 \text{ N} * 166 \text{ g KI}$$

$$g = 0,0664 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

$$0,0664 \text{ g H}_2\text{SO}_4 * \frac{830 \text{ g KI}}{294,24 \text{ g H}_2\text{SO}_4} = 0,1873 \text{ g KI (se pesó } 0,2020 \text{ g)}$$

Cálculo de la normalidad verdadera del  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ :

$$\text{Meqq A} = \text{Meqq B}$$

$$N = \frac{\text{mg (lo que pesé de KIO}_3)}{\text{PE PE KIO}_3 \times V \text{ (gotas Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}$$

$$N = \frac{15,8 \text{ mg KIO}_3}{35,67 \text{ g KIO}_3 \times 41,6 \text{ ml Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

$$N = 0,01065 \text{ N (Concentración Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$$

- Preparación y estandarización de  $H_2SO_4$  2N:

$$V_{H_2SO_4} = \frac{V_{preparación} * N_{H_2SO_4} * PE_{H_2SO_4} * 100\%}{\% \text{ riqueza} * \text{densidad (g/ml)}}$$

$$V = \frac{0.01 \text{ L} * 2 \text{ N} * 49 \text{ g} * 100\%}{96 \% * 1.8355 \text{ (g/ml)}}$$

$$V = 1.02 \text{ g de } H_2SO_4 \text{ (se afora a 10 ml)}$$

Reacción de estandarización:



$$g_{H_2SO_4} = V_{titulable} * N_{H_2SO_4} * PE_{H_2SO_4}$$

$$g = 0,005 \text{ L} * 2 \text{ N} * (49 \text{ g})$$

$$g = 0,49 \text{ g } H_2SO_4$$

$$0,49 \text{ g } H_2SO_4 * \frac{106,53 \text{ g } Na_2CO_3}{98,08 \text{ g } H_2SO_4} = 0,5322 \text{ g } Na_2CO_3 \text{ (se pesó 0,5377 g)}$$

Cálculo de la normalidad verdadera del  $H_2SO_4$ :

$$Meqq \text{ A} = Meqq \text{ B}$$

$$N = \frac{\text{mg (lo que pesé de } Na_2CO_3)}{PE \text{ } Na_2CO_3 \times V \text{ (gotas } H_2SO_4)}$$

$$N = \frac{537,7 \text{ mg } Na_2CO_3}{53 \text{ g } Na_2CO_3 \times 4,2 \text{ ml } H_2SO_4}$$

$$N = 2,42 \text{ N (Concentración } H_2SO_4)$$

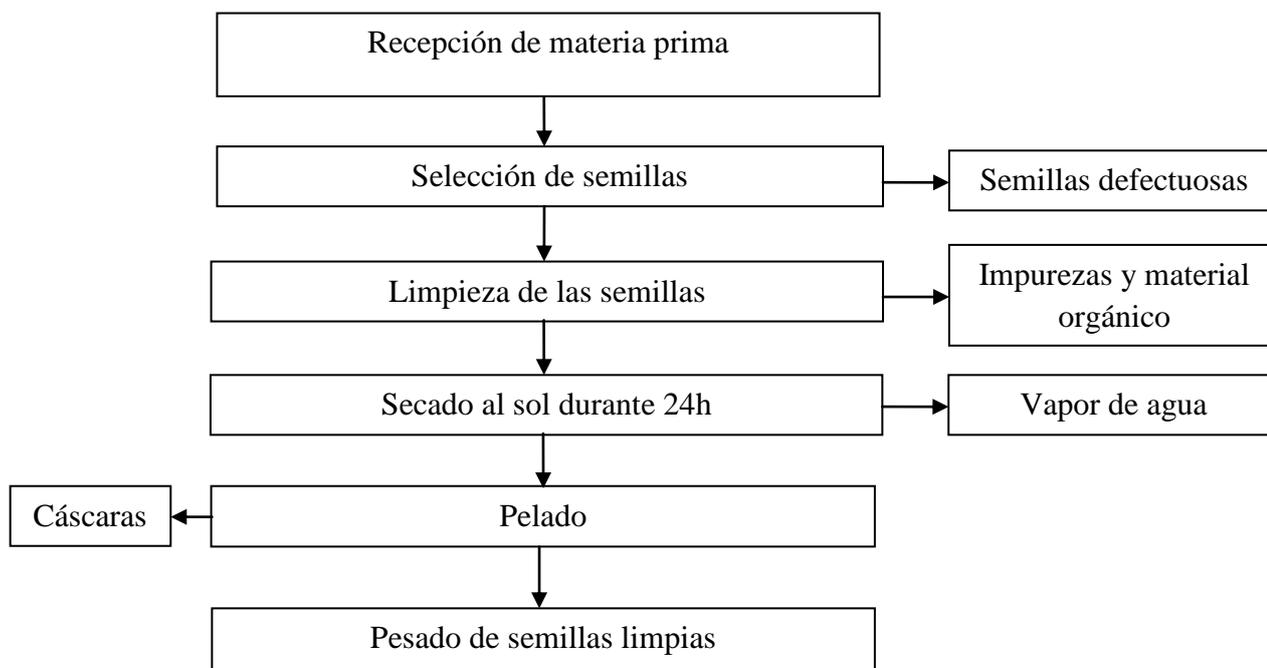
### 12.4.3 Perfil de ácidos grasos

- ❖ 15 ml hidróxido de potasio metanólico
  - KOH (potasio hidróxido) + CH<sub>4</sub>O (Alcohol metílico)
  - $g \text{ KOH} = V_{\text{preparación}} \times N_{\text{KOH}} \times PE_{\text{KOH}} \times 100 + \text{CH}_4\text{O}$
- ❖ 4 ml trifluoruro de boro
  - El BF<sub>3</sub> es fabricado por la reacción de los óxidos de boro con el fluoruro de hidrógeno:  $\text{B}_2\text{O}_3 + 6\text{HF} \rightarrow 2 \text{BH}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$
- ❖ 10 ml Hexano
  - C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> (listo para usar).
- ❖ 20 ml Solución salina
  - Cloruro de sodio (NaCl) al 0.9% p/V en agua destilada

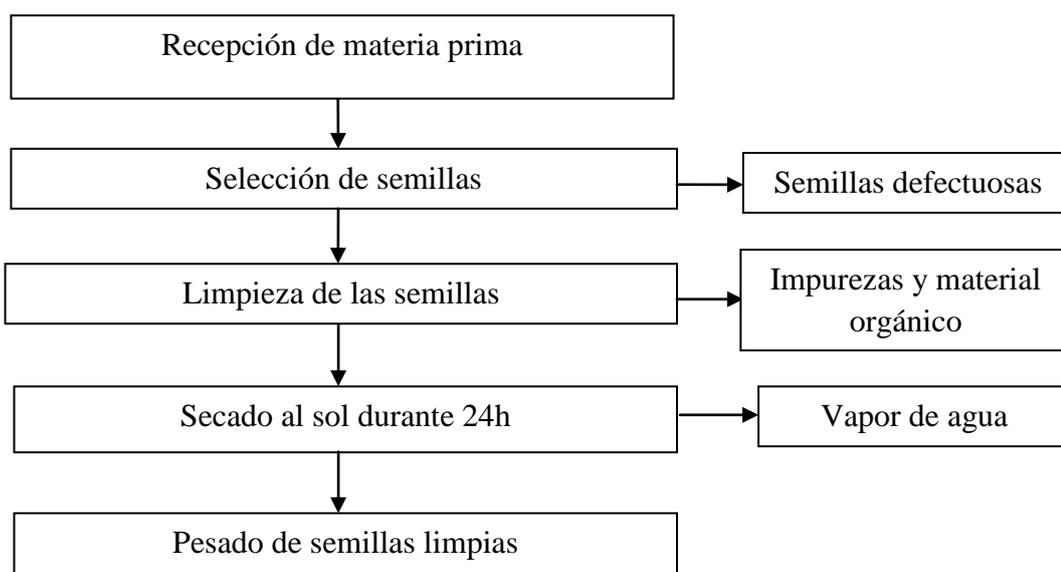
## 12.5 Diagramas de flujo

### 12.5.1 Pre-tratamientos

#### Sacha inchi

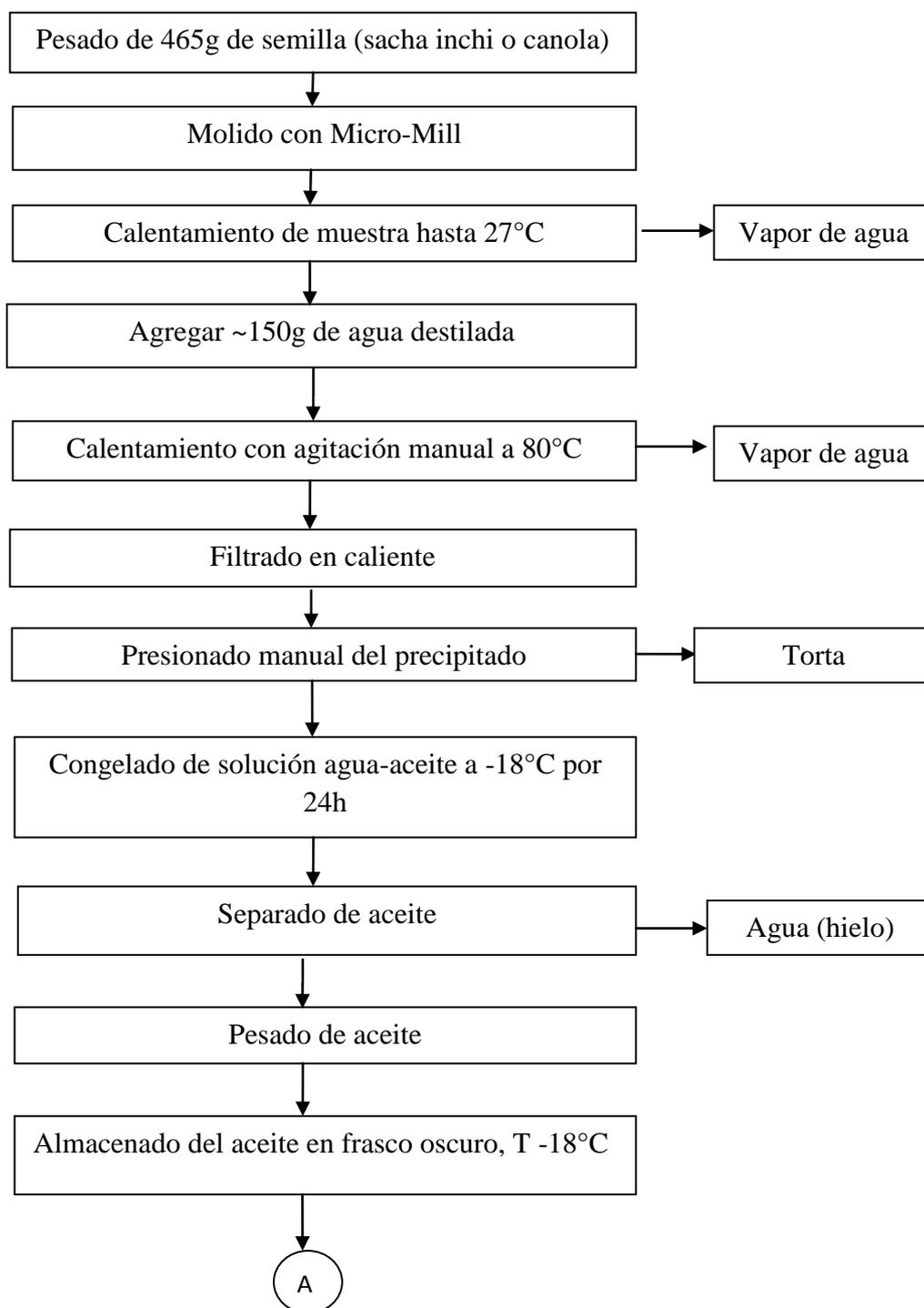


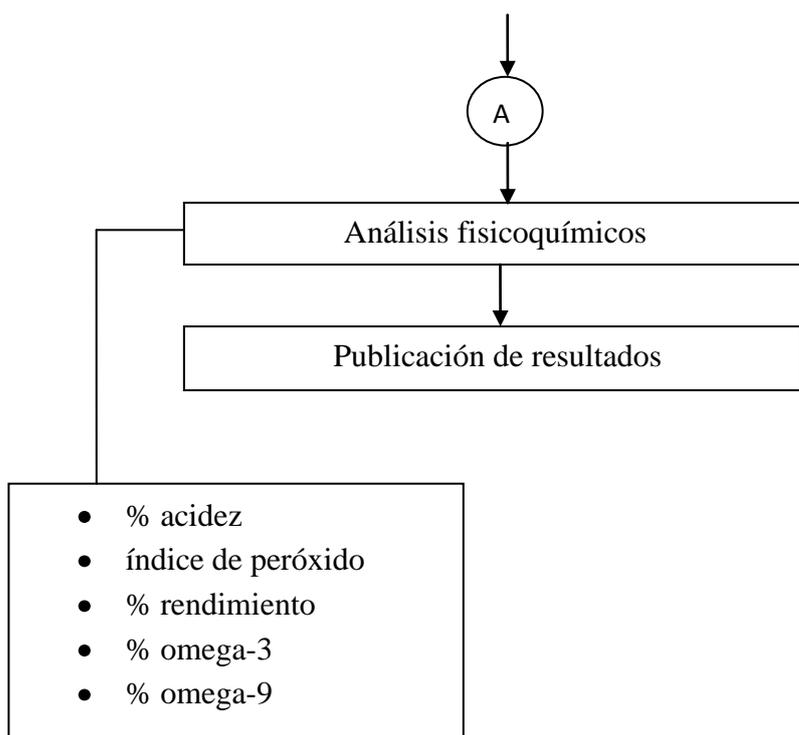
#### Canola



### 12.5.2 Método de digestión mecánica

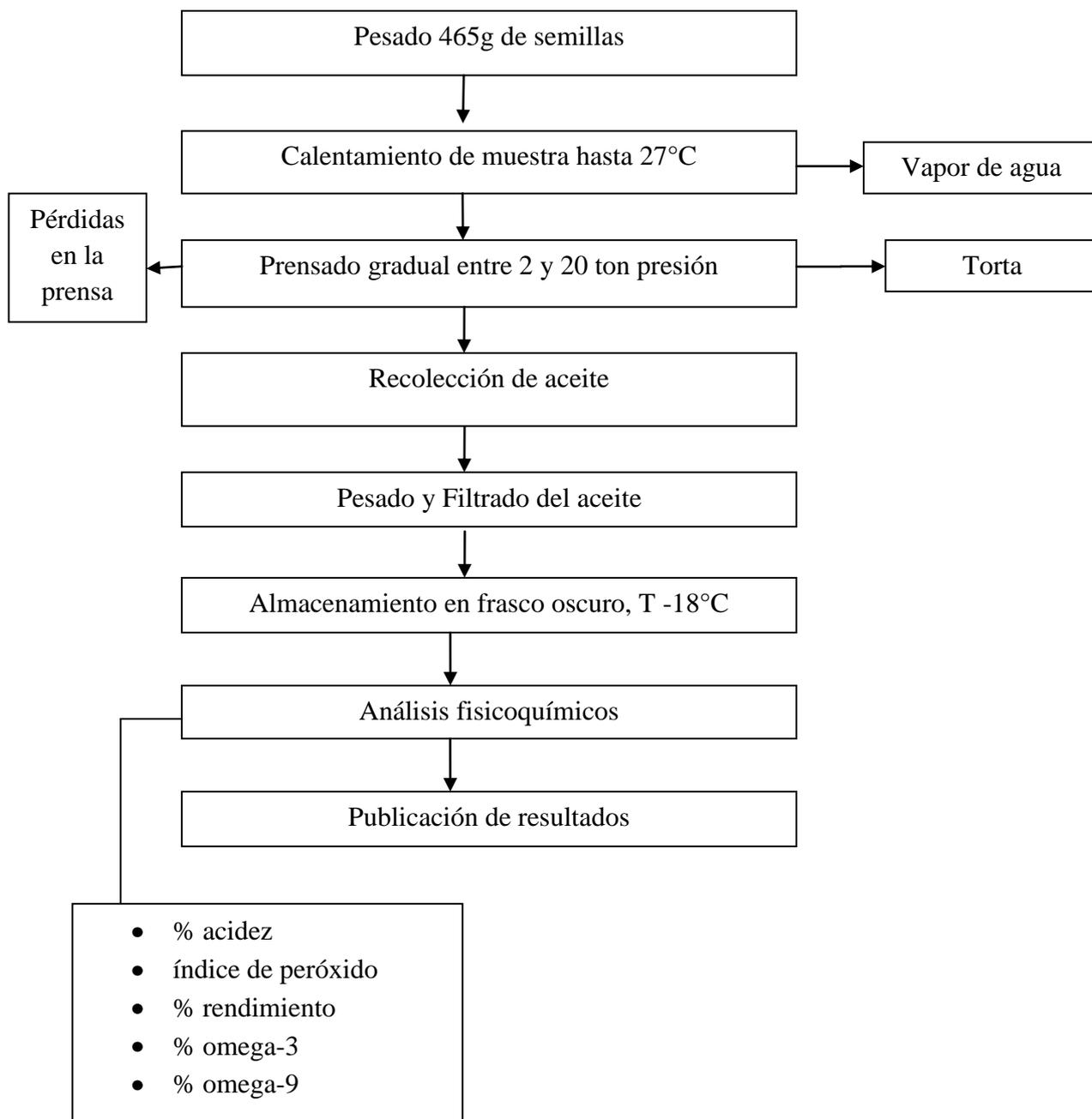
“Proceso de extracción de aceite por digestión mecánica”





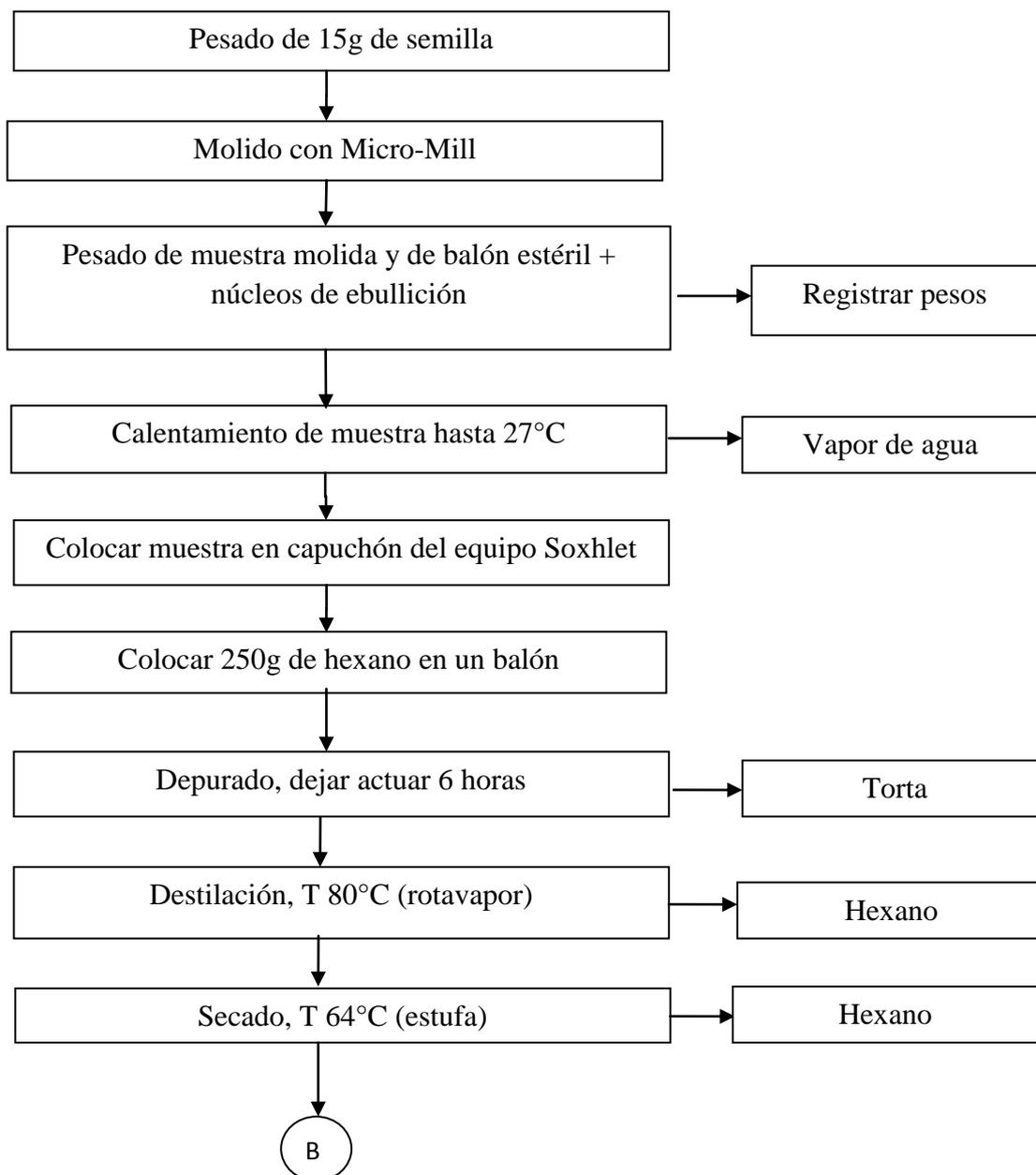
### 12.5.3 Método de prensado en frío

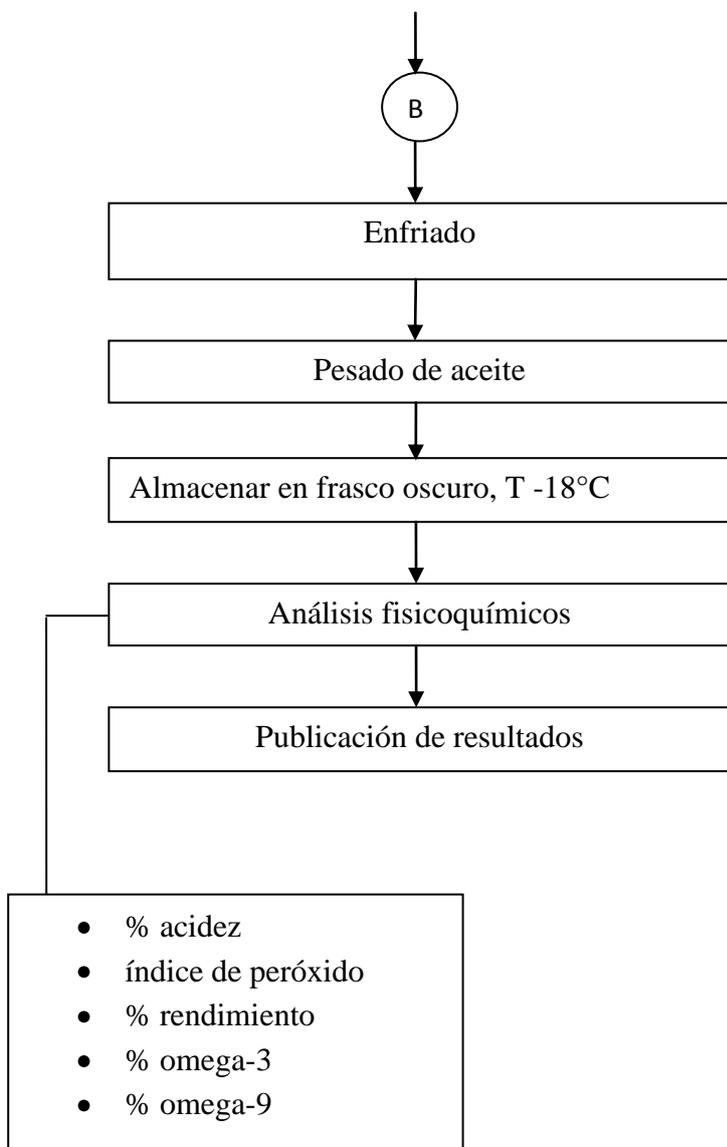
“Proceso de extracción de aceite por digestión mecánica”



### 12.5.4 Método de solventes orgánicos

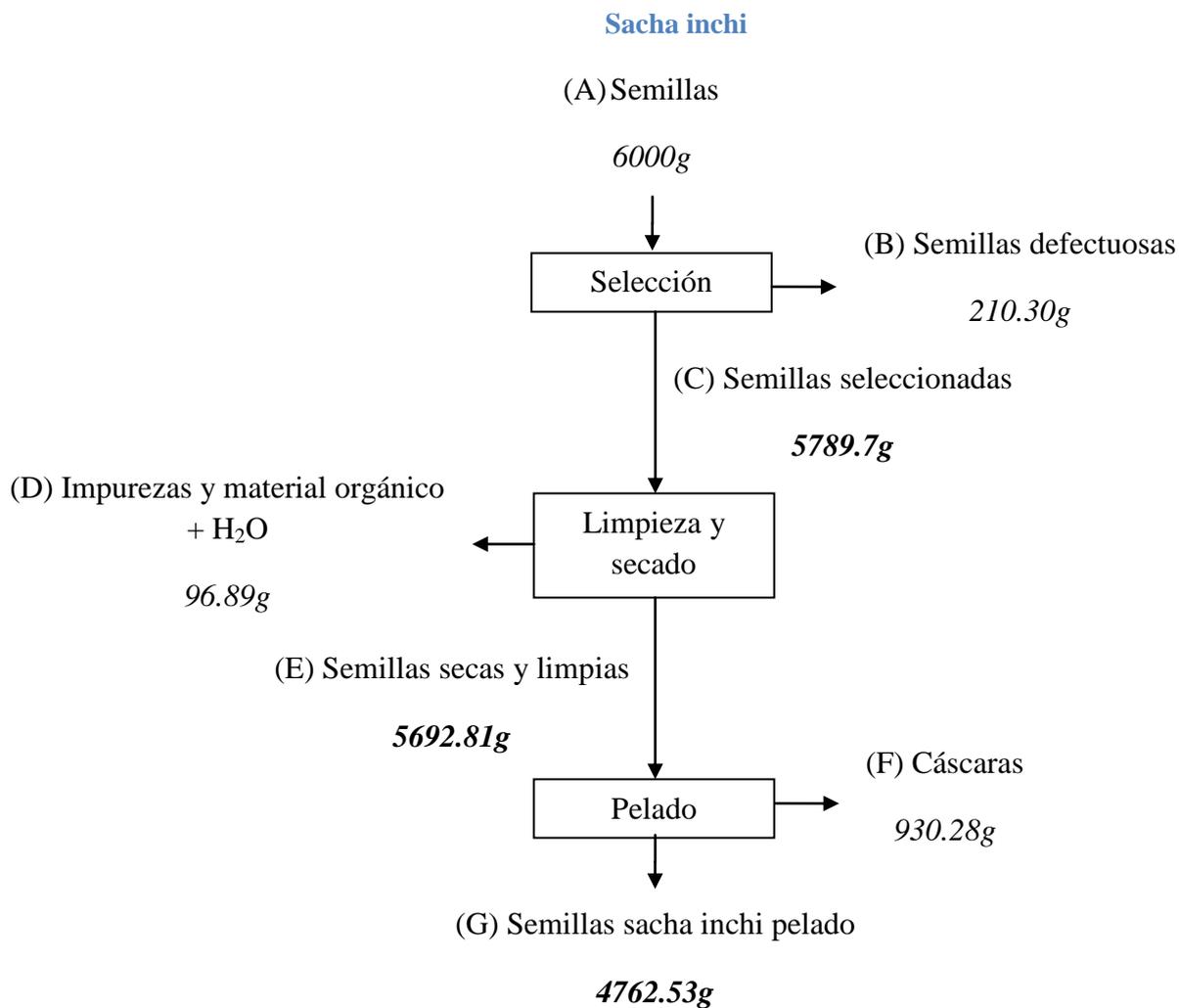
“Proceso de extracción de aceite por solvente orgánico (hexano)”





## 12.6 Balance de materiales

### 12.6.1 Pre-tratamiento



Balance de masa Selección

$$A = B + C$$

$$6000\text{g} = 210.30\text{g} + C$$

$$C = 5789.7\text{g semillas seleccionadas}$$

Balance de masa Limpieza y secado

$$C = D + E$$

$$5789.7\text{g} = 96.89\text{g} + E$$

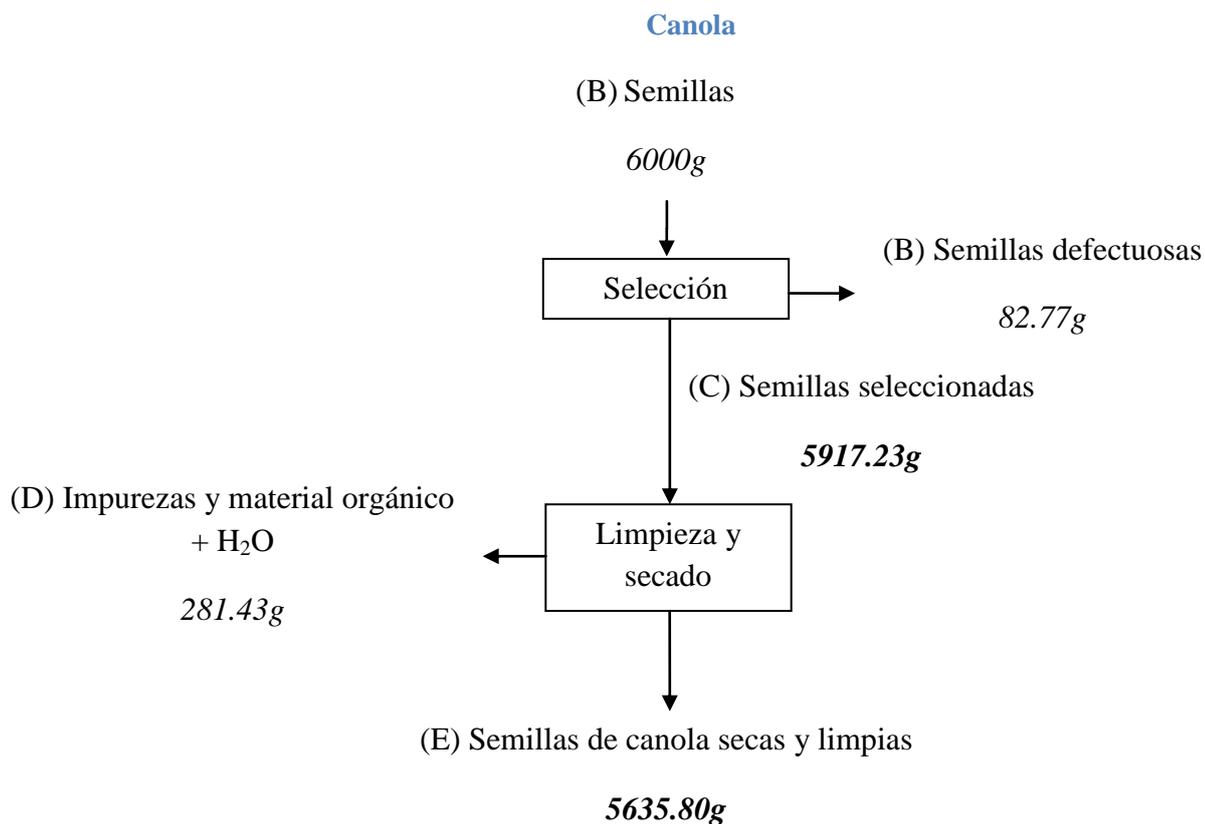
$$E = 5692.81\text{g semillas secas y limpias}$$

Balance de masa Pelado

$$E = F + G$$

$$5692.81\text{g} = 930.28\text{g} + G$$

$$G = 4762.53\text{g semillas sacha inchi pelado}$$



Balance de masa Selección

$$A = B + C$$

$$6000\text{g} = 82.77\text{g} + C$$

$$C = 5917.23\text{g semillas seleccionadas}$$

Balance de masa Limpieza y secado

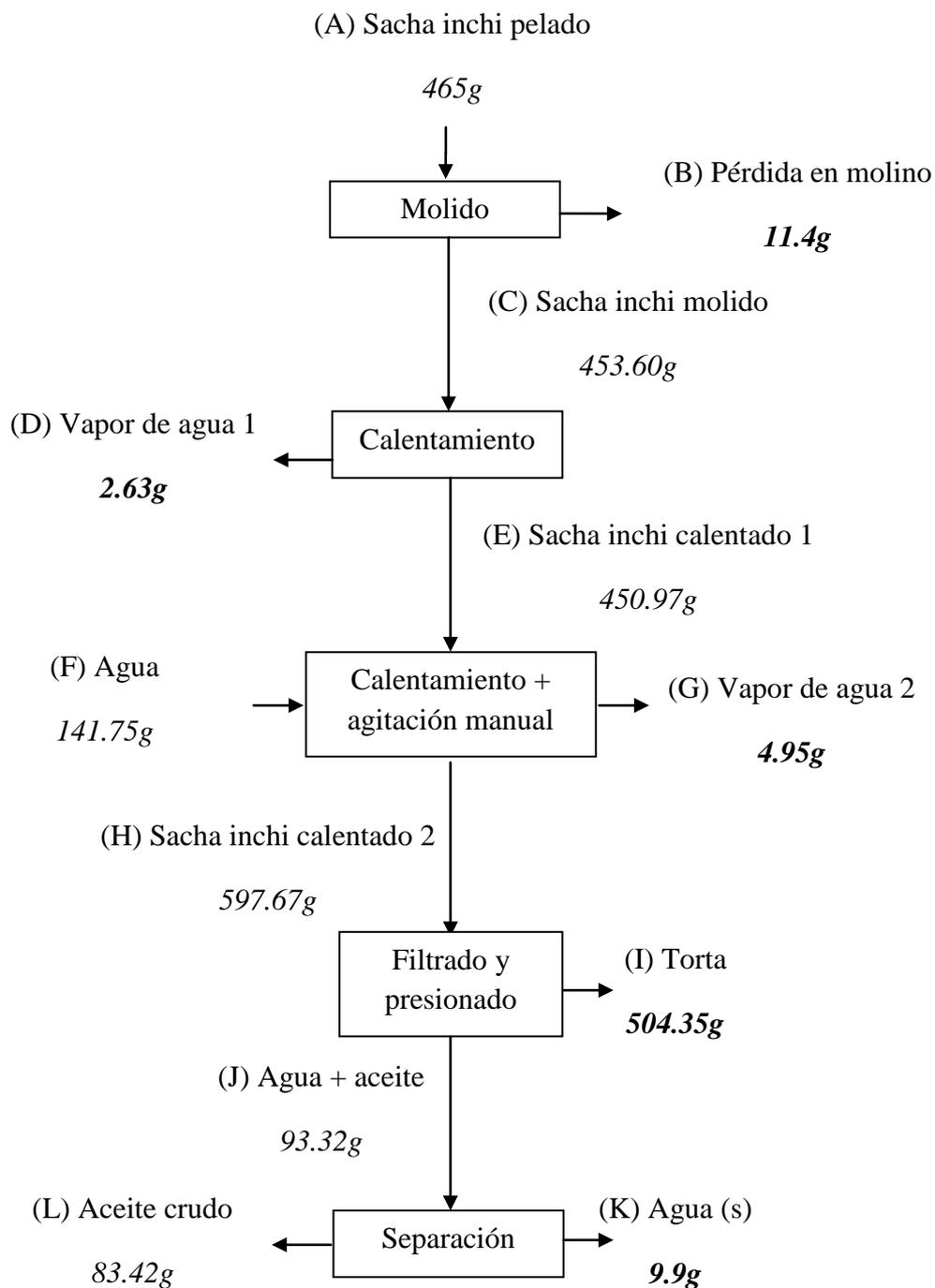
$$C = D + E$$

$$5917.23\text{g} = 281.43\text{g} + E$$

$$E = 5635.80\text{g semillas de canola secas y limpias}$$

## 12.6.2 Digestión mecánica

### Sacha inchi



Balance de masa <sub>Molido</sub>

$$A = B + C$$

$$465\text{g} = B + 453.6\text{g}$$

***B = 11.4g pérdida en molino***

Balance de masa <sub>Calentamiento</sub>

$$C = D + E$$

$$453.60\text{g} = D + 450.97\text{g}$$

***D = 2.63g vapor de agua 1***

Balance de masa <sub>Calentamiento + agitación manual</sub>

$$E + F = G + H$$

$$450.97\text{g} + 141.75\text{g} = G + 597.67\text{g}$$

***G = 4.95g vapor de agua 2***

Balance de masa <sub>filtrado y presionado</sub>

$$G = I + J$$

$$597.67\text{g} = I + 93.32\text{g}$$

***I = 504.35g torta***

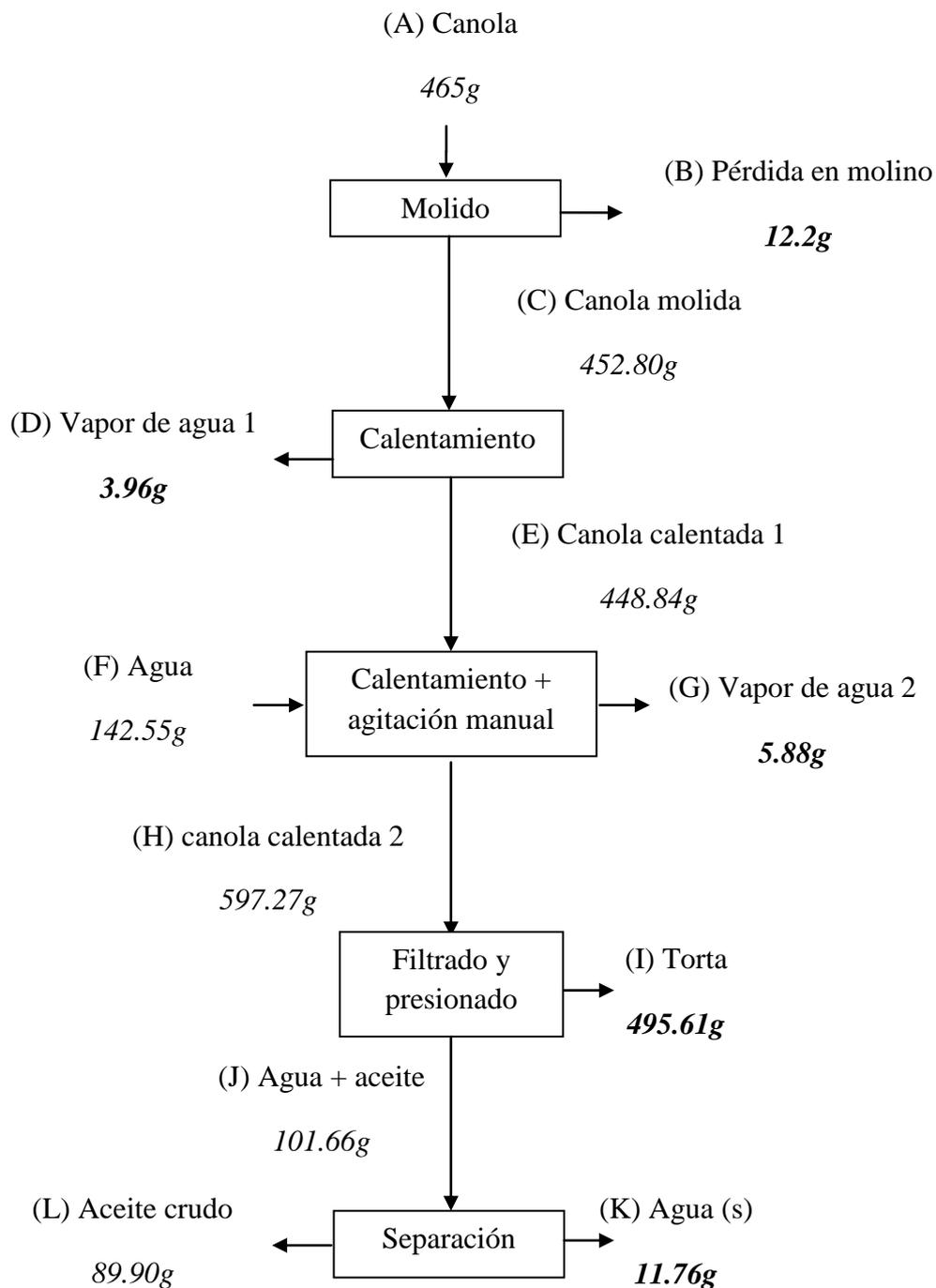
Balance de masa <sub>separación</sub>

$$J = K + L$$

$$93.32\text{g} = K + 83.42\text{g}$$

***K = 9.9g Agua (s)***

## Canola



Balance de masa Molido

$$A = B + C$$

$$465\text{g} = B + 452.8\text{g}$$

***B = 12.2g pérdida en molino***

Balance de masa Calentamiento

$$C = D + E$$

$$452.80\text{g} = D + 448.84\text{g}$$

***D = 3.96g vapor de agua 1***

Balance de masa Calentamiento + agitación manual

$$E + F = G + H$$

$$448.84\text{g} + 142.55\text{g} = G + 597.27\text{g}$$

***G = 5.88g vapor de agua 2***

Balance de masa filtrado y presionado

$$G = I + J$$

$$597.27\text{g} = I + 101.66\text{g}$$

***I = 495.61g torta***

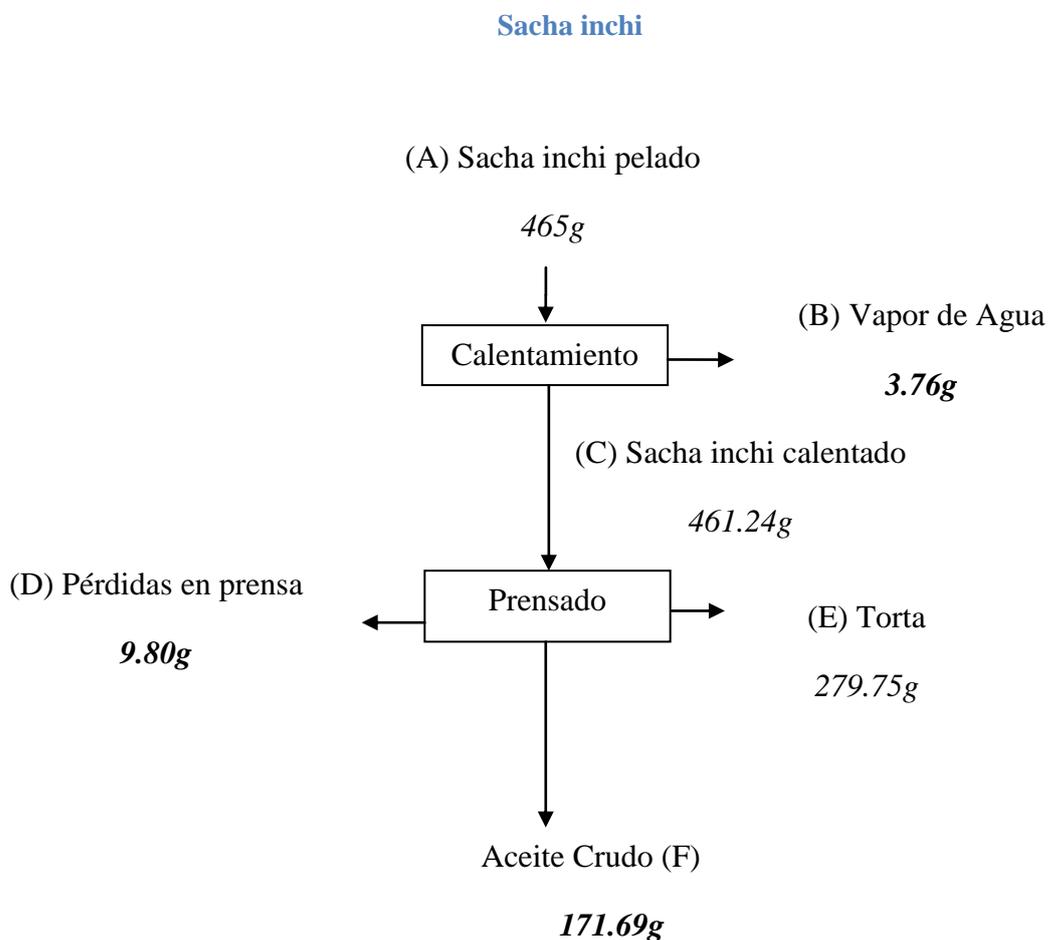
Balance de masa separación

$$J = K + L$$

$$101.66\text{g} = K + 89.90\text{g}$$

***K = 11,76g Agua (s)***

### 12.6.3 Prensado en frío



Balance de masa <sub>Calentamiento</sub>

$$A = B + C$$

$$465\text{g} = B + 461.24\text{g}$$

$$B = 3.76\text{g vapor de agua}$$

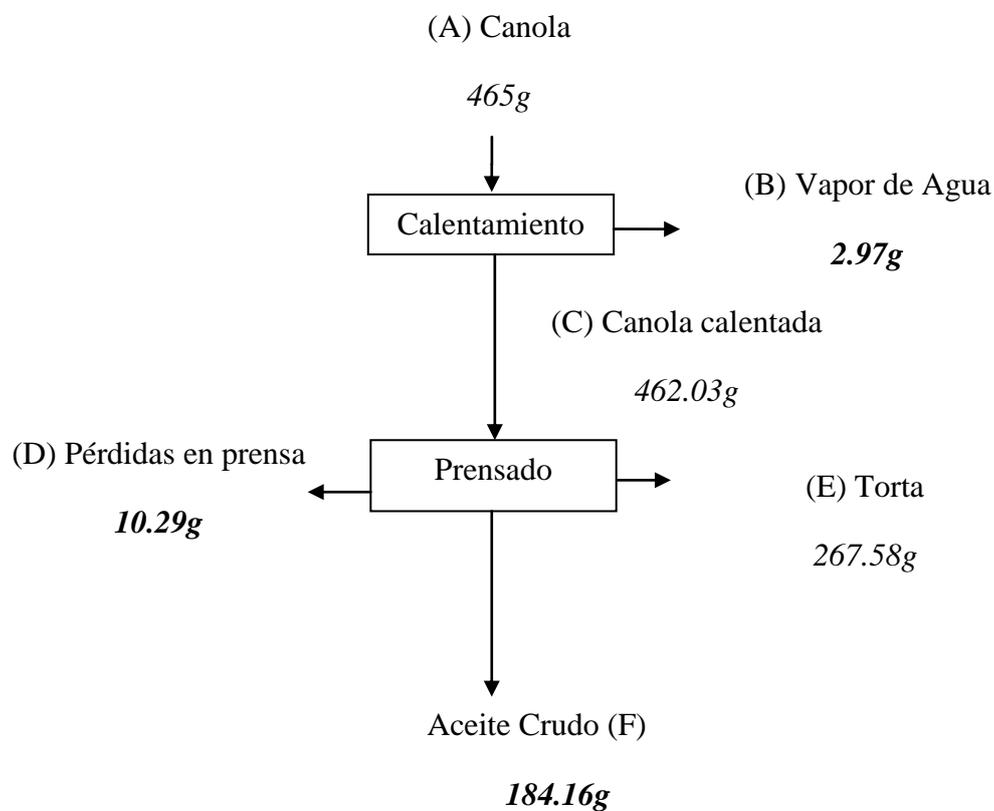
Balance de masa <sub>Prensado</sub>

$$C = D + E + F$$

$$461.24\text{g} = D + 279.75\text{g} + 171.69\text{g}$$

$$D = 9.80\text{g pérdida en prensa}$$

## Canola



Balance de masa <sub>Calentamiento</sub>

$$A = B + C$$

$$465\text{g} = B + 462.03\text{g}$$

$$B = 2.97\text{g vapor de agua}$$

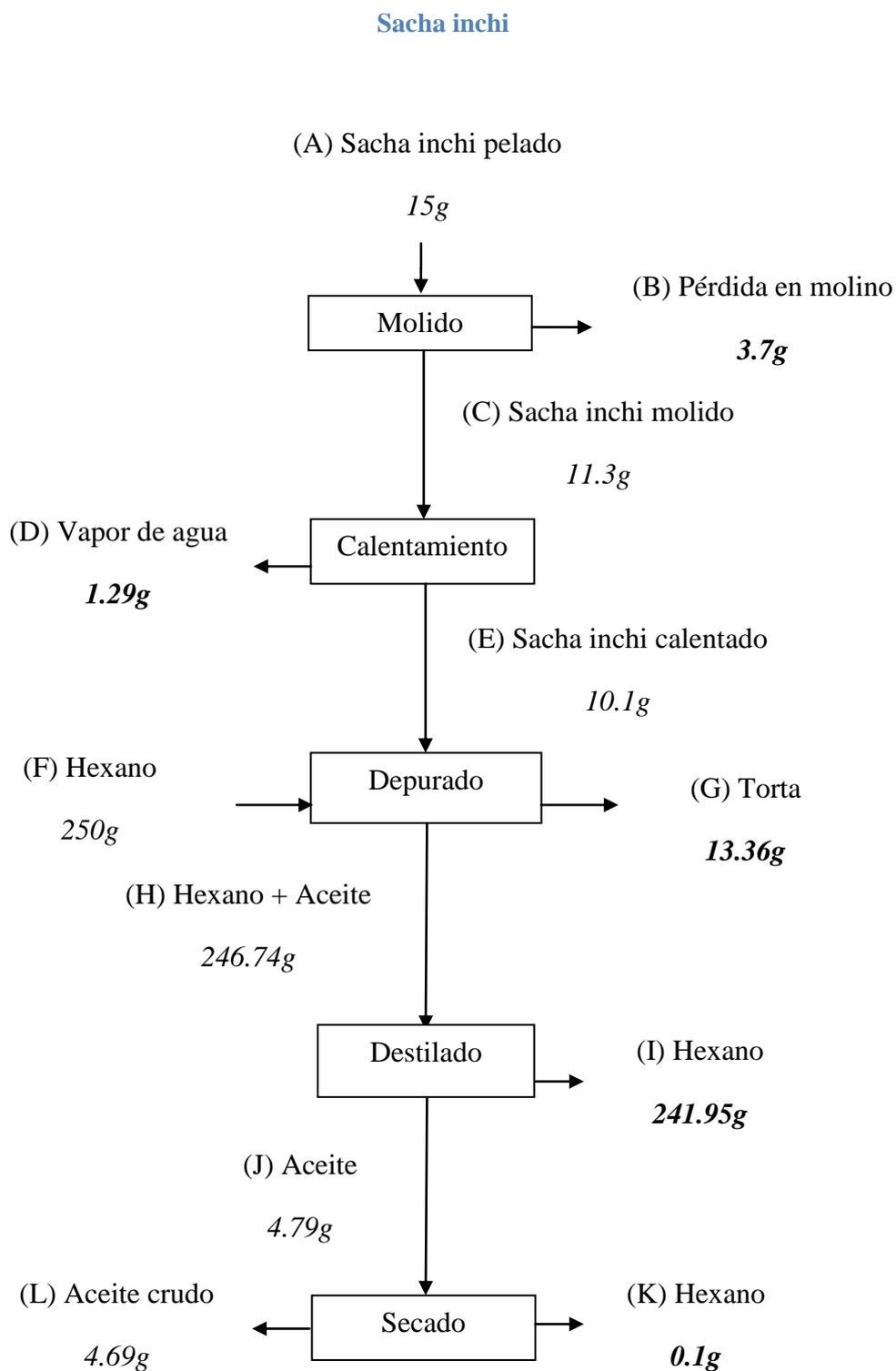
Balance de masa <sub>Prensado</sub>

$$C = D + E + F$$

$$462.03\text{g} = D + 267.58\text{g} + 184.16\text{g}$$

$$D = 10.29\text{g pérdida en prensa}$$

### 12.6.4 Solventes orgánicos



Balance de masa <sub>Molido</sub>

$$A = B + C$$

$$15\text{g} = B + 11.3\text{g}$$

***B = 3.7g pérdida en molino***

Balance de masa <sub>Calentamiento</sub>

$$C = D + E$$

$$11.3\text{g} = D + 10.1\text{g}$$

***D = 1.29g vapor de agua***

Balance de masa <sub>Destilado</sub>

$$H = I + J$$

$$246.74\text{g} = I + 4.79\text{g}$$

***I = 241.95g hexano***

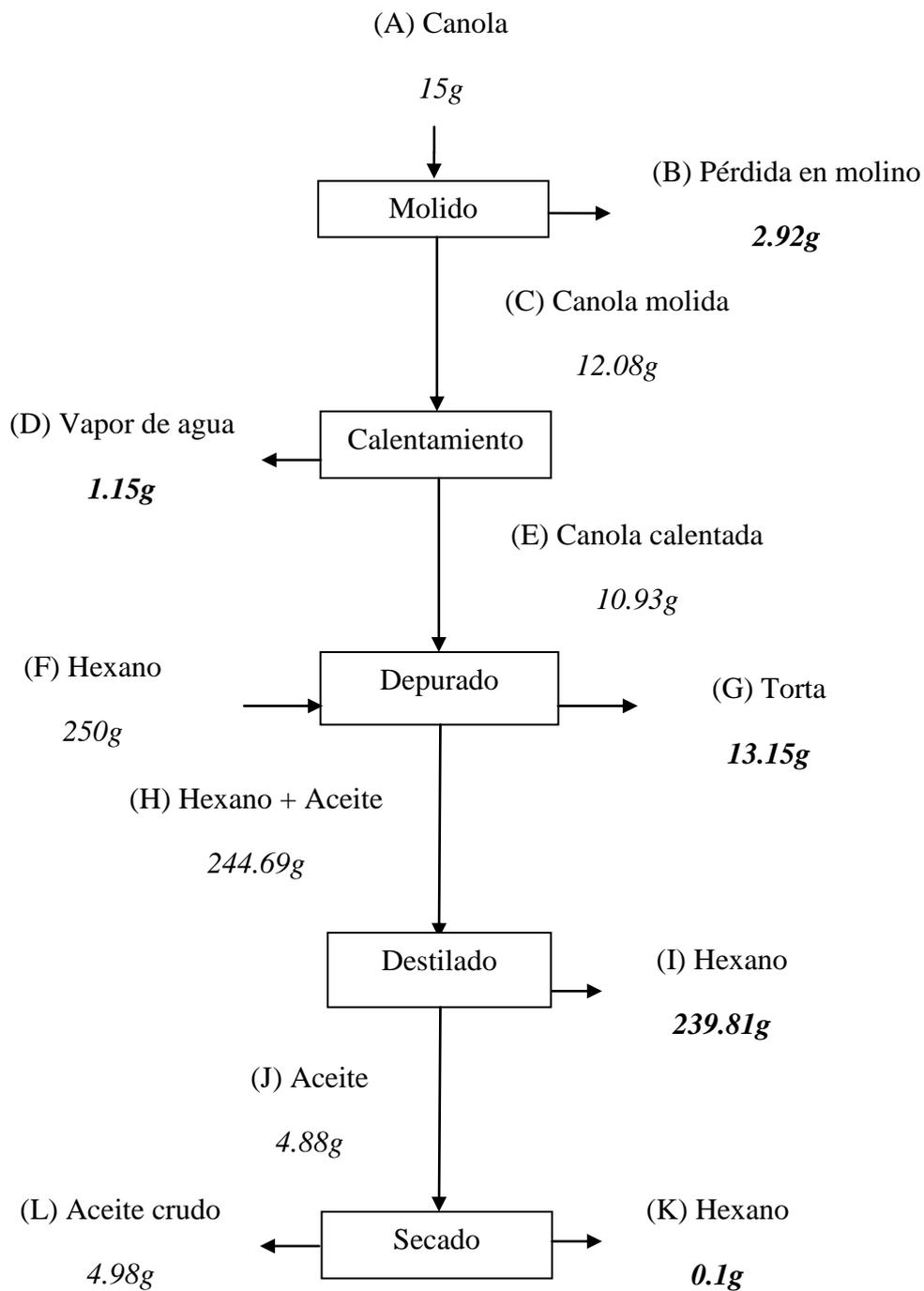
Balance de masa <sub>Secado</sub>

$$J = K + L$$

$$4.79\text{g} = K + 4.69\text{g}$$

***K = 0.10g hexano***

### Canola



Balance de masa <sub>Molido</sub>

$$A = B + C$$

$$15\text{g} = B + 12.08\text{g}$$

***B = 2.92g pérdida en molino***

Balance de masa <sub>Calentamiento</sub>

$$C = D + E$$

$$12.08\text{g} = D + 10.93\text{g}$$

***D = 1.15g vapor de agua***

Balance de masa <sub>Destilado</sub>

$$H = I + J$$

$$244.69\text{g} = I + 4.88\text{g}$$

***I = 239.81g hexano***

Balance de masa <sub>Secado</sub>

$$J = K + L$$

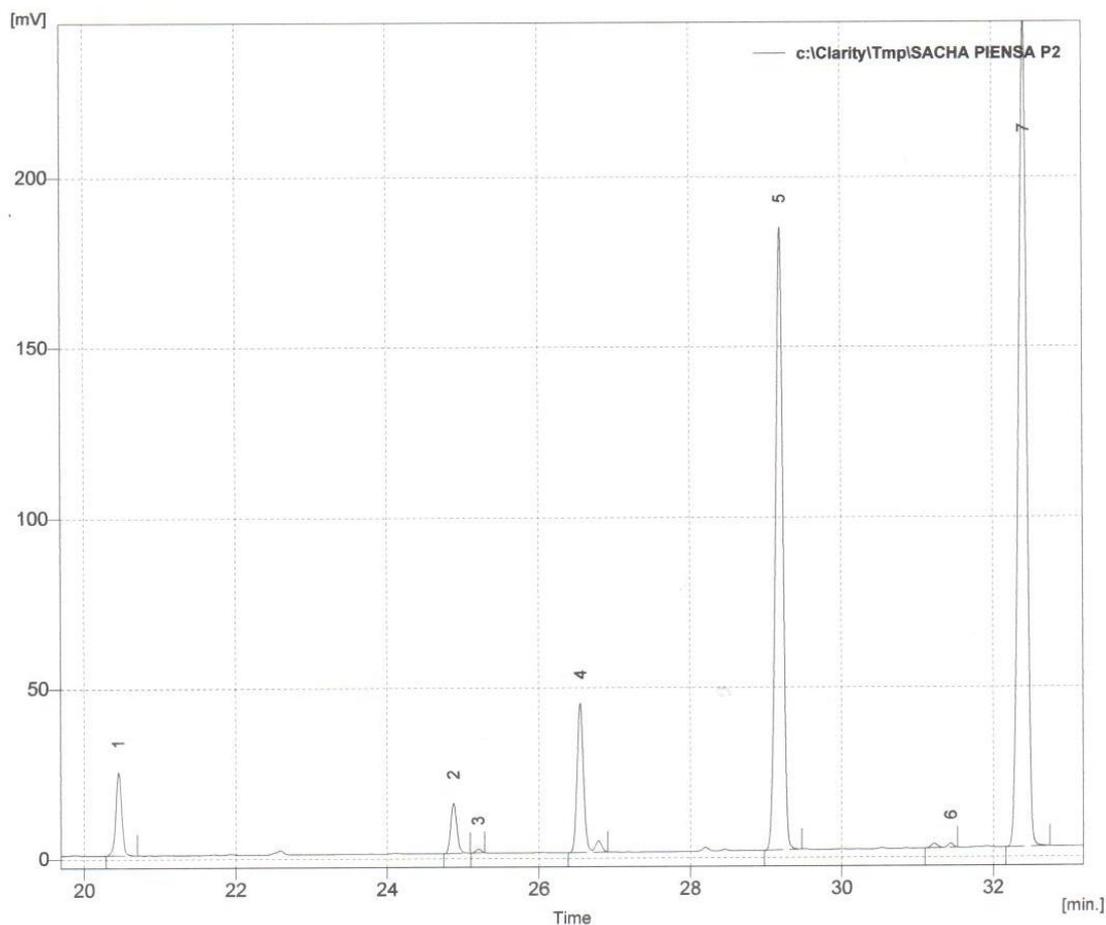
$$4.88\text{g} = K + 4.98\text{g}$$

***K = 0.10g hexano***

## **12.7 Perfil de ácidos grasos**

### **12.7.1 Cromatografía de gases del aceite de sachá inchi y de canola extraído por prensado en frío**

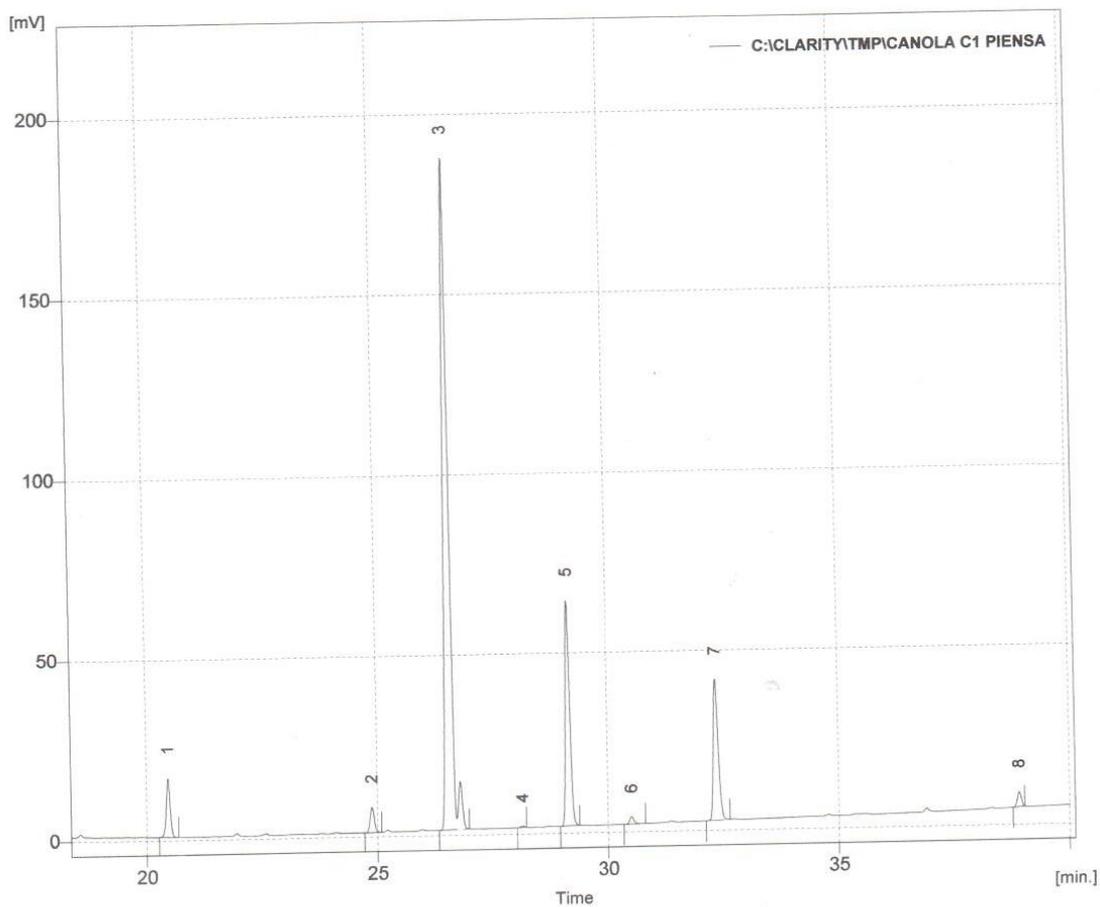
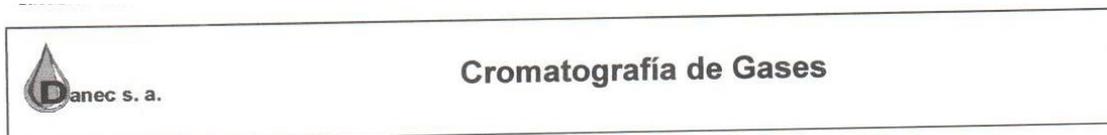
## Ilustración 7 Cromatografía de gases del aceite de sachá inchi



Result Table (Uncal - c:\Clarity\Tmp\SACHA PIENSA P2)

	Reten. Time [min]	Area [mV.s]	Height [mV]	Area [%]	Height [%]	W05 [min]
1	20,46	65,70	12,30	3,66	4,8	0,08
2	24,87	41,77	7,40	2,33	2,9	0,09
3	25,20	2,86	0,57	0,16	0,2	0,08
4	26,55	138,92	21,96	7,75	8,5	0,09
5	29,20	616,31	91,43	34,37	35,5	0,11
6	31,44	7,08	0,64	0,40	0,2	0,08
7	32,42	920,26	122,92	51,33	47,8	0,12
	Total	1792,92	257,24	100,00	100,0	

## Ilustración 8 Cromatografía de gases del aceite de canola



Result Table (Uncal - C:\CLARITY\TMP\CANOLA C1 PIENSA)

	Reten. Time [min]	Area [mV.s]	Height [mV]	Area [%]	Height [%]	W05 [min]
1	20.47	49,92	8,22	4,23	5,2	0,10
2	24,88	22,55	3,57	1,91	2,2	0,10
3	26,61	739,70	93,23	62,62	58,5	0,12
4	28,14	1,16	0,21	0,10	0,1	0,09
5	29,15	203,89	31,31	17,26	19,7	0,11
6	30,50	6,98	1,06	0,59	0,7	0,10
7	32,35	144,56	19,61	12,24	12,3	0,12
8	38,91	12,43	2,04	1,05	1,3	0,10
	Total	1181,17	159,25	100,00	100,0	

## 12.7.2 Resultados de cromatografía de gases

**Tabla 52 Perfil de ácidos grasos totales del sachá inchi (prensado en frío)**

# Pico	Acido graso	Área %
Pico 1	C16:0 palmítico	3.66
Pico 2	C18:0 esteárico	2.33
Pico3	Impurezas	0.16
Pico 4	C18:1 oleico	7.75
Pico 5	C18:2 linoléico	34.37
Pico6	Impurezas	0.40
Pico 7	C18:3 linolénico	51.33
---	---	Total 100%

**Tabla 53 Perfil de ácidos grasos totales de la canola (prensado en frío)**

# Pico	Acido graso	Área %
Pico 1	C16:0 palmítico	4.53
Pico 2	C18:0 esteárico	1.93
Pico3	C18:1 oleico	62.62
Pico 4	Impurezas	0.10
Pico 5	C18:2 linoléico	17.96
Pico6	Impurezas	0.59
Pico 7	C18:3 linolénico	12.24
Pico 8	Impurezas	1.05
---	---	Total: 100%

### 12.8 Fotos

#### TRATAMIENTO DE SEMILLAS

Figura1: semillas de sachu inchi



Figura 2: Pelado de las semillas de sachu inchi



Figura 3: semilla pelada de sachu inchi



Figura 4: semilla molida de sachu inchi



Figura: 5 semillas de canola



Figura 6: selección de semillas de canola



**Figura 7: semilla canola, eliminación de impurezas**



**Figura 8: semilla molida de canola**



## MÉTODO DE DIGESTIÓN MECÁNICA

**Figura 9: calentamiento de las semillas**



**Figura 10: agitación constante de las semillas**



**Figura 11: lavado con nylon**



**Figura 12: filtrado**



**Figura 13: separación del hielo**



**Figura 14: congelado y separación del aceite**



## MÉTODO DE PENSADO EN FRÍO

**Figura 15: prensa manual**



**Figura 16: torta resultante**



**Figura 17: filtrado y pesado del aceite**



**Figura 18: almacenamiento**



## MÉTODO DE SOLVENTES ORGÁNICOS

Figura 19: armado del equipo Soxhlet



Figura 20: equipo Soxhlet



Figura 21: almacenamiento



## DISEÑO EXPERIMENTAL

Figura 22: 18 tratamientos: de izquierda a derecha: solventes orgánicos, prensado en frío y digestión mecánica.



Figura 23: sachá inchi y canola (digestión mecánica)



Figura 24: sachá inchi y canola (prensado en frío)



Figura 25: sachá inchi y canola (solventes orgánicos)



**Figura 26: cromatógrafo de gases (Hewlett Packard modelo 5890 Series II)**



