

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“CONDICIONES FAVORABLES PARA LA
EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LINAZA (*Linum
Usitatissimum*) EN UN EQUIPO SOXHLET
MODIFICADO”**

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

Bach. CONDORI CALLATA, VÍCTOR RAÚL

Bach. MATEO LOVO, ELIZABETH ROCÍO

Callao, Junio 2018

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por la señorita Bachiller **MATEO LOVO ELIZABETH ROCIO** y el señor Bachiller **CONDORI CALLATA VICTOR RAUL** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

ING° JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	PRESIDENTE
ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA	SECRETARIO
ING° CARMEN MABEL LUNA CHAVEZ	VOCAL
ING° ÓSCAR JUAN RODRIGUEZ TARANCO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 2 de Tesis sin Ciclo de Tesis Folio N° 109 y Acta N° 292 de fecha **VEINTINUEVE DE MAYO DE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 135-2017-CU de fecha 22 de junio de 2017 y modificado por Resolución N° 631-2017-R de fecha 24 de julio de 2017

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1 Identificación del problema.....	9
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Objetivos de la investigación.....	10
1.4 Justificación.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Antecedentes de estudio.....	12
2.2 Bases teóricas.....	15
2.2.1 La linaza.....	15
2.2.2 Características físicas y químicas de la semilla de Linaza.....	17
2.2.3 Aceite de linaza.....	18
2.2.4 Características físicas y químicas del aceite de linaza.....	20
2.2.5 Propiedades y aplicaciones del aceite de linaza.....	22
2.2.6 Métodos de obtención del aceite de linaza.....	23
2.2.7 Extracción solido-liquido o lixiviación.....	25
2.2.8 Extracción con el equipo Soxhlet.....	30
2.2.9 Disolventes usados en la extracción sólido-líquido.....	33
2.2.10 Características físicas y químicas del hexano.....	35
2.3 Definición de términos.....	37
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	38
3.1 Variables de la investigación.....	38
3.2 Operacionalización de variables.....	39
3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas.....	40
IV. METODOLOGÍA.....	41
4.1 Diseño de investigación.....	41
4.2 Población y muestra experimental.....	45
4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45

4.3.1 Técnicas para la recolección de datos	45
4.3.2 Instrumentos para la recolección de datos	45
4.4 Procedimiento de recolección de datos	47
4.5 Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	54
V. RESULTADOS	57
5.1 Resultados parciales	57
5.1.1 Humedad.....	57
5.1.2 Número de etapas y relación entre L de solvente/Kg de linaza.....	57
5.1.2 Rendimiento de las extracciones en el equipo Soxhlet.....	63
5.2 Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo soxhlet modificado	65
5.3 Calidad del aceite de linaza extraído	65
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados	66
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	66
VII. CONCLUSIONES.....	68
VIII. RECOMENDACIONES	69
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
X. ANEXOS.....	74
Anexo 1. Matriz de consistencia	75
Anexo 2. Certificado de análisis de hexano	76
Anexo 3. Gráficas de termoestabilidad del aceite de linaza.....	77
.....	77
Anexo 4. Método 9071 B	78
Anexo 5. Datos de la experimentación.....	82
Anexo 6. Análisis estadísticos de datos experimentales	99
Anexo 7. Norma mexicana NMX-F-066-SCFI-2008 “Aceite de linaza – Especificaciones”	101
Anexo 8. Análisis del aceite de linaza extraído por método Soxhlet	104

TABLA DE CONTENIDOS

FIGURAS

2.1 Extracción sólido-líquido por contacto sencillo	28
2.2 Extracción sólido-líquido por contacto múltiple en corriente directa	29
2.3 Extracción sólido-líquido por contacto múltiple en contracorriente	30
2.4 Partes de un extractor Soxhlet	32
3.1 Relación de las variables de investigación	38
4.1 Diseño de la investigación	41
4.2 Procedimiento experimental	44
4.3 Molido y tamizado de la linaza	48
4.4 Equipo Soxhlet de investigación	50
4.5 Toma de alícuotas	51
4.6 Destilación de hexano	52

TABLAS

2.1 Producción de linaza en el Perú (TM)	17
2.2 Información agrícola regional de Cajamarca 2005 – 2012.	17
2.3 Composición química de linaza - Canadá y Cajamarca	18
2.4 Características fisicoquímicas del aceite de linaza (prensado)	21
2.5 Composición del aceite de linaza (g/100g de producto)	22
2.6 Propiedades fisicoquímicas del hexano	36

2.7 Propiedades fisicoquímicas del hexano y otros solventes	36
3.1 Operacionalización de variables	39
4.1 Equipos	46
4.2 Materiales	46
4.3 Relación entre volumen de ste y masa de linaza (Vs/Ml)	49
5.1 Aceite acumulado por etapa para cada relación entre volumen de solvente y 15 g de linaza	57
5.2 Aceite acumulado por etapa para cada relación entre volumen de solvente y 20 g de linaza	60
5.3 Rendimiento de la extracción entre 15 g de linaza y diferentes volúmenes de hexano	63
5.4 Rendimiento de la extracción entre 20 g de linaza y diferentes volúmenes de hexano	63
5.5 Análisis fisicoquímicos del aceite de linaza	65
10.1 Datos del aceite extraído – 15g linaza / 135 ml hexano	82
10.2 Datos del aceite extraído – 15g linaza / 150 ml hexano	83
10.3 Datos del aceite extraído – 15g linaza /150 ml hexano(duplicado)	84
10.4 Datos del aceite extraído – 15g linaza / 165 ml hexano	85
10.5 Datos del aceite extraído – 15g linaza /165 ml hexano(duplicado)	86
10.6 Datos del aceite extraído – 15g linaza / 180 ml hexano	88
10.7 Datos del aceite extraído – 15g linaza /180 ml hexano (duplicado)	89
10.8 Datos del aceite extraído – 20g linaza / 180 ml hexano	90
10.9 Datos del aceite extraído – 20g linaza /180 ml hexano (duplicado)	91

10.10 Datos del aceite extraído – 20g linaza / 200 ml hexano	92
10.11 Datos del aceite extraído – 20g linaza /200 ml hexano (duplicado)	93
10.12 Datos del aceite extraído – 20g linaza / 220 ml hexano	94
10.13 Datos del aceite extraído – 20g linaza /220 ml hexano (duplicado)	95
10.14 Datos del aceite extraído – 20g linaza / 240 ml hexano	96
10.15 Datos del aceite extraído – 20g linaza /240 ml hexano (duplicado)	97
10.16 ANOVA de un factor- Pruebas de Efecos Inter- Sujetos	99
10.17 Resultados de la Prueba Anderson Darling	100

GRÁFICOS

5.1 Número de etapas obtenidas por extracción Soxhlet con 15 g de linaza y relación de 9, 10, 11, 12 Vs/MI	58
5.2 Número de etapas obtenidas por extracción Soxhlet con 20 g de linaza y relación de 9, 10, 11, 12 Vs/MI	61
5.3 Volumen de hexano vs. Rendimiento	64
10.1 Número de etapas – 15g linaza /135ml hexano	82
10.2 Número de etapas – 15g linaza /150ml hexano	84
10.3 Número de etapas – 15g linaza /150 ml hexano (duplicado)	85
10.4 Número de etapas – 15g linaza /165 ml hexano	86
10.5 Número de etapas – 15g linaza /165 ml hexano (duplicado)	87
10.6 Número de etapas – 15g linaza /180 ml hexano	88
10.7 Número de etapas – 15g linaza /180 ml hexano (duplicado)	89
10.8 Número de etapas – 20g linaza /180 ml hexano	90

10.9 Número de etapas – 20g linaza /180 ml hexano (duplicado)	91
10.10 Número de etapas – 20g linaza /200 ml hexano	92
10.11 Número de etapas – 20g linaza /200 ml hexano (duplicado)	93
10.12 Número de etapas – 20g linaza /220 ml hexano	94
10.13 Número de etapas – 20g linaza /220 ml hexano (duplicado)	95
10.14 Número de etapas – 20g linaza /240 ml hexano	97
10.15 Número de etapas – 20g linaza /240 ml hexano (duplicado)	98
10.16 Cálculo de ANOVA	100

RESUMEN

En la presente tesis se han establecido las condiciones favorables para la extracción de aceite linaza (*Linum Usitatissimum*) en un equipo Soxhlet modificado con solvente hexano. Las muestras experimentales estuvieron conformadas por 15 gramos y 20 gramos de linaza con contenido de humedad de 7,78% y un tamaño de partícula número de malla 60 ASTM (118 μ m). El aceite de dicha linaza fue extraído por el método Soxhlet a nivel laboratorio y se obtuvieron rendimientos de 28.535% con 150 ml de hexano y 15 g de linaza, y 29.708% con 200 ml de hexano y 20 g de linaza.

Se realizaron ocho experimentos con doble corrida experimental, cada uno, para la extracción de aceite de linaza, dando como resultado 6 etapas de extracción con 10 L de solvente/ Kg de linaza.

La temperatura y el tiempo de extracción fueron determinados por el punto de ebullición del solvente hexano y el mismo proceso de extracción Soxhlet respectivamente.

Palabras clave: Aceite de linaza, extracción Soxhlet, número de etapas Soxhlet

ABSTRACT

In the present thesis favorable conditions have been established for the extraction of linseed oil (*Linum usitatissimum*) in Soxhlet equipment modified with hexane solvent. The experimental sample consisted of 15 grams and 20 grams of linseed with moisture content of 7.78% and a particle size of 60 mesh ASTM (118 μ m). The oil of this flaxseed was extracted by the Soxhlet method at laboratory level and yields of 28.535% were obtained with 150 ml of hexane and 15 g of flaxseed and 29.708% with 200 ml of hexane and 20 g of flaxseed.

Eight experimental double run experiments were carried out, each for the extraction of linseed oil, resulting in 6 extraction steps with 10 L of solvent / kg of flaxseed.

The temperature and the extraction time were determined by the boiling point of the solvent hexane and the same extraction process Soxhlet respectively.

Keywords: Linseed oil, Soxhlet extraction, Soxhlet number of stages.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

La extracción convencional de aceite a partir de semillas oleaginosas, tiene algunas desventajas como la baja eficiencia del proceso y la destrucción térmica de algunos componentes, de gran valor nutricional (vitaminas, polifenoles y otros antioxidantes).

Las causas del bajo rendimiento del proceso de extracción, ya sea por prensado o por extracción sólido- líquido, están relacionadas con la morfología de la semilla, dureza, composición, la baja solubilidad de ciertos compuestos lipídicos respecto a los solventes y además, la elevada temperatura que se necesita para separar las grasas con las proteínas y carbohidratos presentes, dificultando la correcta extracción.

Para lograr un mejor rendimiento en la extracción se realizará una caracterización fisicoquímica, tanto de la semilla a utilizar, como del solvente. También se requiere comprobar la presencia de sustancias con alta actividad antioxidante que podrían disminuir la calidad del aceite obtenido, esto se logrará al cuantificar por medio de un análisis químico del aceite extraído.

Por todo lo expuesto, se propuso investigar la factibilidad de este método Soxhlet modificado para extraer aceite de linaza, identificar el

comportamiento de las condiciones favorables de extracción y evaluar su efecto sobre el rendimiento de extracción.

1.2 Formulación del problema

Problema general:

¿Cuáles son las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado?

Problemas específicos:

- a) ¿Cuántas etapas son necesarias para realizar la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado?
- b) ¿Cuál es la relación favorable entre el volumen de solvente y masa de linaza?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Determinar las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado.

Objetivos específicos:

- a) Determinar las etapas de la extracción Soxhlet de aceite de linaza.
- b) Determinar la relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza.

1.4 Justificación

Los resultados de esta investigación contribuirán al conocimiento teórico de la relación solvente/ sólido y el número de etapas que se necesitan para la extracción de aceite de linaza, y cuando dicho conocimiento sea aplicado en la práctica de futuros proyectos, se logrará una extracción eficiente, dado que las proporciones de recursos que se utilizan para desarrollarla, es decir la linaza como materia prima y el hexano como solvente, están especificados numéricamente y sustentados mediante pruebas a nivel laboratorio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

A continuación se presentan antecedentes de estudio que guardan relación con el objetivo propuesto en la investigación.

González Chavarrea, Diana M. (2012) investigó acerca del diseño y construcción de un extractor sólido-líquido para la obtención de aceite de semillas de sambo y aceite de zapallo. Para ello utilizó un equipo Soxhlet, del cual obtuvo la temperatura de ebullición del solvente, el flujo del solvente, la cantidad de muestra seca que se alimenta al extractor, tiempo de extracción y el rendimiento que interviene en el proceso; luego con los datos obtenidos, realizó cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo de extracción sólido-líquido.

Pineda Copin, Wendy C. En el 2004, realizó un estudio sobre la extracción de aceite contenido en la pulpa del fruto del café. Para la extracción del aceite resultó más eficiente utilizar el método Soxhlet. El hexano fue utilizado como disolvente para la extracción del aceite contenido en la pulpa del café. La extracción se vio afectada por la cantidad de aceite extraído, el manejo de la pulpa, la frescura de la misma, tamaño de partícula y método de secado. El color y las características organolépticas del aceite extraído se encontraron dentro del rango indicado. El tiempo óptimo de extracción del aceite fue de dos horas.

Cefla Miranda, Lever Octavio en el 2015, investigó sobre el diseño de una planta para la extracción de aceite de semillas de Chía mediante prensado, para ello realizó una caracterización fisico-química de la materia prima, del total el 86,6% fueron semillas oscuras y el 13,2 % fueron semillas blancas. De dicha caracterización se obtuvieron los siguientes datos: 9,07% de humedad, 29,57% de extracto etéreo, 16,4% de proteína, 40,10% de carbohidratos, 446 Kcal/ 100 g de valor calórico. La extracción del aceite se realizó utilizando una prensa Expeller a escala laboratorio. De este procedimiento y mediante cálculos se obtuvo que el máximo rendimiento fuera de 24,80% a 64°C. Finalmente, se caracterizó el aceite de Chía, cuyos resultados fueron: 929 kg/m³ de densidad relativa; 3 mg KOH/g de índice de acidez; 2,3 Meq de O₂ de índice de peróxido; 157 cgl /g de índice de Yodo y 1,4809 de índice de refracción.

Perez, Cathy; et al (2009), realizaron una evaluación del porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción del aceite a partir de semillas oleaginosas. Para el desarrollo de la investigación, identificaron todos los aspectos relacionados con la extracción de aceites vegetales, así como los factores que afectan el rendimiento del proceso. Luego mediante un análisis causa-efecto identificaron las variables influyentes en el proceso, tales como: tamaño de partícula, cantidad de semilla alimentada, y volumen de solvente; estableciendo los niveles de los factores que serán considerados en la investigación. El estudio experimental se realizó en un equipo de extracción

solido líquido (Soxhlet) de un laboratorio de ingeniería química; se seleccionó un diseño experimental factorial cruzado de efectos fijos para observar las interacciones existentes entre los factores previamente seleccionados y analizar la incidencia en el proceso de extracción. El mayor rendimiento se obtuvo para 8000 ml de solvente y 1500 g de semilla con tamaño de partícula de 50 mesh, para las tres variedades de semillas estudiadas. El mayor rendimiento obtenido fue para la semilla de ajonjolí, maní y mostaza con 48,15 %, 38,73% y 32,38 % respectivamente.

Gallardo, Gisella (2009) estudió el efecto de la molienda y la extracción en frío en el rendimiento y en las características fisicoquímicas del aceite de linaza del departamento de Cajamarca, provincia de Cajabamba, distrito de Cachachi, para lo cual se planearon tratamientos que incluyeron extracciones en frío de semillas enteras mediante prensado discontinuo (prensa hidráulica) y continua (prensa de tornillo) y extracciones de semillas molidas mediante diferentes molinos (molinos de disco artesanal, molino de martillo, molino de cuchillos y molino de disco de piedra). La linaza peruana estuvo compuesta por 6,922% de humedad, 21,247% de proteína, 41,432% de grasa, 17,539% de fibra, 4,334% de cenizas y 8,522% de hidratos de carbono. Se obtuvo el rendimiento más alto (24,108%) con el tratamiento en el que se extrajo el aceite de semilla molida mediante molino de discos de piedras y prensado mediante prensa hidráulica. Los rendimientos de aceite de los tratamientos en los que no se molió la semilla y se extrajo el aceite mediante prensa

hidráulica y de tornillos fueron 21,695% y 16,817% respectivamente. Los resultados de los análisis fisicoquímicos de los aceites de linaza obtenidos mediante todos los tratamientos realizados estuvieron dentro de los límites máximo establecidos, estos resultados fueron: humedad y materia volátil entre 0,079% y 0,110% densidad de 0,931 g/ml, índice de refracción de 1,476, índice de acidez entre 0,588 y 0,811 mg KOH/g de aceite, índice de peróxido en un rango de 0,256 – 1,123 mili equivalentes de oxígeno activo/kg de aceite, índice de yodo entre 195,985 y 196,386, índice de saponificación entre 189,675 y 191,584 mg KOH / g de aceite y materia insaponificable en un rango de 0,778% - 1,388% .

La composición de ácidos grasos del aceite de linaza extraído en frío fue: Ácido palmítico (5,500%), Ácido esteárico (4,310%), ácido oleico (14,670%), ácido vaccínico (0,657%), Ácido linoleico (13,700%) y ácido linolénico (61,163%).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La linaza

La semilla de linaza (nombre científico: *Linum Usitatissimum*) se obtiene de la planta de Lino, la cual es una planta anual, propia de climas templados. El linum abarca casi ciento cincuenta especies, pero la única que posee importancia agrícola es el *Linum Usitatissimum*.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el 2006 la producción mundial de la semilla de linaza fue de aproximadamente 2,66 millones de toneladas para el año 2005, de las cuales el 39% fue producido por Canadá (1.035.300 ton.) seguido por China que produjo el 18% del total (475.000 ton). A nivel mundial, Canadá es el mayor productor de linaza, además es el país que ha realizado más investigaciones del cultivo, seguido por China, Estados Unidos e India.

En el Perú, la producción de linaza es pequeña en comparación a la producción mundial, aproximadamente 500 toneladas por año en los dos últimos periodos (2006 y 2007) y está destinada principalmente para el consumo de agricultores como harina y para la elaboración de emoliente (a nivel comercial y doméstico). Se cultiva principalmente en los departamentos de Cajamarca, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica y Junín. *La producción de linaza en Cajamarca abarca aproximadamente el 48 % de la producción nacional seguido por Junin con 19,5% y Huancavelica con 10% (MINAG, 2007).*

El departamento de Cajamarca produce linaza solo en la provincia de Cajabamba en el distrito de Cachachi a 3237 msnm (Gallardo, 2009).

La siembra de lino se realiza entre los meses de octubre y enero. siendo la floración entre los meses de marzo y junio, y la cosecha se realiza entre los meses de mayo y agosto. El rendimiento en el departamento de Cajamarca es aproximadamente 1022,66 kg/ha. siendo el Cusco el departamento que presenta un mayor rendimiento de su producción con 1505,36 kg/ha, a pesar de que su producción fue una de las más bajas. (MINAG, 2007).

La semilla de linaza es una fuente importante de macronutrientes, ricas en fibras dietéticas, manganeso, vitamina B1, proteínas y principalmente en ácidos grasos omega-3. (Hutchins AM y Slavin JL, 2003).

La linaza es la única semilla en el que su contenido de ácido graso omega-3 supera considerablemente el contenido de ácidos grasos omega-6 (Morris, 2016).

En la tabla 2.3 se puede observar la composición química de la semilla de linaza del Canadá y de Cajamarca, esta última obtenida de la investigación de Gallardo, 2009.

**TABLA 2.3
COMPOSICIÓN QUÍMICA EN PORCENTAJE DE LA LINAZA DE CANADÁ Y CAJAMARCA**

COMPUESTOS	CANADA	CAJAMARCA
GRASA	40-41	41,432
PROTEÍNA	20	21,247
FIBRA DIETÉTICA TOTAL	28 - 30	17,539
HUMEDAD	6 - 7,7	6,922
CENIZAS	3,4 - 4	4,334

Fuente: Gallardo, 2009

2.2.3 Aceite de linaza

De la semilla se extrae el aceite de linaza, el cual es rico en ácidos grasos de las series Omega 3 (ácido α -linolénico), Omega 6 (ácido linoléico) y Omega 9 (ácido oléico). Gracias al alto contenido de los dos ácidos grasos

esenciales: el ácido linolénico y el linoleico, el aceite de linaza está considerado como uno de los mejores aceites de consumo humano por su valor nutritivo. Estos ácidos son esenciales porque solo se puede obtener a través de los alimentos, ya que el cuerpo humano no los puede sintetizar.

Lo especial del aceite de linaza es su gran cantidad de ácido linolénico, el cual puede llegar a formar hasta el 50 o 60% del contenido de dicho aceite.

Morris (2005) señaló que la composición del aceite de linaza puede variar dependiendo de la genética, el medio ambiente, el procesamiento de la semilla y el método de análisis utilizado.

Asimismo, este aceite es utilizado en la industria cosmética, en la fabricación del linóleo y en la dilución para pintura de telas. La calidad de este varía de acuerdo a la materia prima y a los procesos empleados para su extracción.

Análisis fisicoquímicos:

✓ Índice de peróxidos:

Indica el estado de oxidación inicial del aceite en miliequivalentes de oxígeno activo por kilo de grasa, permitiendo detectar la oxidación antes de que se note organolépticamente (Bernal de Ramírez, 1993).

✓ Índice de acidez:

Son los miligramos de KOH necesarios para saturar los ácidos libres contenidos en un gramo de muestra. El resultado de la titulación con álcali en presencia de fenolftaleína se puede expresar también como porcentaje de ácido oleico (Bernal de Ramírez, 1993).

✓ Índice de refracción:

Es la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, ángulos que se forman al pasar un rayo de luz del aire a otro medio, en que la luz se propaga con diferentes velocidades.

A continuación se presentan las exigencias según ASTM, especificación D234-48 para el aceite bruto de linaza.

Especificaciones para el aceite bruto de linaza	
Densidad a 15.5°C, g/cm ³	0.931-0.936
Numero de ácido, máximo	4
Índice de saponificación, mg KOH/g	189-195
Materia insaponificable, % máximo	1.5
Índice de yodo. Mínimo*, g I ₂ /100g	177
Perdidas por calentamiento a 105-110°C, % máximo	0.3
Aspecto a 65°C	claro y transparente
Sedimento, máximo % Aceite calentado	1
Sedimento, máximo % Aceite enfriado	4

*Si se desea un aceite de linaza de alto de alto índice de yodo, el valor mínimo para este debe cambiarse por 188.

Fuente: Bailey, 1984

2.2.4 Características físicas y químicas del aceite de linaza

El aceite de linaza es extraído de la simiente de la linaza, obtenido en frío es de color amarillo claro y, en caliente es pardo. Presenta olor y sabor particulares. A -20°C el aceite toma un color amarillo intenso, a -27°C esta se congela formándose una masa sólida amarilla y se solidifica totalmente a -16°C. Es soluble en alcohol, éter y en contacto con ácido nítrico diluido (4:1),

TABLA 2.5
COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE LINAZA, EXPRESADA EN GRAMOS
SOBRE 100 g DE PRODUCTO

Ácidos grasos saturados			Ácidos grasos mono insaturados		Ácidos grasos poli insaturados	
Mirístico	Palmitico	Estearico	Palmitoleico	Oleico	Linoleico	α -linolénico
0	1,8-5,3	1,4-4,1	0	20,1-27,7	12,7-22,4	53,3-57,3

Fuente: Gambus, 2003

El aceite de linaza es termoestable; es decir, no se altera con facilidad o no pierde sus propiedades por la acción de calor.

2.2.5 Propiedades y aplicaciones del aceite de linaza

El aceite de linaza es de color claro o amarillento, que se obtiene de las semillas bajo presión en frío o por extracción utilizando solventes.

La inestabilidad y susceptibilidad a la oxidación que presenta este aceite, es debido a su alto contenido de ácido graso poliinsaturado y ácido graso alfa linolénico.

- El aceite de linaza tiene diversas aplicaciones que se detallan a continuación:
- Es utilizado en la dieta diaria, debido a que es una fuente rica en ácidos grasos como Omega 3, Omega 6, y Omega 9, donde el ácido alfa-linolénico es esencial para el cuerpo humano.
- En el arte es usado en la fabricación de pintura, la materia colorante (albayalde, amarillo de cromo, azul de Prusia, etc.) mezclada con el aceite de linaza da como resultado la pintura. La tinta de imprenta se

prepara hirviendo el aceite de linaza hasta que se espese y combinándolo con negro de humo.

- En la industria química, el aceite de linaza es usado como materia prima para la producción de óleos, barnices, recubrimientos de superficies a base de aceites y linóleo. También se utiliza para modificar las resinas alquídicas y en la preparación de jabones, masillas, tintas de imprenta y ungüentos. Fundamentalmente se utiliza en la industria de pinturas y barnices.

2.2.6 Métodos de obtención del aceite de linaza

Existen 3 métodos para extraer el aceite de semillas de linaza, las cuales se detallan a continuación:

En la **extracción por presión** las semillas son sometidas previamente a un tratamiento de prensado para extraer una parte del aceite que contienen, para ello se usan prensas continuas llamadas “expellers”. El aceite obtenido por presión contiene grandes cantidades de impurezas como cascarillas y la eliminación de estas se realiza en dos etapas; separación de sólidos gruesos mediante decantación por centrifugación y separación de finos mediante filtración.

La ventaja de este método es que el aceite presenta una mejor conservación de los componentes antioxidantes (quercetina y miricetina), en comparación con la extracción por solventes. Y la desventaja es que se obtienen rendimientos bajos en la producción de aceite (Perry y Green, 1997).

La **extracción solido-liquido (extracción con solventes)** es una operación en la cual se separan componentes de sólidos disolviéndose en líquidos. Es muy eficaz, ya que puede reducir el contenido del aceite de las semillas hasta menos de un 1%, es por ello que se emplea para semillas con bajo contenido de aceite

La extracción con solventes se emplea para la separación de compuestos de interés aprovechando las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla y del disolvente de extracción adecuado que se haya seleccionado. Las semillas generalmente pasan por un tratamiento especial antes de la extracción; tales como descascarado, pre cocinado, ajuste del contenido de humedad e incluso eliminación de una parte del aceite mediante prensado.

Se presentan dos procesos de extracción, por solución cuando el aceite es obtenido por las células fragmentadas de las semillas y extracción por difusión cuando es obtenido de las células enteras. El material soluble, llamado soluto, puede ser un sólido o un líquido dispersado por los sólidos insolubles. Las superficies se disuelven en un líquido adherido a los sólidos o arrastrado por ellos o, en muchos casos, de materias animales o vegetales, oculto en la estructura celular (Perry y Green, 1997).

Extracción con fluidos supercríticos:

En este método se emplean fluidos supercríticos, los cuales son sustancias que se encuentran en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico y que se comportan como “un híbrido entre un líquido y un gas”; es decir, pueden difundirse como un gas (efusión) y disolver sustancias como un líquido (disolvente). Un fluido supercrítico además de su poder

disolvente selectivo, posee varias ventajas debido a que su densidad y viscosidad son bajas, y las difusividades de los solutos en estos fluidos son elevadas, aproximadamente cien veces más grandes que la de los líquidos ordinarios, en consecuencia, los fluidos supercríticos penetran con facilidad los sólidos porosos. El solvente más utilizado para la extracción supercrítica, principalmente en el procesamiento de alimentos, es el dióxido de carbono, el cual tiene un punto crítico de 31,06°C y 73,8 bars (1070 lb/in²) y por su fácil eliminación después de una extracción, con baja toxicidad y costo.

Las principales ventajas de este método radican en la fácil separación de sustancias; las suaves temperaturas en el proceso que no dañan el producto: por ser, no inflamable, no corrosivo, no tóxico, no cancerígeno; por su capacidad selectiva y la no generación de residuos peligrosos. Por lo cual, constituye una opción mucho más limpia y segura que los procesos convencionales, ya que permite preservar además los principios activos y características propias de las sustancias. La desventaja principal es que se requiere de una presión elevada y por ende, equipos con costos más elevados (McCabe, 2002).

2.2.7 Extracción sólido-líquido o lixiviación

La extracción sólido-líquido o lixiviación, consiste en la disolución de un componente (o grupo de componentes) que forman parte de un sólido, empleando un disolvente adecuado en el que es insoluble el resto del sólido y que se denomina inerte (Ocon y Tojo, 1970).

Con esta extracción se permite obtener el producto de una reacción de forma selectiva o bien eliminar las impurezas que puede contener la mezcla con el producto de interés. Para llevar a cabo el proceso de extracción sólido-líquido o lixiviación, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Contacto del disolvente con el sólido a tratar, para disolver el componente soluble, o soluto
2. Separación de la disolución y el resto del sólido (con la disolución adherida al mismo)

La disolución separada se denomina flujo superior o extracto; recibiendo el nombre de refinado, flujo inferior o lodos el sólido inerte acompañado de la disolución retenida por el mismo. Los dos apartados anteriores constituyen un estadio, etapa o unidad de extracción, que recibe el nombre de ideal o teórica cuando la disolución correspondiente al flujo superior tiene la misma composición que la retenida por el sólido en el flujo inferior.

Preparación del sólido

El éxito de una técnica para la extracción sólido- líquido depende de cualquier tratamiento previo que se le pueda dar al sólido.

En algunos casos, las partículas del material soluble están completamente rodeadas de una matriz de material insoluble. Entonces el disolvente se debe difundir dentro del sólido y la solución a extraer se debe difundir hacia afuera del sólido. Es necesario, que se realice una trituración y molienda de estos sólidos, con la finalidad de acelerar la acción de lixiviación, debido a que así las porciones solubles se encontrarán más accesibles al disolvente (Treyball, 1980)

Temperatura de lixiviación

Las temperaturas elevadas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y en consecuencia, las concentraciones finales serán mayores en el licor de lixiviación. Asimismo, la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de

lixiviación. Sin embargo, en el caso de algunos productos naturales, las temperaturas muy elevadas pueden producir la lixiviación de cantidades excesivas de solutos indeseables o de deterioro químico del sólido (Treyball, 1980)

Equipos de lixiviación

Las operaciones de lixiviación se llevan a cabo en estado no estacionario o en estado estacionario. En estado no estacionario, se realizan por lotes o semilotes y en estado estacionario las condiciones son totalmente continuas. En cada categoría se encuentran equipos del tipo de etapas y de contacto continuo.

Existen dos técnicas principales de manejo; la aspersion o goteo del líquido sobre el sólido y la completa inmersión del sólido en el líquido, De acuerdo a cualquiera de estos casos, la elección del equipo depende de la forma física del sólido y de las dificultades y costo del manejo del equipo (Treyball, 1980).

Velocidad de lixiviación

En la lixiviación de material soluble del interior de un sólido por acción de un disolvente, el proceso general consiste en los siguientes pasos:

1. El disolvente se transfiere del volumen de solución a la superficie del sólido.
2. Después, dicho disolvente penetra o se difunde en el sólido.
3. El soluto se disuelve en el disolvente.
4. Entonces, el soluto se difunde a través de la mezcla de sólido y disolvente hasta la superficie de la partícula.
5. Finalmente, el soluto se transfiere a la solución general.

En general, la velocidad de transferencia del disolvente de la solución hasta la superficie del sólido es bastante rápida, y la velocidad hacia el interior del sólido puede ser rápida o lenta. La transferencia de disolventes ocurren al principio, cuando las partículas se ponen en contacto con el disolvente; la disolución del soluto en el disolvente en el interior del sólido puede ser un simple proceso físico de disolución o una reacción química que libera al soluto para su disolución.

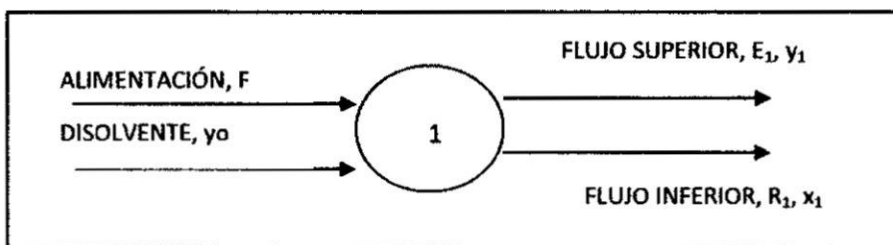
La resistencia a la transferencia de masa del soluto desde la superficie sólida hasta el disolvente general, suele ser bastante pequeña en comparación con la resistencia a la difusión dentro del propio sólido. Cuando un material se disuelve de un sólido y pasa a la solución del disolvente, la velocidad de transferencia de masa desde la superficie sólida al líquido, suele ser el factor que controla la totalidad del proceso (Geankoplis, 1998).

Métodos de extracción sólido-líquido

a) Extracción sólido-líquido por contacto sencillo

Se trata de una operación discontinua que consiste en poner en contacto toda la alimentación con el disolvente a emplear, separando después la disolución formada del sólido inerte con la disolución retenida. (Ocon y Tojo, 1970).

FIGURA 2.1
EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO POR CONTACTO SENCILLO



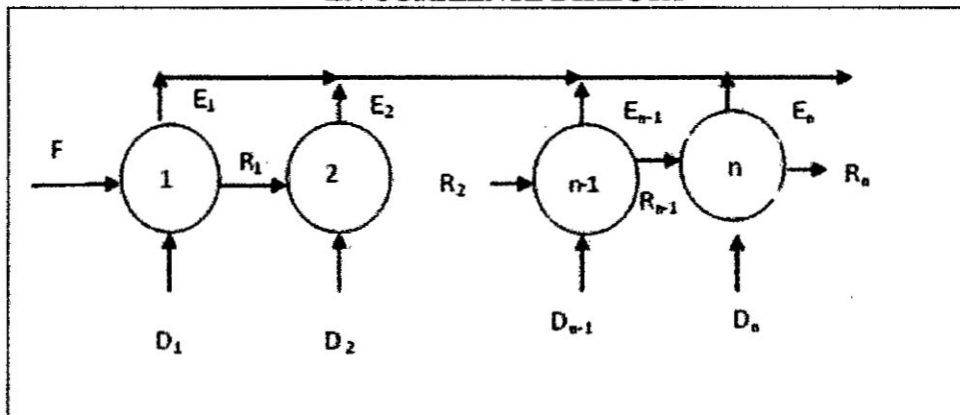
Fuente: Ocon y Tojo, 1970

Las composiciones de los flujos inferior y superior se representan por x e y , respectivamente. Este método de extracción no se emplea prácticamente en escala industrial debido a que se obtienen disoluciones muy diluidas con bajo rendimiento de extracción.

b) Extracción sólido-líquido por contacto múltiple en corriente directa

Este método de extracción consiste en la repetición del procedimiento empleado para una etapa en etapas sucesivas: es decir, subdividir la cantidad total de disolvente en varias fracciones, empleando una fracción del disolvente en cada etapa (Ocon y Tojo, 1970).

FIGURA 2.2
EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO POR CONTACTO MÚLTIPLE
EN CORRIENTE DIRECTA



Fuente: Ocon y Tojo, 1970

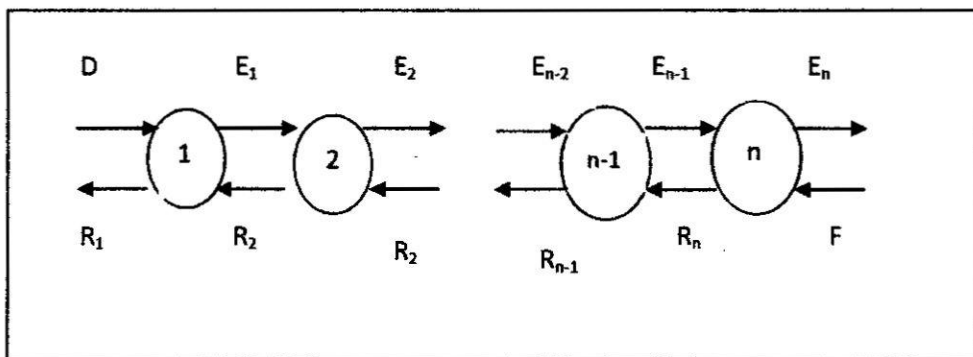
El flujo inferior o refinado procedente de la primera etapa se pone en contacto con nuevo disolvente en la segunda, separándose un extracto y un refinado; este refinado vuelve a ponerse en contacto con nuevo disolvente en la tercera etapa, y así sucesivamente, de tal manera que el sólido inerte con la disolución retenida procedentes de una etapa constituyen la alimentación para la etapa siguiente. Aunque con este

método de extracción se mejora el rendimiento con respecto al contacto sencillo, las disoluciones obtenidas también resultan diluidas y su empleo en la práctica industrial es muy limitado.

c) Extracción sólido-líquido por contacto múltiple en contracorriente

Es el método de extracción sólido-líquido más empleado en la práctica industrial; el flujo inferior o refinado se va empobreciendo en soluto desde la última hasta la primera etapa, mientras que el flujo superior o extracto se va concentrando en soluto desde la primera hasta la última etapa (Ocon y Tojo, 1970).

**FIGURA 2.3
EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO POR CONTACTO MÚLTIPLE EN
CONTRACORRIENTE**



Fuente: Ocon y Tojo, 1970

2.2.8 Extracción con el equipo Soxhlet

El aparato Soxhlet, fue llamado así después que el profesor alemán de la agroquímica Franz Ritter von Soxhlet (1848-1926) lo utilizó para determinar el contenido de grasa de los alimentos secos.

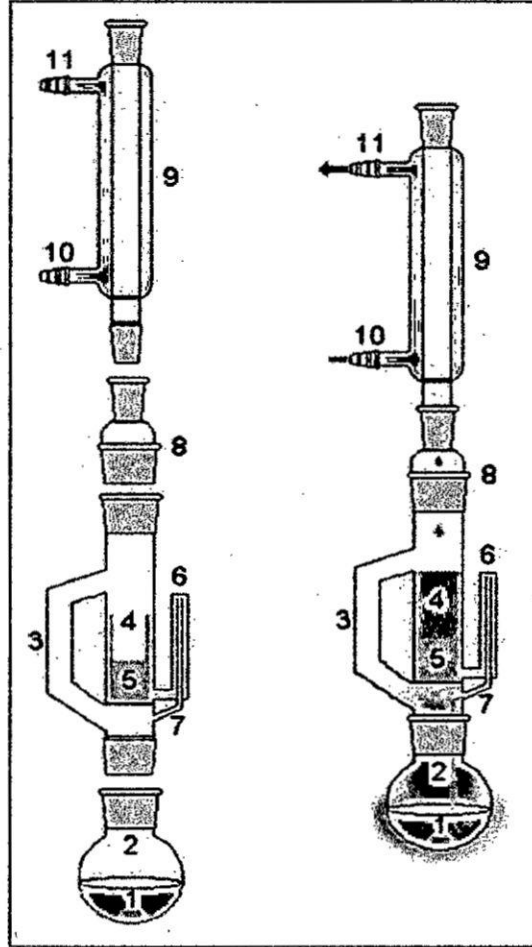
El Soxhlet se utiliza para extracciones sólido-líquido. Es un equipo de vidrio que consiste en un matraz de destilación, un condensador de reflujo, una

cámara que contiene un dedal de papel de filtro grueso para contener la sustancia a extraer y un brazo lateral de sifón.

El disolvente (agente de extracción) se calienta a reflujo en el matraz de destilación, los vapores se condensan en el condensador de reflujo y se introducen en la cámara que contiene el dedal con el material a extraer. La cámara se llena lentamente con el disolvente caliente y parte del material se disuelve en el disolvente. Cuando la cámara de Soxhlet está casi llena, se vacía automáticamente con un brazo lateral de sifón, con el disolvente retrocediendo hasta el matraz de destilación. Este ciclo se repite varias veces para enriquecer el disolvente en el matraz de destilación con el material extraído.

El solvente debe poseer características particulares, tanto fisicoquímicas como toxicológicas, empleándose para la investigación el hexano por sus propiedades. Las semillas a emplear deben ser oleaginosas, es decir, que posean aceite dentro de su estructura química para llevar a cabo la extracción de un determinado aceite (Demarco, 2009).

FIGURA 2.4
PARTES DE UN EXTRACTOR SOXHLET



Fuente: Demarco, 2009

1. Buzo/ agitador/granallas o esferas; 2. Balón; 3. Brazo para ascenso del vapor; 4. Cartucho de extracción o cartucho Soxhlet; 5. Muestra (residuo); 6. Entrada de sifón; 7. Descarga del sifón; 8. Adaptador; 9. Refrigerante (condensador); 10. Entrada de agua de refrigeración; 11. Salida de agua de refrigeración.

2.2.9 Disolventes usados en la extracción sólido-líquido

Los disolventes utilizados a nivel industrial son: hexano, benceno, tricloroetileno y sulfuro de carbono, estos dos últimos son perjudiciales por su alta toxicidad, por lo tanto, los dos primeros solventes, son los más empleados en la extracción sólido-líquido de semillas oleaginosas; sobre todo el hexano, porque es más asequible en el mercado y presenta menor costo.

Las características que debe reunir un solvente apropiado son:

- Debe poseer gran poder de disolución para el material que se desea extraer.
- Debe ser selectivo, para que extraiga el compuesto deseado y no otro.
- No corrosivo.
- Fácil de recuperar sin dejar olores residuales.
- Fácil adquisición y de bajo costo.

El **hexano** es un líquido incoloro, fácilmente flamable. Es poco soluble en agua, pero se mezcla bien con los disolventes orgánicos apolares como el alcohol, el éter o el benceno. El hexano es utilizado como disolvente para algunas pinturas y procesos químicos. También fue muy utilizado en la industria del calzado y la marroquinería, aunque su uso en industrias controladas está más restringido. También se usa para disolver las pepitas de la uva y extraer aceite de orujo. De igual manera es empleado en análisis de laboratorios siendo un solvente eficaz para la obtención de Hidrocarburos Fracción pesada en suelo y agua.

El **tricloroetileno (TCE)** es una sustancia química de síntesis que se presenta en forma de líquido incoloro, ininflamable, de aroma y sabor dulce. Se usa principalmente como solvente para eliminar grasa de partes metálicas, aunque también es un ingrediente en adhesivos, líquidos decapantes de pintura, para corregir escritura a máquina y quitamanchas. En medicina se lo utiliza como anestésico general.

El **benceno** es un hidrocarburo aromático de fórmula molecular C_6H_6 . El benceno es un líquido incoloro y muy inflamable de aroma dulce (que debe manejarse con sumo cuidado debido a su carácter cancerígeno), con un punto de ebullición relativamente alto.

Algunas industrias usan el benceno como punto de partida para manufacturar otros productos químicos usados en la fabricación de plásticos, resinas, nilón y fibras sintéticas como lo es el kevlar y en ciertos polímeros. También se usa benceno para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y pesticidas.

El **sulfuro de carbono o disulfuro de carbono (CS_2)**, es un líquido volátil, incoloro y muy fácilmente inflamable. La mayor parte del sulfuro de carbono se emplea en la fabricación de fibras de celulosa. En presencia de sosa forma con la celulosa xantogenatos solubles que se pasan por inyectores y luego se precipitan.

En química se utiliza a veces de disolvente en la espectroscopia de infrarrojo ya que no presenta bandas de absorción en las zonas de absorción por vibración C-H o C-O.

2.2.10 Características físicas y químicas del hexano

El hexano es un hidrocarburo alifático saturado volátil, formado por seis átomos de carbono (83.62%) y catorce átomos de hidrógeno (16.38%). El hexano es un líquido incoloro con un olor parecido al del petróleo. Es menos denso que el agua e insoluble en ella, sus vapores son más densos que el aire. El producto comercial generalmente contiene otros productos hidrocarbonados como isómeros de seis carbonos, benceno, algunos compuestos de 5 y 7 carbonos y otros con azufre, oxígeno, cloro o dobles ligaduras, aunque en menor proporción. Se obtiene del petróleo. Por destilación de fracciones de las que se obtienen gasolinas o a través de reformados catalíticos, por medio de los que se obtienen compuestos aromáticos. Una forma de obtener n-hexano de gran pureza es pasarlo a través de malla molecular, en la cual se retienen la n-parafinas y eluyen las ramificadas, cíclicas y compuestos aromáticos. Un posterior cambio de temperatura y/o presión, permite recuperar las parafinas lineales. En el caso de contener impurezas con dobles ligaduras u otros elementos como azufre, oxígeno o halógenos, entonces la purificación debe llevarse a cabo mediante hidrogenación. Forma parte de la gasolina de automóviles y es utilizado en la extracción de aceite de semillas, como disolvente en reacciones de polimerización y en la formulación de algunos productos adhesivos, lacas,

cementos y pinturas. También se utiliza como desnaturalizante de alcohol y en termómetros para temperaturas bajas, en lugar de mercurio. Por último, en el laboratorio se usa como disolvente y como materia prima en síntesis.

TABLA 2.6
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HEXANO

PROPIEDADES	Hexano
Punto de ebullición a 1 atm	69 °C
Punto de fusión	- 95,6 °C
Peso molecular	86,17 g/mol
Densidad a 20°C	0,66 g/ml
Solubilidad en agua a 20°C	0,0013 g/100ml
Presión de vapor a 15,8°C	100 mmHg
Temperatura de auto ignición	223 °C
Punto de inflamación (Flash point)	-21,7°C
Límites de explosividad % en vol. en el aire	1,2 -7,7
Índice de refracción (20°C)	1,38

Fuente: Hoja de Seguridad del Hexano

TABLA 2.7
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HEXANO Y OTROS SOLVENTES

Tipo de solvente	Peso específico a 15°C	Calor latente de vaporización por litro	Calor específico por litro	Punto de ebullición	Límite explosión, vol.
Hexano	0,680	54	0,358	68,6	2,4-4,8
Benceno	0,700	56	0,360	60-70	2,5-4,8
Sulfuro de Carbono	1,292	112	0,310	46,26	1,7-2,8
Tricloroetileno	1,469	84	0,327	87	-

Fuente: Demarco, 2009

2.3 Definición de términos

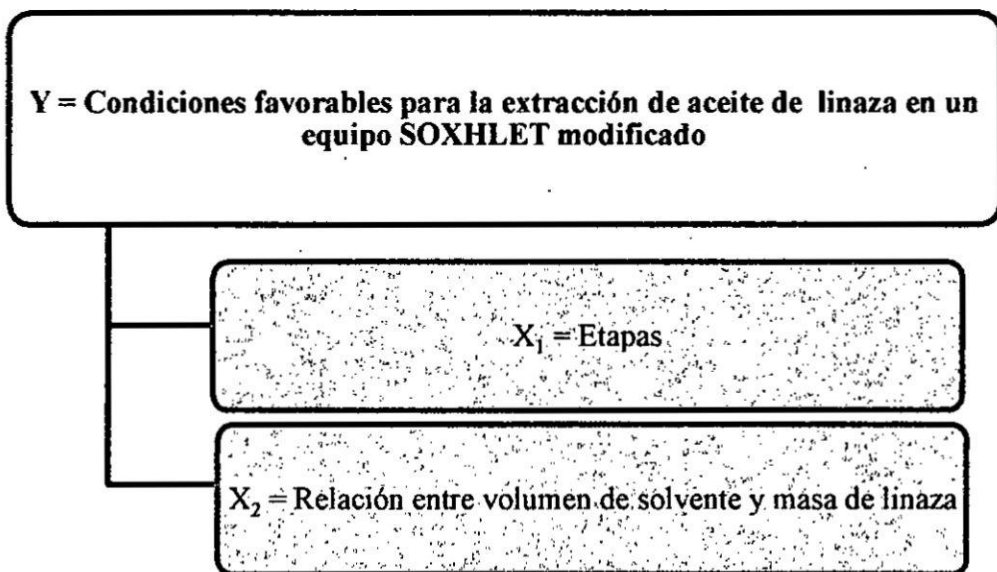
- **Refinado o Flujo:** Corriente saliente formada por el sólido agotado y “extracto o flujo superior” a la formada por soluto y disolvente.
- **Aceite termolábil:** es aquel tipo de aceite que cuando viene expuesto directamente al calor altera o pierde sus propiedades naturales intrínsecas.
- **Aceite termoestable:** sustancia que tiene resistencia al calor, sin que pierda sus propiedades naturales.
- **Peso de aceite acumulado por etapa:** es la suma de pesos de aceite por cada etapa.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

La presente investigación se caracteriza por ser experimental, ya que se tuvo un control sobre las variables independientes y por ser éste el determinante en la relación causa efecto.

FIGURA 3.1
RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

3.2 Operacionalización de variables

**TABLA 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y=Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo SOXHLET modificado	Rendimiento	%	Ensayo experimental
	Calidad del aceite	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos libres • Índice de refracción • Índice de yodo • Índice de saponificación 	Norma mexicana NMX-F066-SCFI-2008 "Aceite de linaza-Especificaciones"
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Etapas	Etapas de extracción	<ul style="list-style-type: none"> • Número de etapas • Comportamiento de la gráfica 	Ensayo experimental
X ₂ =Relación entre volumen de solvente y masa de linaza	Relación de extracción	L solvente / Kg de linaza	Ensayo experimental

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas

Hipótesis general

Las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado son el número de etapas y la relación entre el volumen del solvente y la masa de linaza.

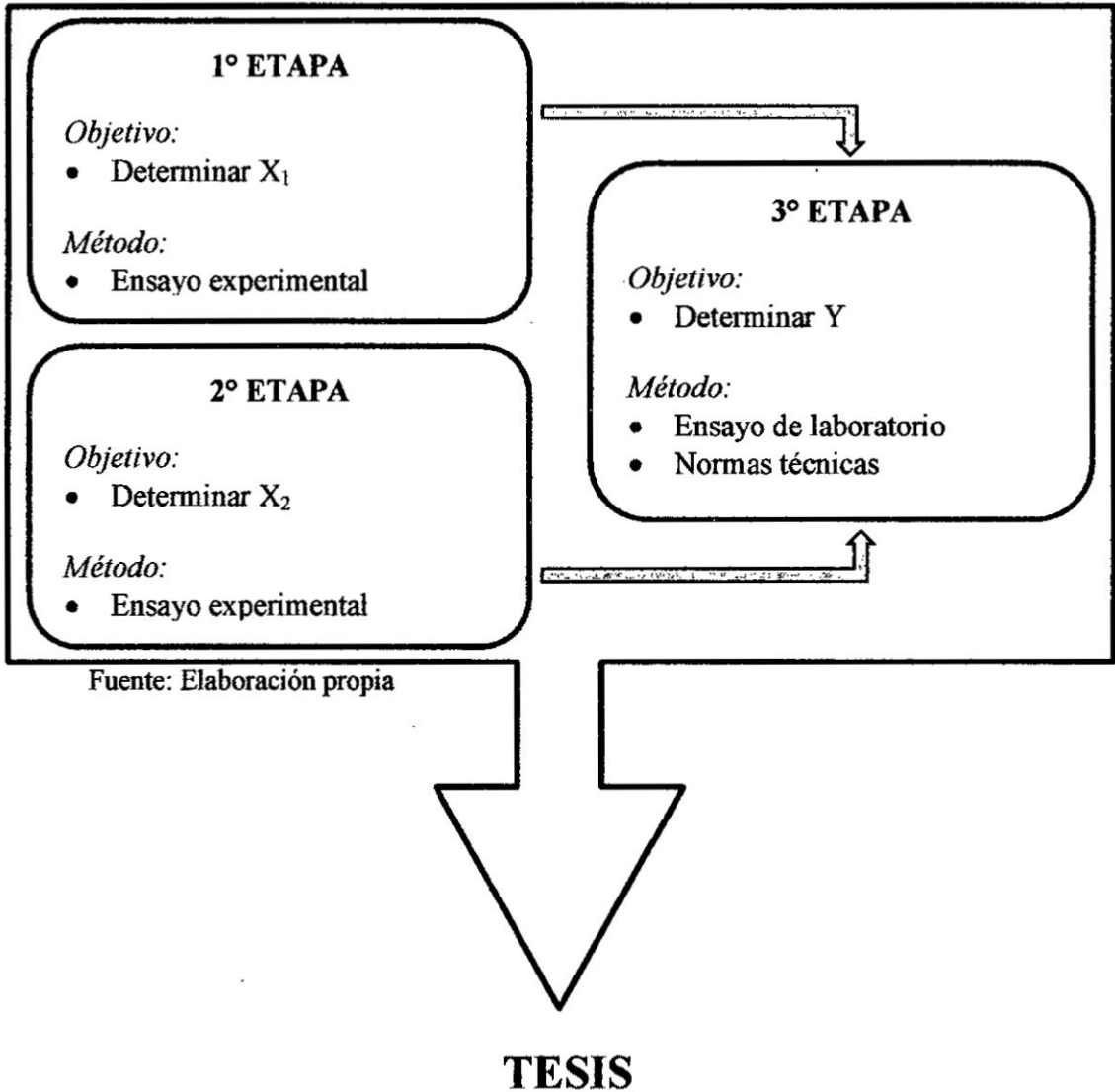
Hipótesis específicas

- a) El número de etapas de extracción Soxhlet de aceite de linaza es 5.
- b) La relación entre el volumen del solvente y la masa de linaza es 9 L/Kg.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Diseño de investigación

FIGURA 4.1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



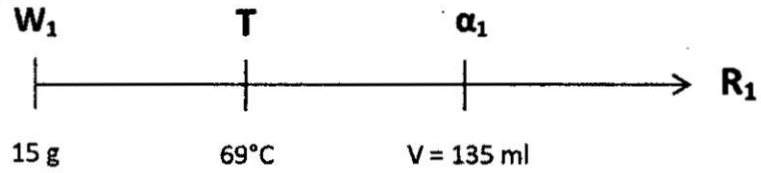
X_1 : Etapas

X_2 : Relación entre volumen de solvente/ masa de linaza

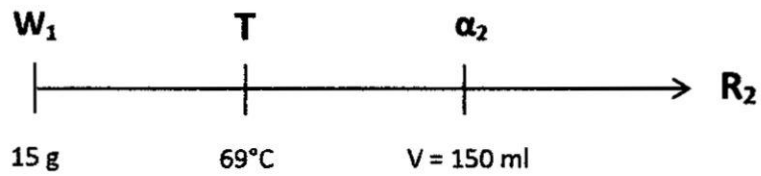
Y: Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo soxhlet modificado.

DISEÑO EXPERIMENTAL

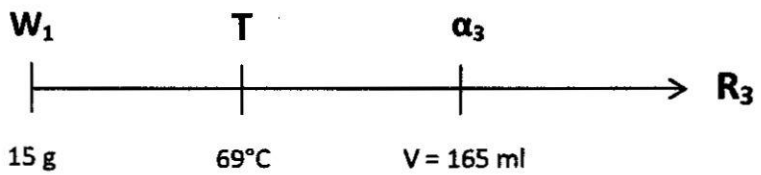
Experimento 1



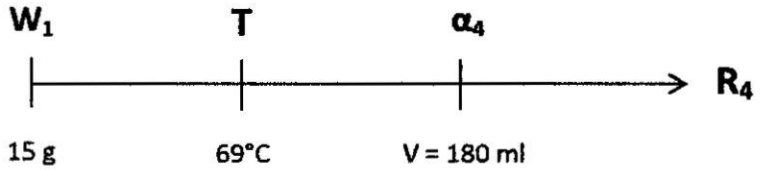
Experimento 2



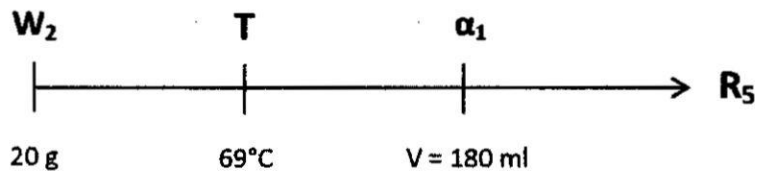
Experimento 3



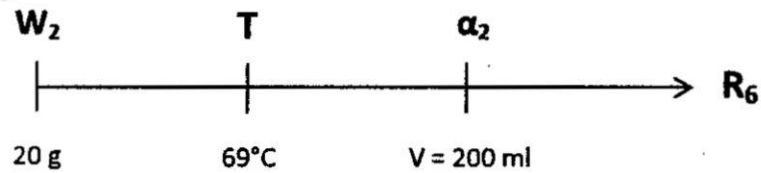
Experimento 4



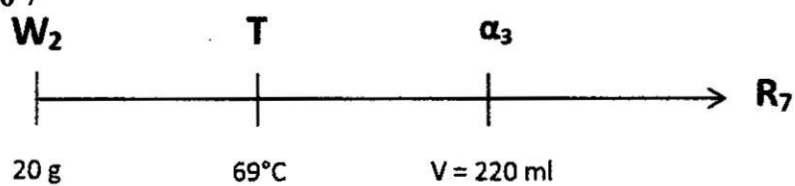
Experimento 5



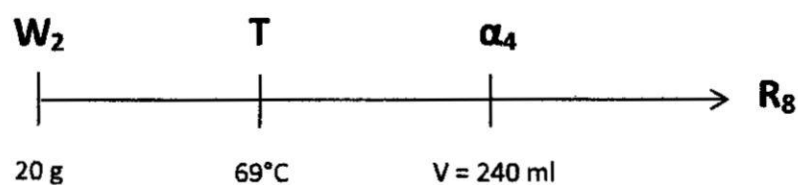
Experimento 6



Experimento 7



Experimento 8



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

W_1 : 15 g de linaza

W_2 : 20 g de linaza

T : temperatura de ebullición del hexano

α : relación entre volumen de solvente y masa de linaza

α_1 : 9 L /Kg

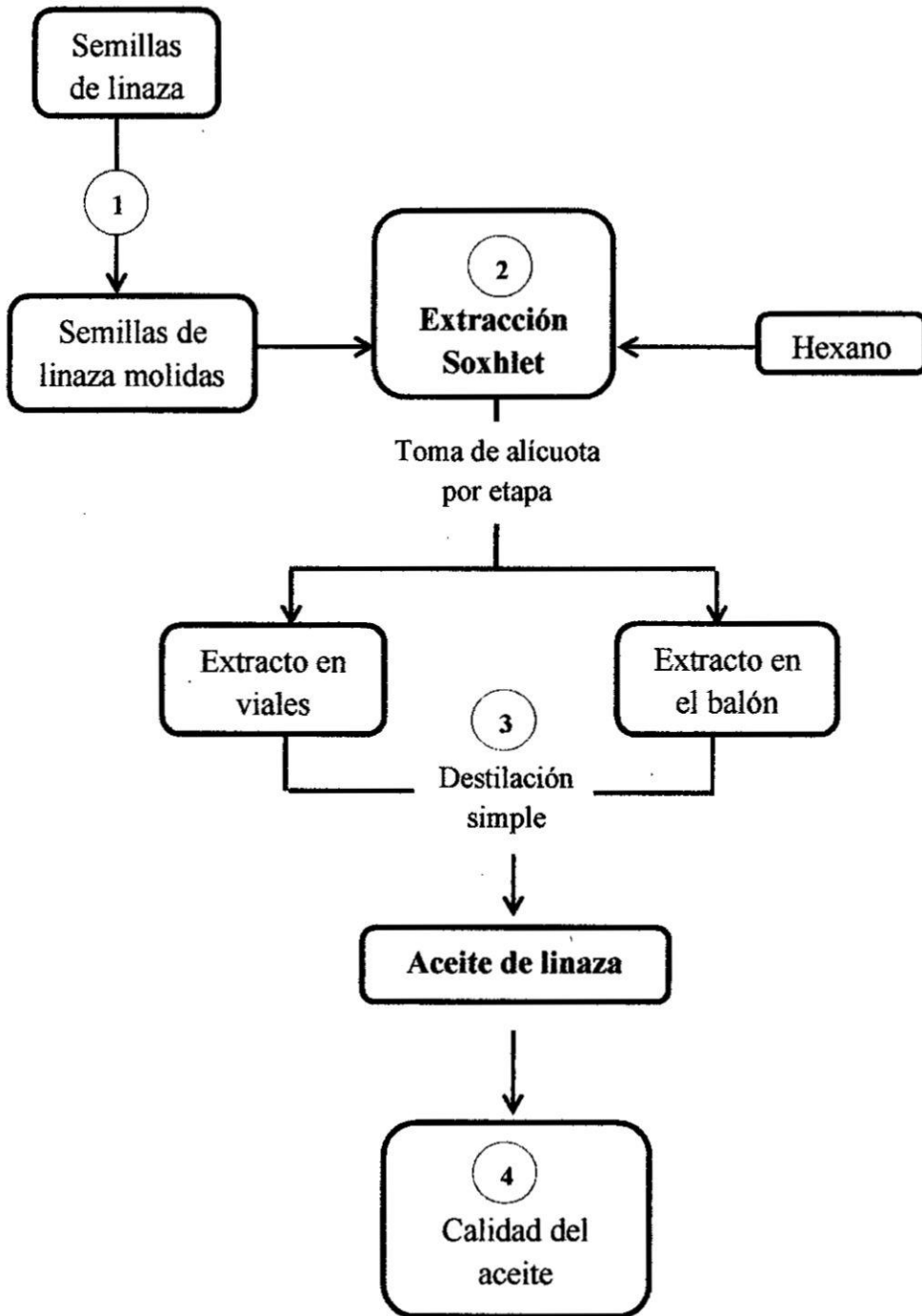
α_2 : 10 L /Kg

α_3 : 11 L /Kg

α_4 : 12 L /Kg

R : rendimiento de la extracción soxhlet

FIGURA 4.2
PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTACIÓN



Fuente: Elaboración propia

4.2 Población y muestra experimental

La población fue 550 g de linaza, los cuales fueron divididos en 14 grupos de 15 g (W_1) cada uno y 16 grupos de 20 g (W_2) cada uno.

Las muestras experimentales estuvieron conformadas por 15 g y 20 g de linaza, con tamaño de partícula de 1.18 mm (tamizadas con una malla 16 ASTM).

4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.3.1 Técnicas para la recolección de datos

- ✓ Determinación del contenido de humedad de la linaza (*Linum usitatissimum*).
- ✓ Molido y tamizado de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum*).
- ✓ Extracción de aceite de linaza (*Linum usitatissimum*) mediante un equipo Soxhelt.
 - Toma de alícuotas por cada etapa o sifonada.
- ✓ Evaporación del solvente (hexano).
- ✓ Calidad del aceite: análisis fisicoquímico del aceite de linaza.

4.3.2 Instrumentos para la recolección de datos

Se empleó diferentes equipos, materiales y reactivos de laboratorio tales como:

a. Equipos

**TABLA 4.1
EQUIPOS**

Cantidad	Equipo
2	Balanza analítica, sensibilidad de 0.01 mg
1	Extractor Soxhlet modificado
1	Estufa
1	Desecador con silica gel
1	Baño maría a 85°C
1	Campana extractora
1	Tamiz (malla 16 Astm)

b. Materiales

**TABLA 4.2
MATERIALES**

Cantidad	Equipo
1	Mortero y pilón
1	Micropipeta de 5 ml
4	Pliego de papel filtro
2	Vaso de precipitado
1	Probeta
6	Balón de 250 ml
64	Viales ámbar
8	Crisol

Fuente: Elaboración propia

c. Reactivo

- Hexano

d. Equipos de protección personal

- Guardapolvo de laboratorio
- Mascarilla con cartuchos para vapores orgánicos
- Guantes de látex

4.4 Procedimiento de recolección de datos

a. Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método **Ac 2-41 de AOCS 1990**, que consiste en determinar la diferencia de peso antes y después de que la muestra (semillas de linaza) sea sometida a calentamiento.

Procedimiento:

1. Se desecó el crisol en la estufa a 103°C por dos horas, luego se enfrió en el desecador y se pesó para determinar el peso inicial del crisol.
2. En el crisol previamente tarado, se pesó 10 g de semillas de linaza.
3. Se colocó el crisol con muestra en la estufa a 130 ± 3 °C por tres horas. Al cumplir el tiempo se retiró de la estufa y se enfrió en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesó.
4. Para el cálculo del contenido de humedad presente en la muestra se utilizó la siguiente expresión:

$$\% \text{Humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad \text{Ec.4.1}$$

Dónde:

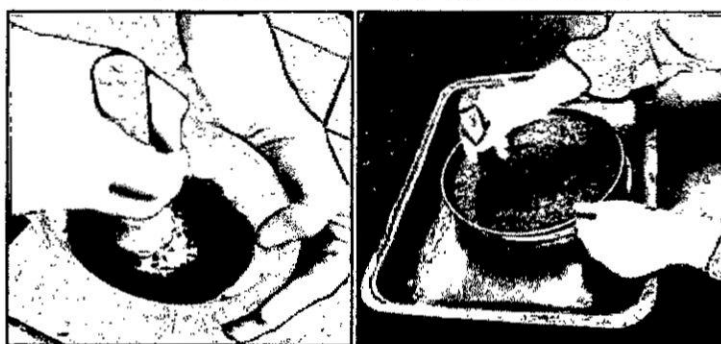
W_i = Masa inicial de linaza en gramos

W_f = Masa final de linaza en gramos

b. Acondicionamiento de la muestra

La linaza fue molida y luego homogenizada en un tamiz malla 16 ASTM, como se muestra en la figura 4.3. Las semillas presentaron un tamaño de partícula de 1.18 mm.

FIGURA 4.3
MOLIDO Y TAMIZADO DE LA LINAZA



Fuente: Elaboración propia
Izquierda: fotografía tomada en el Laboratorio FIQ.
Derecha: Laboratorio de Operaciones Unitarias

c. Determinación de la relación sólido líquido para la experimentación

Para elegir el *volumen mínimo de líquido* (solvente) se tomó como referencia el volumen mínimo del cuerpo extractor, que fue calculado con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{min cuerpo extractor}} = h \cdot r^2 \cdot \pi \quad \text{Ec. 4.2}$$

Dónde:

h: altura del cuerpo extractor definido por el sifón = 7,5 cm

r: radio del cuerpo extractor = 2,39 cm

Para determinar el *volumen máximo de solvente* se tomó como referencia la capacidad del balón de ebullición (250 mL).

TABLA 4.3
RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA

Relación Vs/MI	Masa de linaza (g)	Volumen de hexano (mL)
$\alpha_1 = 9$	15	135
	20	180
$\alpha_2 = 10$	15	150
	20	200
$\alpha_3 = 11$	15	165
	20	220
$\alpha_4 = 12$	15	180
	20	240

Fuente: Elaboración propia

d. Extracción del aceite de linaza

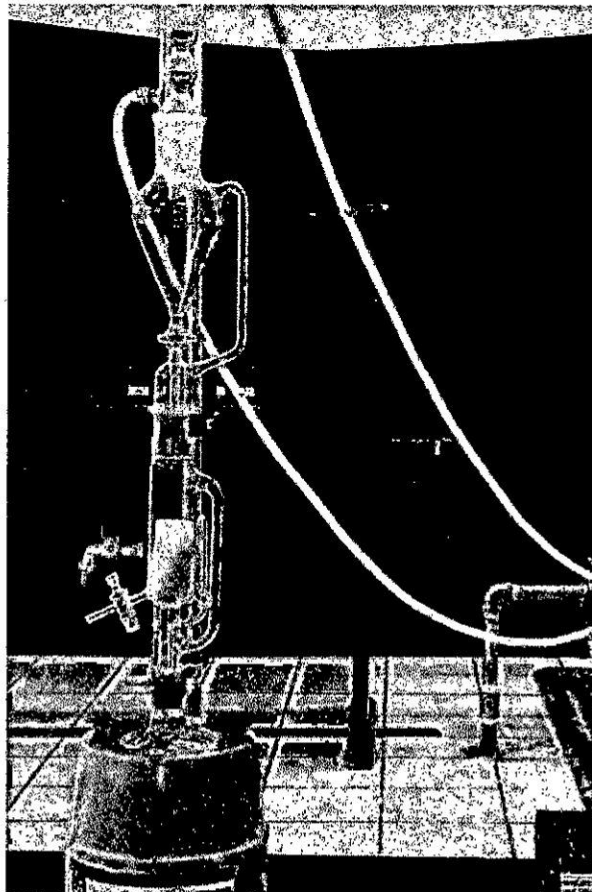
El proceso de extracción soxhlet del aceite de linaza se desarrolló según **Method 9071B (Método EPA, 1998)** que consiste en cuantificar concentraciones de aceite en muestras sólidas susceptibles a extracción con disolvente hexano.

Procedimiento:

1. Se secó un balón de 250 ml y doce viales ámbar en una estufa a 105°C durante dos horas, luego fueron transferidos a un desecador y después de llegar a temperatura ambiente, fueron pesados en una balanza analítica.
2. En el cartucho de celulosa o papel filtro, previamente tarado, se pesó la linaza. En la tabla 4.3 se especificó la cantidad de linaza en gramos que fue pesada.

3. Se llenó el balón de destilación con el solvente hexano. En la Tabla 4.3 se especificó la el volumen en ml de hexano que fue agregado al balón.
4. Se armó el equipo soxhlet y se colocó el cartucho con linaza en el centro de la cámara de extracción.
5. Se encendió la manta calefactora y se calentó el solvente hexano hasta el reflujo (69°C), dando inicio al proceso de extracción.

FIGURA 4.4
EQUIPO SOXHLET DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia
Fotografía del equipo de Laboratorio de la
Facultad de Ingeniería Química

Figura 4.4: El extractor Soxhlet está especialmente diseñado para la investigación en laboratorio, ya que posee una válvula incorporada en la parte inferior del cuerpo extractor. Dicha válvula permite la toma de alícuotas (solvente y soluto) durante el proceso de extracción sólido – líquido.

6. Se enrasó cada vial ámbar con agua hasta 3 ml, haciendo uso de una micropipeta, luego se hizo una marca que sirvió como guía al tomar una alícuota justo antes de cada sifonada.
7. Se repitió el procedimiento de la toma de alícuotas durante dos horas y se obtuvo ocho viales ámbar con 3 ml del extracto, es decir, aceite de linaza y hexano.

FIGURA 4.5
TOMA DE ALÍCUOTAS

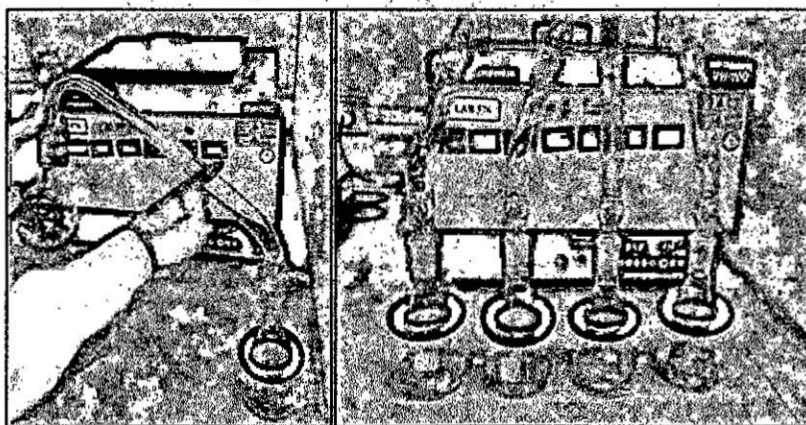


Fuente: Elaboración propia
Fotografía tomada en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería
Química

8. Al finalizar el período de extracción de 2 horas, se recuperó el solvente haciendo uso del embudo de decantación. Luego se sometieron a destilación el balón que contenía el aceite de linaza, al igual que los viales ámbar, para eliminar las trazas de hexano presentes en el extracto.

9. Se conectó el balón al aparato de un cabezal de destilación y se destiló el hexano sumergiendo la mitad inferior del balón en un baño maría a 85°C durante 30 minutos. Se recogió el disolvente para su reutilización o eliminación apropiada.

FIGURA 4.6
DESTILACIÓN DE HEXANO



Fuente: Elaboración propia
Fotografía tomada en un Laboratorio de análisis fisicoquímicos.

10. Al finalizar la destilación, se enfriaron el balón y los viales ámbar en un desecador por 30 minutos. Luego se pesó para determinar la cantidad de aceite extraído, para lo cual se usó la siguiente expresión:

$$\% \text{ Aceite} = \frac{\text{Masa de aceite en gramos}}{\text{Masa de la muestra en gramos}} \times 100 \quad \text{Ec. 4.3}$$

e. Calidad del aceite

- ✓ Color
- ✓ Olor
- ✓ Apariencia

Análisis fisicoquímicos:

- ✓ Índice de peróxido
- ✓ Ácidos libres
- ✓ Índice de refracción

4.5 Procedimiento estadístico y análisis de datos

De la hipótesis general:

- ✓ **El número de etapas es determinante en la extracción de aceite de linaza.**

1. *Validación la hipótesis:*

Ho: El número de etapas no es determinante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.

Ho: Número de etapas = 0

Ha: El número de etapas es determinante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.

Ha: Número de etapas \neq 0

2. *Nivel de significancia:*

Se asume un nivel de confiabilidad de 99%, por lo tanto el nivel de significancia es 1% ($\alpha = 0.01$)

3. *Estadístico de prueba:*

Se evaluó si los datos siguen o no una distribución normal; teniendo así en el la tabla 10.16 la prueba de normalidad de los pesos de aceite de linaza de acuerdo al tiempo de extracción. Sabiendo que una etapa es igual a cada tiempo de extracción se determina que los datos de pesos de aceite de linaza según sifonadas también seguirán una curva de distribución normal; debiendo aplicar estadísticos paramétricos para validar la hipótesis siendo en este caso ANOVA.

4. *Decisión:*

De los resultados obtenidos en la tabla 10.16, se observa un valor de sigma (ρ) igual a 0.000 menor de 0.01, por lo tanto aceptamos la hipótesis alterna y comprobamos que el número de etapas es determinante en la extracción de aceite de linaza, este modelo tiene un $r^2 = 0.702$, lo que indica que el modelo tiene consistencia estadística de 70.2% para explicar la relación entre peso de aceite de linaza por etapas y número de etapas.

- ✓ **La relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza es relevante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.**

1. *Validación de hipótesis:*

Ho: La relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza no es relevante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.

$$Ho: r(v/m) = 0$$

Ha: La relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza es relevante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.

$$Ha: r(v/m) \neq 0$$

2. *Nivel de significancia:*

Se asume un nivel de confiabilidad del 99%, por lo tanto el nivel de significancia es 1% ($\rho = 0.01$).

3. *Estadístico de prueba:*

Se realizó la prueba de normalidad de datos por el método de Anderson-Darling, utilizando el programa estadístico Minitab versión 17.

4. Resultados:

De la tabla 10.17 se observa que al aplicar la prueba de Anderson Darling a los pesos de extracción de aceite de linaza obtenidos en los tiempos 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 120 minutos, se obtiene valores de (ρ) mayores de 0.01 por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los datos si presentan distribución normal por ello se deberá utilizar estadísticos paramétricos para la validación de las hipótesis debiendo aplicar ANOVA como se muestra en el gráfico 10.16.

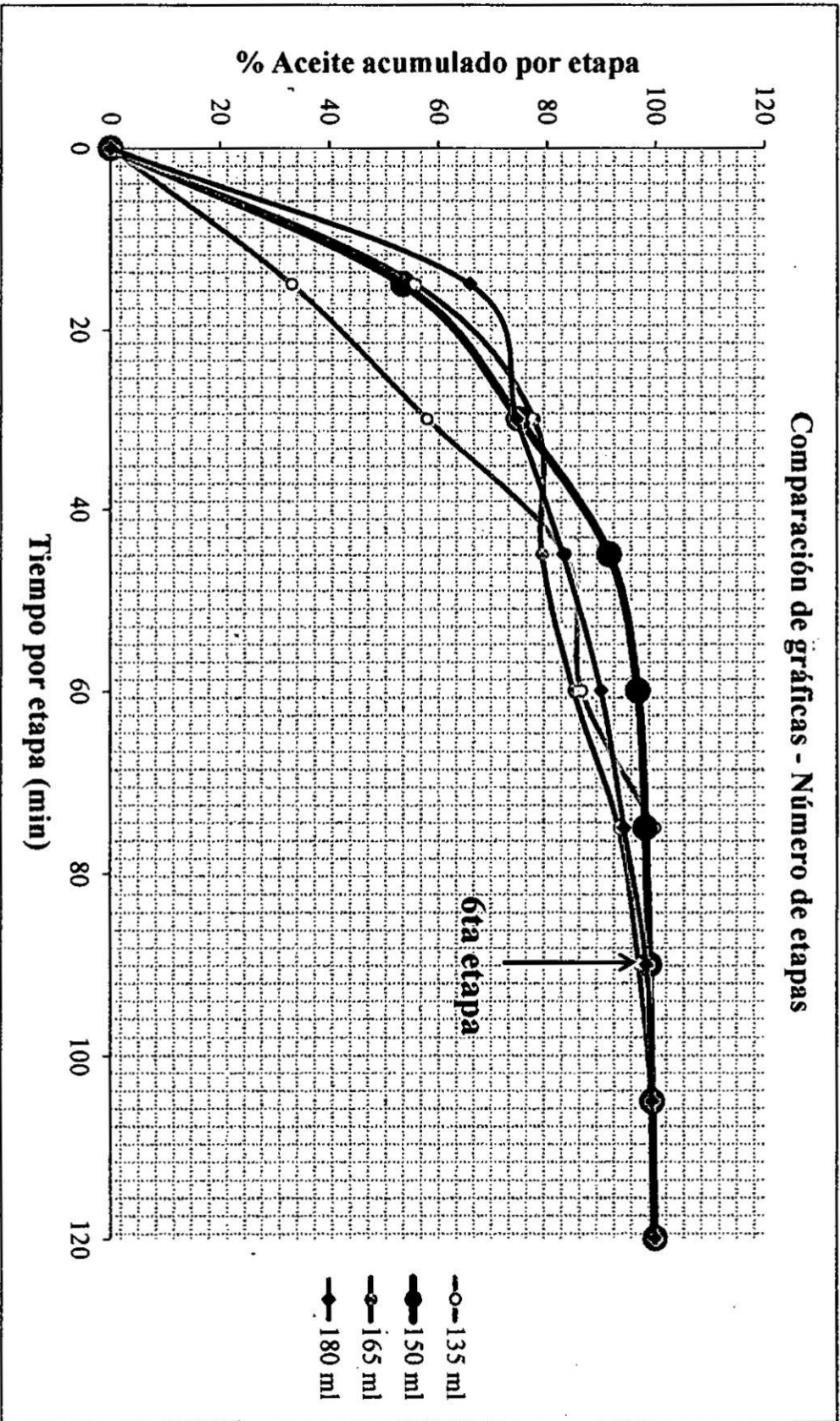
5. Decisión:

De los resultados en el gráfico 10.16, se tiene que el valor de sigma (ρ) es menor de 0.01, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la nula comprobando que la relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza SI es relevante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza. Asimismo, para explicar el comportamiento de la relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza, se puede aplicar la ecuación:

$$\text{Peso de aceite*Sifonada} = 4,937 - 0,3013 \text{ Masa} - 0,03256 \text{ Volumen} \\ + 0,002032 \text{ Masa*Volumen}$$

Teniendo un valor de $r^2=99.6\%$ lo que indica, que la ecuación mencionada puede explicar el modelo con una asertividad de 99.6%.

GRÁFICO 51
 NÚMERO DE ETAPAS OBTENIDAS POR EXTRACCIÓN SOXHLET CON 15 g Y RELACIÓN DE 9, 10, 11 Y 12 VS/MI



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la curva establecida por 150 ml de hexano y 15 g de linaza; es decir, una relación de 10mL de hexano/g de linaza o 10 L solvente/Kg de linaza (color rojo), presenta una distribución uniforme de los porcentajes acumulados de aceite por cada etapa de extracción versus el tiempo de proceso, en comparación con el resto de las curvas gráficas.

El punto de la curva establecida por 150 mL de hexano y 15 g de linaza exhibe comportamiento constante en el minuto 90; es decir que a partir de ese tiempo el proceso de extracción Soxhlet se da por finalizado, ya que la cantidad de aceite obtenido seguirá siendo constante.

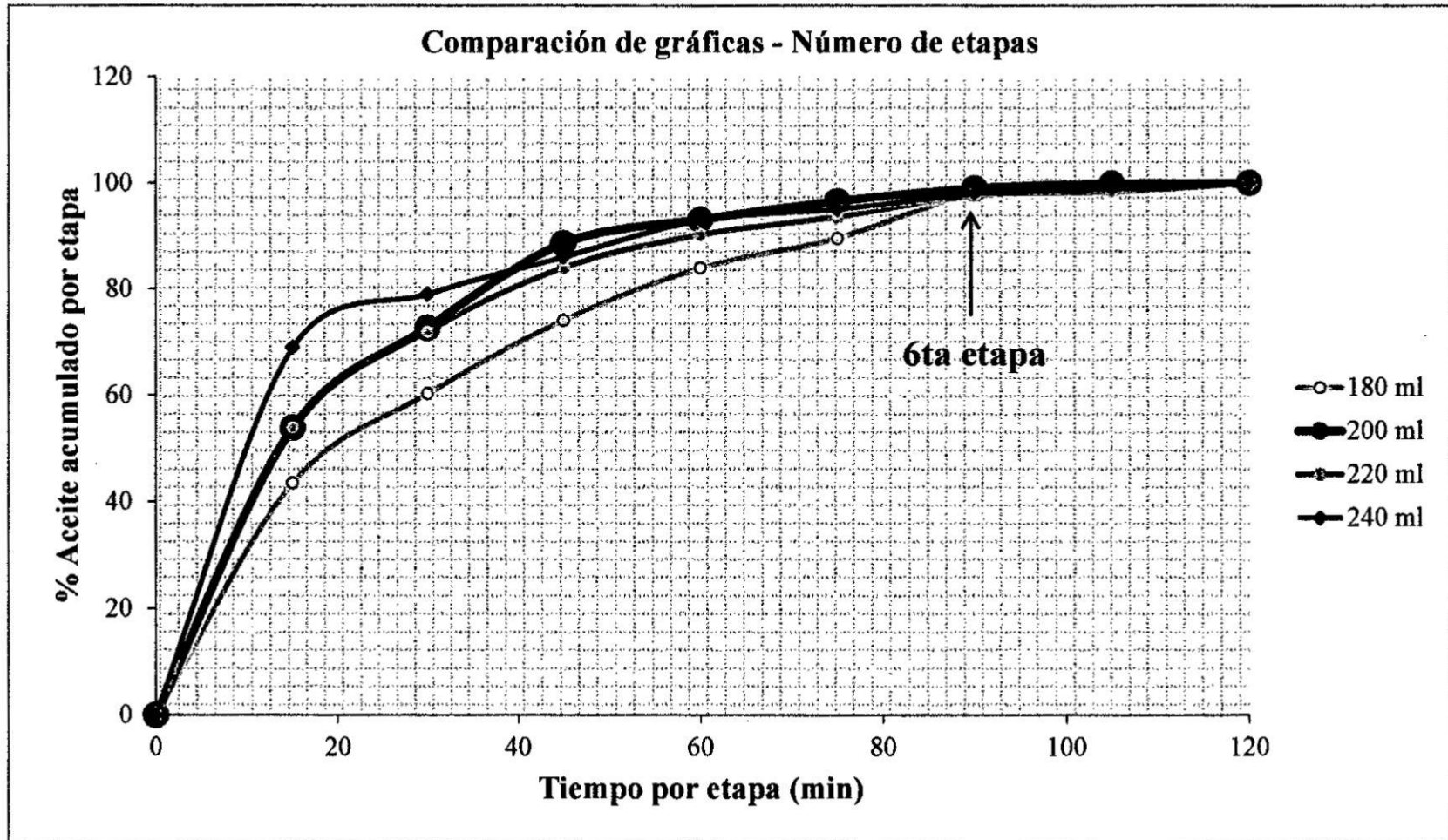
Como aprecia en la gráfica, durante 90 minutos se contabilizó las etapas del proceso Soxhlet, resultando 6 el número favorable de etapas para la extracción de aceite de linaza.

TABLA 5.2
ACEITE ACUMULADO POR ETAPA PARA CADA RELACIÓN DE
VOLUMEN DE SOLVENTE Y 20 g DE LINAZA

Tiempo (min)	% Aceite acumulado por etapa			
	9 (180 mL hexano/20 g de linaza)	10 (200 mL hexano/20 g de linaza)	11 (220 mL hexano/20 g de linaza)	12 (240 mL hexano/20 g de linaza)
15	43,503	51,365	53,843	68,927
30	60,238	61,556	71,866	78,992
45	74,069	73,284	84,008	85,993
60	83,963	83,376	90,266	92,999
75	89,541	94,565	93,533	94,997
90	97,922	98,437	97,709	97,997
105	98,796	98,652	98,268	98,842
120	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.2
NÚMERO DE ETAPAS OBTENIDAS POR EXTRACCIÓN SOXHLET CON 20 g Y RELACIÓN DE 9, 10, 11 Y 12
Vs/MI



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la curva establecida por 200 ml de hexano y 20 g de linaza; es decir, una relación de 10mL de hexano/g de linaza o 10 L solvente/Kg de linaza (color rojo), presenta una distribución uniforme de los porcentajes acumulados de aceite por cada etapa de extracción versus el tiempo de proceso, en comparación con el resto de las curvas gráficas.

El punto de la curva establecida por 200 mL de hexano y 20 g de linaza exhibe comportamiento constante en el minuto 90; es decir que a partir de ese tiempo el proceso de extracción Soxhlet se da por finalizado, ya que la cantidad de aceite obtenido seguirá siendo constante.

Como aprecia en la gráfica, durante 90 minutos se contabilizó las etapas del proceso Soxhlet, resultando 6 el número favorable de etapas para la extracción de aceite de linaza.

5.1.2 Rendimiento de las extracciones en el equipo Soxhlet

Se realizó una comparación entre las gráficas del volumen vs. el rendimiento de las extracciones Soxhlet obtenidas de las relaciones de 9, 10, 11 y 12 Vs/MI, para ambas cantidades de linaza, es decir, 15 g y 20 g.

TABLA 5.3
RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN ENTRE 15 g LINAZA Y
DIFERENTES VOLÚMENES DE HEXANO

Relación (Vs/MI)	15 gramos de linaza	
	Volumen de hexano (mL)	Rendimiento (%)
9	135	22,940
10	150	28,535
11	165	29,393
12	180	28,808

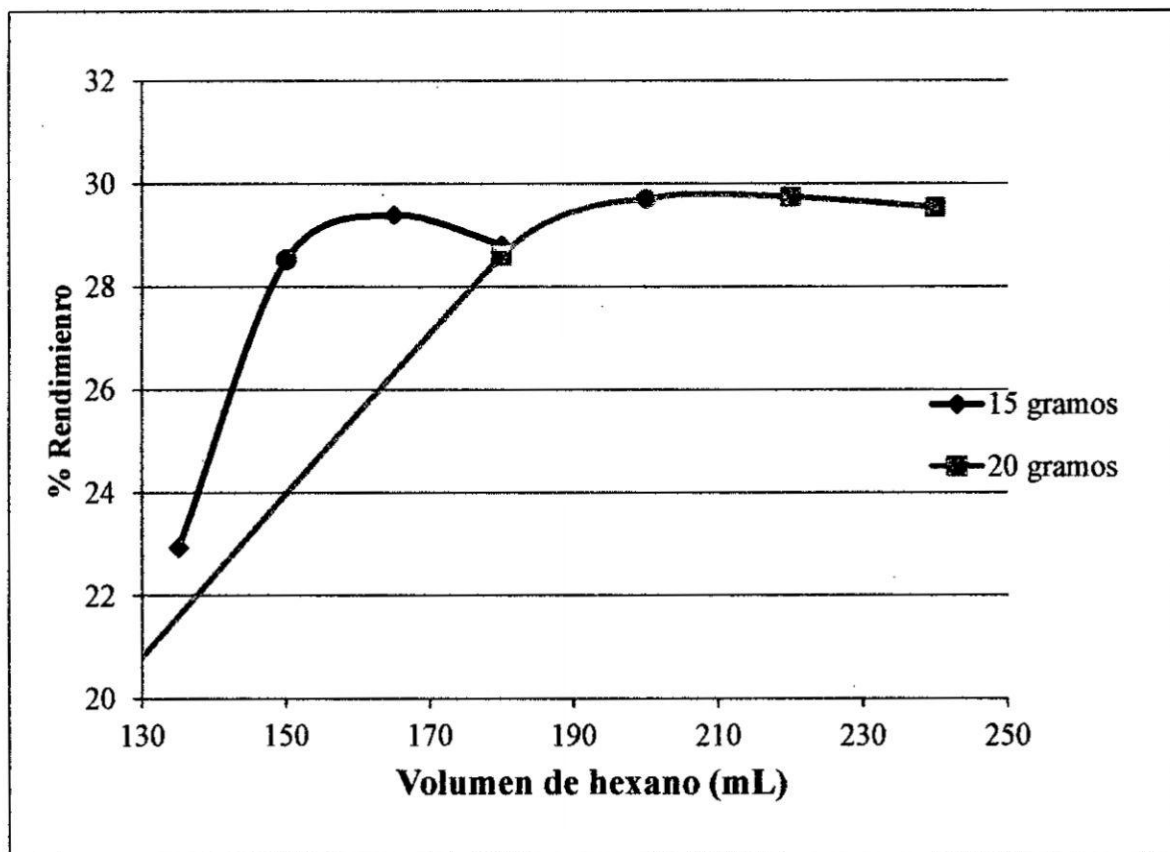
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.4
RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN ENTRE 20 g LINAZA Y
DIFERENTES VOLÚMENES DE HEXANO

Relación (Vs/MI)	20 gramos de linaza	
	Volumen de hexano (mL)	Rendimiento (%)
9	180	28,606
10	200	29,708
11	220	29,745
12	240	29,542

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.3
VOLUMEN DE HEXANO VS. RENDIMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos tanto como para 150 mL de hexano con 15 g de linaza y 200 mL con 20 g de linaza (en ambos casos la relación entre volumen de hexano y masa de linaza es 10) resultan cantidades similares, las cuales indican, una vez más que la relación favorable para el proceso de extracción de aceite de linaza es 10 L de solvente/ Kg de linaza).

- Rendimiento con 150 mL de hexano y 15 g de linaza: 28,535
- Rendimiento con 200 mL de hexano y 20 g de linaza: 29,708

5.2 Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo soxhlet modificado

Las condiciones favorables están dadas por:

a. Número de etapas de la extracción de aceite de linaza es 6

Estas etapas fueron determinadas por la gráfica de % Aceite acumulado por etapa vs. Tiempo por etapa como se muestra en las figuras 5.1 y 5.2.

b. La relación del volumen de hexano entre masa de linaza es 10 L de solvente/Kg de linaza, el cuál se determinó con dos cantidades diferentes de semillas de linaza y hexano:

- 150 mL de solvente y 15 g de linaza
- 200 mL de solvente y 20 g de linaza

5.3 Calidad del aceite de linaza extraído

La calidad del aceite de linaza extraído aplicando las condiciones favorables para un proceso Soxhlet a nivel laboratorio estuvo determinada por análisis fisicoquímicos.

TABLA 5.5
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL ACEITE DE LINAZA

Ensayo	Resultado
Índice de Peróxido (miliequivalente de peróxido/ Kg de muestra)	2,38
Ácidos Grasos Libres, % como Ácido Oleico	1,01
Índice de refracción a 20°C	1,482
Índice de saponificación mg KOH/g	190,93
Índice de Yodo g I ₂ /100g	186,6

Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

Inicialmente la hipótesis planteada se dio a modo de conjetura: 9 L de solvente/ Kg de linaza y 5 etapas en el proceso de extracción soxhlet.

Luego de procesar los datos numéricos obtenidos en el desarrollo de la experimentación, se construyó una gráfica de % acumulado de aceite de linaza por etapa vs. Tiempo (min) donde se evalúa que las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo soxhlet modificado son 6 etapas de extracción y la relación entre volumen de solvente y masa de linaza es 10 L de solvente / Kg de linaza. Para un mejor entendimiento ver las gráficas 5.1 y 5.2.

6.2 Contratación de resultados con otros estudios similares

En la tesis de titulación “Extracción y Caracterización de aceite de Linaza (*linum usitatissimum*) del Distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba, Departamento de Cajamarca” (Gallardo, Gisella -2009). La linaza peruana estuvo compuesta por 6,922% de humedad y el rendimiento más alto fue de 24,108% con tratamiento de molienda y extraído mediante prensado. Además, los resultados de los análisis fisicoquímicos de los aceites de linaza obtenidos fueron: densidad de 0,931 g/ml, índice de refracción de 1,476, índice de acidez entre 0,588 y 0,811 mg KOH/g de aceite, índice de peróxido en un rango de 0,256 – 1,123 mili equivalentes de oxígeno activo/kg de

aceite, índice de yodo entre 195,985 y 196,386 g I₂/100g e índice de saponificación entre 189,675 y 191,584 mg KOH / g de aceite.

En esta investigación la linaza presentó 7.78% de humedad y se obtuvo un rendimiento de 28.535% con 150 ml de hexano y 15 g de linaza y un 29.708% con 200 ml de hexano y 20 g de linaza. Por otro lado, los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite de linaza extraído fueron: densidad 0,9293 g/ml, índice de refracción 1,482, índice de acidez 0,59 mg KOH/g de aceite, índice de peróxido de 2,38 mili equivalentes de oxígeno activo/kg de aceite, índice de yodo de 186,60 g I₂/100g e índice de saponificación 190.93 mg KOH / g de aceite.

VII. CONCLUSIONES

- a) El número de etapas para la extracción Soxhlet de aceite de linaza es 6, ya que la gráfica de % acumulado de aceite por etapa vs. tiempo (min) construida con datos obtenidos experimentalmente, presenta un comportamiento constante en 90 min (6ta etapa del proceso Soxhlet), es decir que a partir de ese tiempo la extracción de aceite será máxima y el proceso habrá culminado como se aprecia en los gráficos 5.1. y 5.2.

- b) La relación favorable entre el volumen del solvente (hexano) y la masa de linaza es 10 L/Kg, ya que al realizar la comparación entre las gráficas de % acumulado de aceite por etapa vs. tiempo (min), como se observa en los gráficos 5.1 y 5.2, resulta que las curvas conformadas por 150 mL de solvente - 15 g de linaza y 200 mL de solvente - 20 g de linaza respectivamente, presentan una mejor distribución de los datos experimentales.

VIII. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda la instalación de un equipo refrigerado con recirculación cerrada para incrementar la eficiencia de enfriamiento el sistema de extracción Soxhlet, reducir riesgos por evaporación del solvente y reducir el consumo de agua potable.

- b) Investigar la extracción de aceite de diferentes semillas oleaginosas, para determinar la relación entre materia prima/solvente y el número de etapas con el fin de reducir el tiempo del proceso de extracción Soxhlet, sin afectar el rendimiento.

- c) Incentivar la implementación de este tipo de investigación, ya que por ser un proceso sencillo, podría alcanzar el éxito en el mercado nacional e internacional.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AINIA CENTRO TECNOLÓGICO. **El CO2 supercrítico revoluciona la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y química.** Publicado en SINC la Ciencia es Noticia. Disponible en: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/El-CO2-supercritico-revoluciona-la-industria-alimentaria-cosmetica-farmaceutica-y-quimica> articulo web. Consultado el 09 de abril de 2017.
2. AOCS. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society.** USA. AOCS Press, Champaign. 1998.
3. BAILEY, ALTON E. **Aceites y grasas industriales.** México. Editorial Reverté, S.A. 1984.
4. BAQUERO FRANCO, J. **Extracción de aceite de semillas oleaginosas.** Madrid. Editorial Alhambra S.A. 1980.
5. BERNAL DE RAMÍREZ, I. **Análisis de alimentos.** Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1993.
6. BODENBACH. **El aceite de linaza Supliendo una necesidad vital.** Disponible en: <http://linasana.com/Articles/Sp-Linasana-1.pdf>. Articulo web. Consultada el 16 marzo de 2016.
7. BOTANICAL ONLINE. **Propiedades de la semilla de lino y sus beneficios**
Disponible en: <http://www.botanical-online.com/alcaloideslinum.htm> articulo web. Consultado el 08 de abril del 2017.
8. CASERES, A. **Manual de Química General, con aplicaciones a la industria y con especialidad a la agricultura.** Madrid. Editorial D. Ángel Calleja. 1997.
9. CEFLA MIRANDA, K. **Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de las semillas de chía (Salvia Hispánica L.) mediante prensado.** Tesis de titulación. Quito. Escuela Politécnica Nacional. 2015.

10. DE LA PUERTA, G. **Química Orgánica General y Aplicada a la farmacia, medicina, industria, agricultura y artes.** Madrid. Editorial Fortanet S.A. 1869.
11. DORSA, R. **Desodorización.** en *Temas selectos en aceites y grasas*, Vol.1. Procesamiento (Eds) Jane Mara Block, Daniel Barrera-Arellano. AOCS Press, São Paulo, 2009
12. DURAN CORDOVA, J. **Comparación de ácidos grasos omega, 3, 6 y 9 en la semilla de lino (*Linum Usitattisimum*) ecuatoriana y canadiense por cromatografía de gases.** Tesis de titulación. Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2014.
13. FERNANDEZ GRACIA, I. **Obtención de aceite de orujo mediante extracción con fluidos supercríticos.** Tesis doctoral. Ciudad Real. Universidad de Castilla. 1999.
14. GALLARDO CAMARENA, Gisella Erika. **Extracción y Caracterización de aceite de Linaza (*linum usitatissimum*) del Distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba, Departamento de Cajamarca.** Tesis de Titulación. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2009.
15. GAMBUS, Alina. **Chemical Composition of linseed with different color of bran layer,** en *Polish Journal of food and Nutrition Science*. Vol. 12: 67 a 70. 2003.
16. GEANKOPLIS, C.J. **Procesos de Transportes y Operaciones Unitarias.** Tercera Edición. Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V. México, 1998.
17. GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA. **Estadística Agraria.** Disponible en:
<http://www.agriculturacajamarca.gob.pe/estadistica-agraria>, artículo web.
Consultada el 15 marzo de 2016.
18. G GONZÁLEZ CHAVARREA, Diana. **Diseño y Construcción de un Extractor Sólido-Líquido para la Obtención de Aceite de Semillas de Sambo y Zapallo.** Tesis de Titulación. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012.

19. HUTCHINS, A.M. Y SLAVIN, J.L. **Flaxseed's effects on sex hormone metabolism**, en *Flaxseed in Human Nutrition*. 126 a 149. 2003.
20. HEIN, M., **Química**. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., Impreso en Colombia. 1992.
21. McCABE, Warren y Otros. **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**. México. Editorial McGraw-Hill. Sexta Edición. 2002.
22. MINAG (Ministerio de Agricultura). **Estadísticas de la Dirección General de Información Agraria Perú**. 2007.
23. MORRIS, D. **Una Recopilación sobre sus Efectos en la Salud y nutrición**. Disponible en:
<http://flaxcouncil.ca/spanish/linaza-una-recopilacion-sobre-sus-efectos-en-la-salud-y-nutricion/> articulo web. Consultada el 10 de marzo del 2016.
24. OCAMPO C., R. y Otros. **Curso Práctico de Química Orgánica enfocado a la Biología y Alimentos**. Ciudad Real. Editorial la Mancha. Universidad de Castilla. 1999.
25. OCON, J. Y TOJO, G. **Problemas de Ingeniería Química. Operaciones básicas**. Chile. Editorial Aguilar de Santiago. Tomo II. 1970.
26. PASCAL CHAPMAN, G. **Caracterización físico-química del aceite de linaza del departamento de Cajamarca**, en *Revista Infinitum*. Vol.3: 2. Diciembre 2013.
27. PÉREZ, Cathy. **Evaluación comparativa de los rendimientos obtenidos mediante el proceso de extracción en aceites vegetales a partir de semillas oleaginosas**, en *Anales de la Universidad Metropolitana*. Vol. 9: 181 a 206. 2009.
28. PERRY, R. Y GREEN, D., **Manual del Ingeniero Químico** Editorial McGraw-Hill. 7ª. Edición, Tomos I y II. 1997.
29. QUIMINET. **Usos y aplicaciones del aceite de Linaza en la Industria**. Disponible en:

<https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-aceite-de-linaza-en-la-industria-33350.htm> artículo web. Consultado el 08 de abril del 2017.

30. REGITANO-D'ARCE, Mab, FERREIRA, T M. **Fuentes de aceites y grasas.** En *Temas selectos en aceites y grasas*. Vol 1. Procesamiento (Eds) Jane Mara Block, Daniel Barrera-Arellano. AOCS Press, São Paulo, 2009.
31. TEXTOS CIENTIFICOS. **Ácidos Grasos.** Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/quimica/acidos-grasos> archivo web. Consultado el 09 de abril del 2017.
32. TREYBAL, ROBERT E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Editorial McGRAW-HILL, Segunda Edición. México, 1980.
33. VALIENTE, A. **Diccionario de Ingeniería Química.** México. Addison Wasley Longman. 1999.
34. WADE, L. **Química Orgánica.** México. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Segunda Edición. 1993.

X. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuáles son las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo SOXHLET modificado?	Determinar las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo SOXHLET modificado.	Las condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo SOXHLET modificado son el número de etapas y la relación entre el volumen del solvente y la masa de linaza.	Y=Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo SOXHLET modificado	• Rendimiento	%	Ensayo experimental
				• Calidad del aceite	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos libres • Índice de refracción • Índice de yodo • Índice de saponificación 	Norma mexicana NMX-F066-SCFI-2008 "Aceite de linaza-Especificaciones"
SUB-PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Cuántas etapas son necesarias para realizar la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado?	a. Determinar las etapas de la extracción Soxhlet de aceite de linaza	a. El número de etapas de extracción Soxhlet de aceite de linaza es 5	X_1 = Número de etapas	• Etapas de extracción	<ul style="list-style-type: none"> • Número de etapas • Comportamiento de la gráfica 	Ensayo experimental
b. ¿Cuál es la relación favorable entre el volumen de solvente y masa de linaza?	b. Determinar la relación entre la masa de linaza y el volumen del solvente	b. La relación entre el volumen del solvente y la masa de linaza es 9 L/Kg	X_2 = Relación entre volumen de solvente/ masa de linaza	• Relación de extracción	• L de solvente/ Kg de linaza	Ensayo experimental

$$Y = f(X_1, X_2)$$

Y = Condiciones favorables para la extracción de aceite de linaza en un equipo Soxhlet modificado

X_1 = Número de etapas

X_2 = Relación entre volumen de solvente y masa de linaza

Anexo 2. Certificado de análisis de hexano



Hexanos

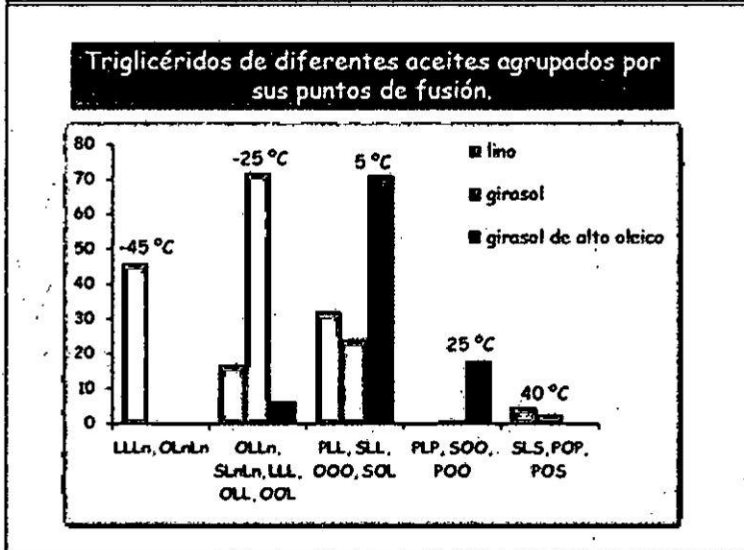
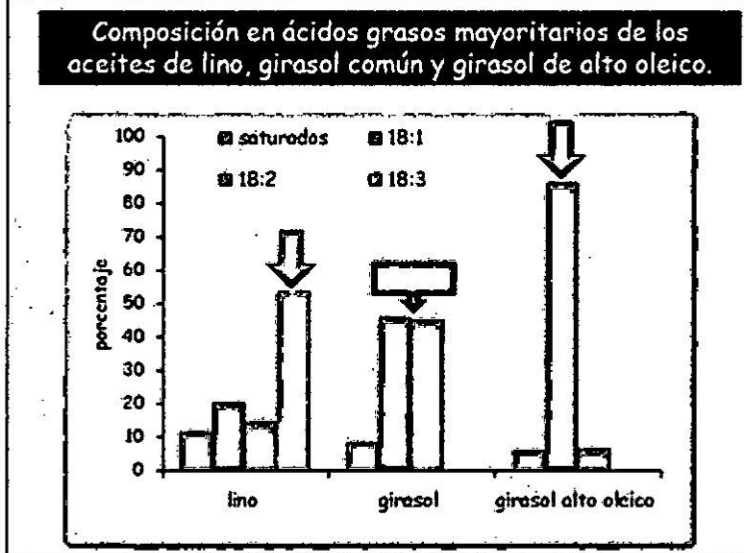
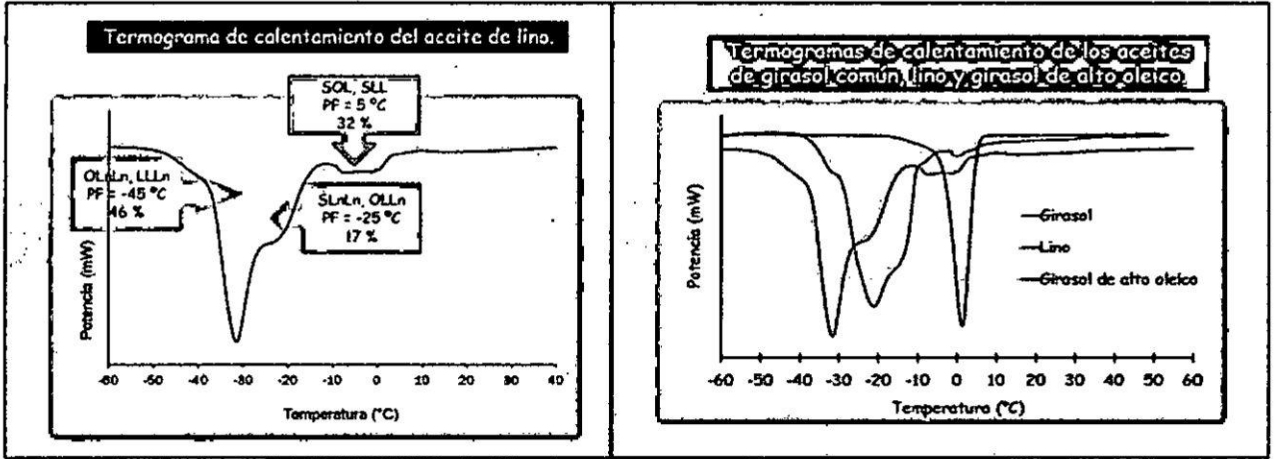
Baker Analyzed ACS Reactivo

No. de Producto: 2309
 No. de Lote: V14051
 Fecha de Manufactura:
 Feb. 17, 16

Certificado de Analisis

PRUEBAS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
Especificaciones ACS		
Ensayo (Suma de 5 isómeros total de hexanos y metilciclopentanos) (por CG)	Min: 98.5	99.70000 %
Color (APHA)	Máx: 10	5.0
Residuo Después de Evaporación	Máx: 0.001%	0.00100 %
Acido Titulable Soluble en agua (meq/g)	Máx: 0.0003	0.0001 (meq/g)
Compuestos del Azufre (como S)	Máx: 0.005%	0.00500 %
Toleno	Pasa prueba	Pasa prueba
Temperatura de Ebullición	68.7°C	68.7 °C
Densidad a 25°C (g/ml)	0.663	0.6630 g/ml

Anexo 3. Gráficas de Termoestabilidad del aceite de linaza



Anexo 4. Método 9071 B

METHOD 9071B

n-HEXANE EXTRACTABLE MATERIAL (HEM) FOR SLUDGE, SEDIMENT, AND SOIL SAMPLES

1.0 SCOPE AND APPLICATION

1.1 Method 9071 may be used to quantify low concentrations of oil and grease in soil, sediments, sludges, and other solid materials amenable to chemical drying and solvent extraction with n-hexane. Oil and grease is a conventional pollutant under 40 CFR 401.16 and generally refers to substances, including biological lipids and mineral hydrocarbons, that have similar physical characteristics and common solubility in an organic extracting solvent. As such, oil and grease is an operationally defined parameter, and the results will depend entirely on the extracting solvent and method of extraction. Method 9071 employs n-hexane as the extraction solvent with Soxhlet extraction and the results of this method are appropriately termed "n-hexane extractable material (HEM)". Section 1.2 lists the type of materials that may be extracted by this method. In the context of this method, "HEM" is used throughout this method and for operational purposes, may be considered synonymous with "oil and grease" within the limitations discussed below.

1.2 Specifically, Method 9071 is suitable for extracting relatively non-volatile hydrocarbons, vegetable oils, animal fats, waxes, greases, soaps, biological lipids, and related materials.

1.3 Method 9071 is not recommended for measuring materials that volatilize at temperatures below 85°C. Petroleum fuels from gasoline through #2 fuel oil may be partially lost during the solvent removal process.

1.4 Some crude oils and heavy fuel oils may contain materials that are not soluble in n-hexane, and recovery of these materials may be low.

2.0 SUMMARY OF METHOD

2.1 A representative portion of wet (as received) waste is added with concentrated HCl and chemically dried with magnesium sulfate or sodium sulfate. Magnesium sulfate monohydrate is used to dry acidified sludges as it will combine with 75% of its own weight in water in forming $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Anhydrous sodium sulfate is used to dry soil and sediment samples.

2.2 After drying, the HEM is extracted with n-hexane using a Soxhlet apparatus. The n-hexane extract is then distilled from the extract and the HEM is desiccated and weighed.

2.3 When necessary, a separate sample portion is evaluated for percent solids, and the dry weight fraction may be used to calculate the dry-weight HEM concentration of the soil, sediment, or waste.

3.0 DEFINITIONS

3.1 n-hexane extractable material (HEM, oil and grease): Material that is extracted from a sample using n-hexane and determined by this method. This material includes relatively non-volatile hydrocarbons, vegetable oils, animal fats, waxes, soaps, greases, and related matter.

3.2 Refer to Chapter One for additional definitions.

Internet

9071B - 1

Revision 2
April 1998

4.0 INTERFERENCES

4.1 This method is entirely empirical, and duplicate results having a high degree of precision can be obtained only by strict adherence to all details. The rate of cycling and time of extraction in the Soxhlet apparatus must be consistent and length of time required for drying and cooling extracted materials must be the same in order to generate consistent results. It is important that the procedures be performed as directed due to the varying solubilities of the different greases and heavy mineral oils.

4.2 Solvents, reagents, glassware, and other sample-processing hardware may yield artifacts that could affect the results. All solvents and reagents used in the analysis should be demonstrated to be free from interferences by processing a method blank with each analytical batch. Specific selection of reagents, solvent washes, or purification of solvents may be required. Use of plastic measuring devices, and/or plastic tubing attachments must be avoided.

4.3 Glassware should be cleaned by washing with hot tap water with detergent, rinsing with tap water and reagent water, and rinsing with solvent. Glassware may also be baked at 200-250 °C for 1 hour. Boiling flasks that are used to contain the extracted residues may be dried in an oven at 105-115°C and stored in a desiccator until used. Depending on the project DQOs, strict adherence to the washing and handling procedures cited above may not be necessary as long as the laboratory can demonstrate that alternative cleaning procedures yield acceptable method performance and meet method blank acceptance criteria.

4.4 A gradual increase in weight may result due to the absorption of oxygen; a gradual loss of weight may result due to volatilization. Extracted residues should be maintained in a desiccator during cooling and prior to weighing. Extracted residues should be weighed as soon as possible after cooling.

4.5 The presence of non-oily extractable substance such as sulfur compounds, organic dyes, and chlorophyll, may result in a positive bias. For the purpose of this method, all materials extracted and retained during this procedure are defined as HEM.

5.0 SAFETY

5.1 The toxicity or carcinogenicity of each reagent used in this method has not been precisely determined; however, each chemical should be treated as a potential health hazard. Exposure to these chemicals should be reduced to the lowest possible level. It is suggested that the laboratory perform personal hygiene monitoring of each analyst that uses this method. This monitoring should be performed using Occupational Safety and Health Administration (OSHA) or National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) approved personal hygiene monitoring methods. Results of this monitoring should be made available to the analyst.

5.2 n-Hexane has been shown to have increased neurotoxic effects over other hexanes and some other solvents. OSHA has proposed a time-weighted average (TWA) of 50 parts-per-million (ppm); NIOSH concurs that an 8-hour TWA/permissible exposure limit (PEL) of 50 ppm is appropriate for n-hexane; and the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) has published a threshold limit value (TLV) of 50 ppm for n-hexane. Inhalation of n-hexane should be minimized by performing all operations with n-hexane in a explosion-proof hood or well-ventilated area.

5.3 n-Hexane has a flash point of -23°C (-9°F), has explosive limits in air in the range of 1 to 7 percent, and poses a serious fire risk when heated or exposed to flame. n-Hexane can react vigorously with oxidizing materials. The laboratory should include procedures in its operations that address the safe handling of n-hexane.

5.4 Unknown samples may contain high concentrations of volatile toxic compounds. Sample containers should be opened in a hood and handled with gloves to prevent exposure.

5.5 This method does not address all safety issues associated with its use. The laboratory is responsible for maintaining a safe work environment and a current awareness file of OSHA regulations regarding the safe handling of the chemicals specified in this method. A reference file of material safety data sheets (MSDSs) should be available to all personnel involved in these analyses.

6.0 EQUIPMENT AND SUPPLIES

6.1 Soxhlet extraction apparatus.

6.2 Heating mantle - explosion-proof, with temperature control.

6.3 Boiling flask - 125-mL or appropriate size.

6.4 Analytical balance - capable of weighing 0.1 mg.

6.5 Vacuum pump, or other vacuum source.

6.6 Paper extraction thimble for Soxhlet apparatus.

6.7 Glass wool or small glass beads to fill thimble.

6.8 Grease-free, non-absorbent cotton - To remove possible interferences, each batch of cotton should be washed with n-hexane. Solvent washing may not be necessary if the laboratory can demonstrate that the unwashed cotton does not affect the performance of the method or that the concentration of HEM in the sample is so high that low contaminant concentration is insignificant.

6.9 Beakers - 100- 150-mL.

6.10 pH paper.

6.11 Porcelain mortar and pestle.

6.12 Extraction flask - 150-mL or appropriate size.

6.13 Waterbath or steam bath-explosion-proof - capable of maintaining a temperature of at least 85°C.

6.14 Distilling apparatus - For removing n-hexane from extract.

6.14.1 Distilling head-Claisen (VWR Scientific No 26339-005, or equivalent), includes Claisen-type connecting tube and condenser.

6.14.2 Distillation adapter (used to attach distilling head and to the waste collection flask for recovery of solvent).

6.14.3 Distillate collection flask (attached to the distilling adaptor for collection of the distilled solvent).

6.14.4 Ice bath or recirculating chiller (to aid in the condensation and collection of the distilled solvent).

6.15 Desiccator - Cabinet or jar type, capable of holding boiling flasks during cooling and storage.

6.16 Tongs - for handling the boiling flasks.

6.17 Glass fiber filter paper - Whatman No. 40 or equivalent.

6.18 Boiling chips - Silicon carbide or fluoropolymer.

7.0 REAGENTS

7.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available. Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

7.2 Reagent water. All references to water in this method refer to reagent water, as defined in Chapter One.

7.3 Concentrated hydrochloric acid (HCl).

7.4 Magnesium sulfate monohydrate. Prepare $MgSO_4 \cdot H_2O$ by spreading a thin layer in a dish and drying in an oven at $150^\circ C$ overnight. Store in a tightly sealed glass container until used.

7.5 Sodium sulfate, granular, anhydrous (Na_2SO_4). Purify by heating at $400^\circ C$ for 4 hours in a shallow tray, or by precleaning the sodium sulfate with methylene chloride. If the sodium sulfate is precleaned with methylene chloride, a method blank must be analyzed, demonstrating that there is no interference from the sodium sulfate. Store in a tightly sealed glass container until used.

7.6 n-Hexane. Purity of 85%, 99.0% minimum saturated C_6 isomers, residue less than 1 mg/L. Boiling point, $69^\circ C$.

7.7 Hexadecane($CH_3(CH_2)_{14}CH_3$)/stearic acid ($CH_3(CH_2)_{22}COOH$). 1:1 spiking solution. Prepare in acetone at a concentration of 2 mg/mL each.

Weigh 200 ± 2 mg of stearic acid and 200 ± 2 mg hexadecane into a 100 mL volumetric flask and fill to the mark with acetone. The total concentration of this stock is 4000 mg/L (ppm) HEM. This standard may be used for spiking samples and preparing laboratory control samples. Store in a glass container with a fluoropolymer-lined cap at room temperature. Shield from light.

Note: The spiking solution may require warming for complete dissolution of stearic acid.

Anexo 5. Datos de la experimentación

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 9 L/KG

EXPERIMENTO 1:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00110 g

Volumen de hexano: 135 mL

TABLA 10.1
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/135ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	23,01294	23,14827	0,13533	0,13533	33,191
2	30	22,35224	22,45334	0,10110	0,23643	57,987
3	45	23,81918	23,92258	0,10340	0,33983	83,347
4	60	23,35685	23,36952	0,01267	0,35250	86,454
5	75	23,14353	23,19876	0,05523	0,40773	100,000
6	90	-	-	-	-	-
7	105	-	-	-	-	-
8	120	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

0,40773

W aceite y balón: 107,01033 g

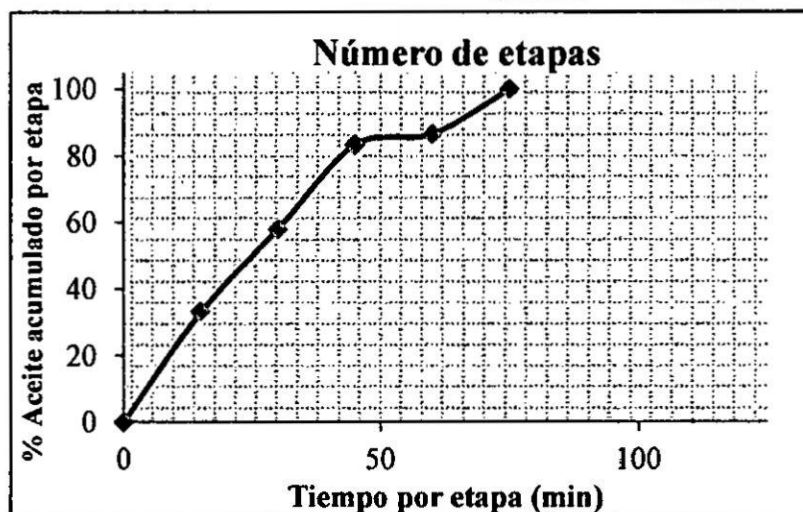
W balón: 103,97685 g

W aceite: 3,03348 g

W aceite total: 3,44121 g

Rendimiento: 22,940 %

GRÁFICO 10.1
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/135ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

No se realizó una segunda corrida experimental en el caso de 15 g de linaza y 135 ml de hexano, porque en la primera corrida experimental, hubo un déficit de hexano y como consecuencia no se produjo el número de sifonadas adecuada.

✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón: 113,19537 g
 W balón: 109,71284 g
 W aceite: 3,48253 g
 W linaza inicial: 15,00134 g
Rendimiento: 23,215 % (seis etapas)

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 10 L/KG

EXPERIMENTO 2:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00073 g
 Volumen de hexano: 150 mL

TABLA 10.2
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO – 15g LINAZA/150ml HEXANO

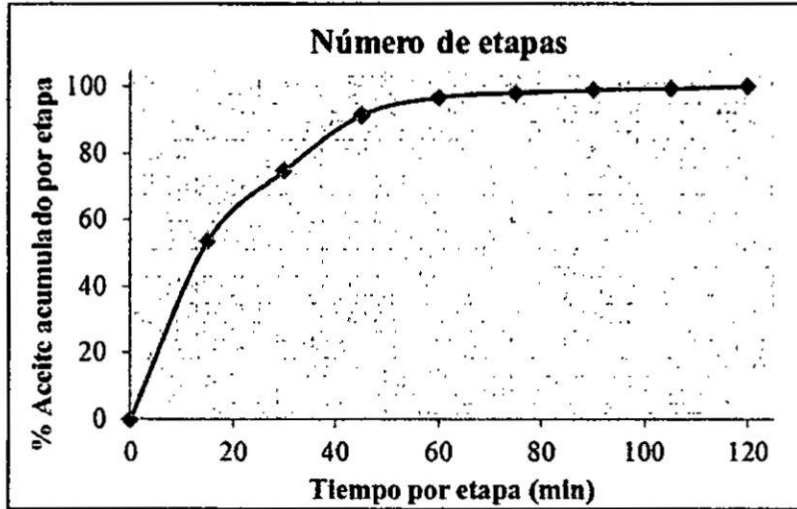
Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	13.38793	13.73861	0.35068	0.35068	53.527
2	30	13.36351	13.50298	0.13947	0.49015	74.815
3	45	13.46663	13.57577	0.10914	0.59929	91.474
4	60	13.42585	13.46065	0.03480	0.63409	96.785
5	75	13.42266	13.43198	0.00932	0.64341	98.208
6	90	13.35994	13.36501	0.00507	0.64848	98.982
7	105	13.31459	13.31773	0.00314	0.65162	99.461
8	120	13.40672	13.41025	0.00353	0.65515	100.000

Fuente: Elaboración propia

0.65515

W aceite y balón: 107,38201 g
 W balón: 103,75668 g
 W aceite: 3,62533 g
 W aceite total: 4,28048 g
Rendimiento: 28,535 %

GRÁFICO 10.2
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/150ml HEXANO



✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón: 88,39325 g
 W balón: 84,01682 g
 W aceite: 4,37643 g
 W linaza inicial: 15,00052 g
Rendimiento: 29,175 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00143 g
 Volumen de hexano: 150 mL

TABLA 10.3
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/150ml HEXANO

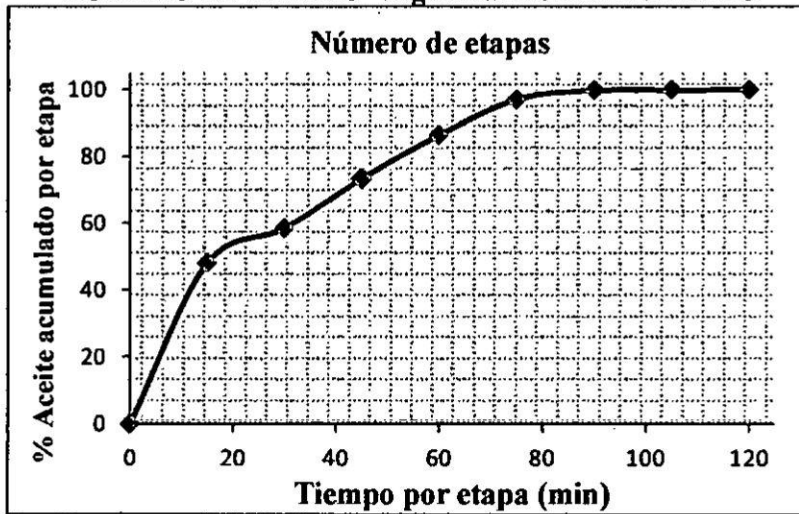
Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	13.40135	13.72480	0.32345	0.32345	48.108
2	30	13.29723	13.36713	0.06990	0.39335	58.505
3	45	13.36874	13.46931	0.10057	0.49392	73.463
4	60	13.4172	13.50399	0.08675	0.58067	86.366
5	75	13.41465	13.48675	0.07210	0.65277	97.089
6	90	13.45890	13.47785	0.01895	0.67172	99.908
7	105	13.32731	13.32768	0.00037	0.67209	99.963
8	120	13.38612	13.38637	0.00025	0.67234	100.000

Fuente: Elaboración propia

0.67234

W aceite y balón: 107,24914 g
 W balón: 103,66301 g
 W aceite: 3,58613 g
 W aceite total: 4,25847 g
Rendimiento: 28,387 %

GRÁFICO 10.3
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/150ml HEXANO



✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón: 88,44856 g
 W balón: 85,10424 g
 W aceite: 4,34432 g
 W linaza inicial: 15,00053 g
 Rendimiento: 28,961 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 11 L/KG

EXPERIMENTO 3:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00260 g

Volumen de hexano: 165 mL

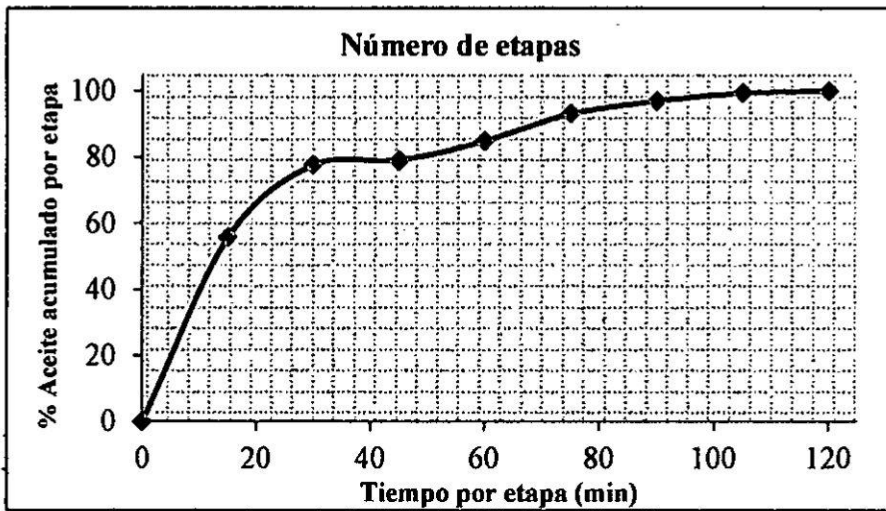
TABLA 10.4
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/165ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	9.96723	10.32644	0.35921	0.35921	55.781
2	30	10.07243	10.21363	0.14120	0.50041	77.708
3	45	9.97712	9.98605	0.00893	0.50934	79.095
4	60	9.76254	9.79992	0.03738	0.54672	84.900
5	75	10.70396	10.75804	0.05408	0.60080	93.298
6	90	10.38221	10.40599	0.02378	0.62458	96.990
7	105	9.94763	9.96343	0.01580	0.64038	99.444
8	120	10.36221	10.36579	0.00358	0.64396	100.000
				0.64396		

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 134,21720 g
 W balón: 130,45143 g
 W aceite: 3,76577 g
 W aceite total: 4,40973 g
 Rendimiento: 29,393 %

GRÁFICO 10.4
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/165ml HEXANO



acción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 114,53334 g
 W balón: 110,14156 g
 W aceite: 4,39178 g
 W linaza inicial: 15,00321 g
 Rendimiento: 29,272 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00415 g
 Volumen de hexano: 165 mL

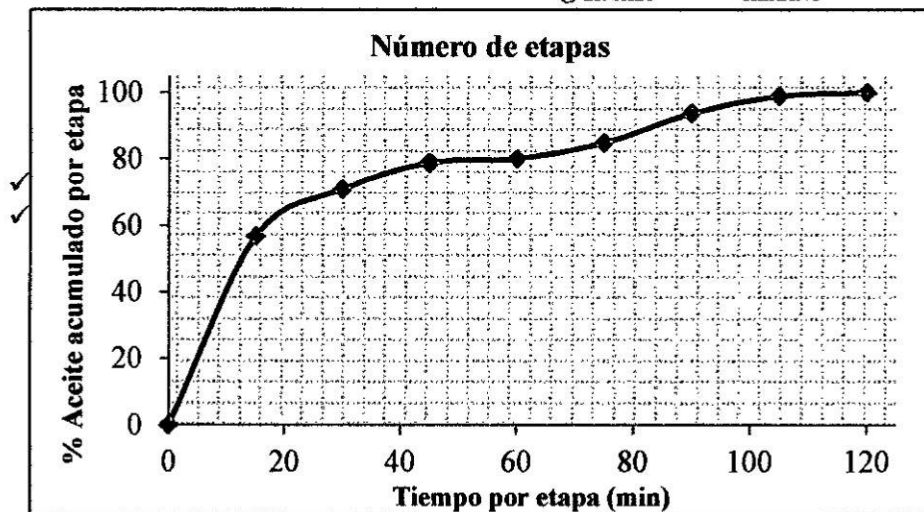
TABLA 10.5
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/165ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W vial (g)	W vial y aceite (g)	W aceite (g)	W aceite acumulado por etapa (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.30732	10.67697	0.36965	0.36965	56.795
2	30	10.99537	11.08722	0.09185	0.46150	70.907
3	45	11.37311	11.42545	0.05234	0.51384	78.949
4	60	11.27723	11.28474	0.00751	0.52135	80.103
5	75	10.76472	10.7959	0.03118	0.55253	84.894
6	90	10.38583	10.44409	0.05826	0.61079	93.845
7	105	10.74402	10.77787	0.03385	0.64464	99.046
8	120	10.21635	10.22256	0.00621	0.65085	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón:	91,37125 g
W balón:	87,64132 g
W aceite:	3,72993 g
W aceite total:	4,38078 g
Rendimiento:	29,197 %

GRÁFICO 10.5
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/165ml HEXANO



✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón:	99,96023 g
W balón:	95,61297 g
W aceite:	4,34726 g
W linaza inicial:	15,00087 g
Rendimiento:	28,980 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 12 L/KG

EXPERIMENTO 4:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00494 g
Volumen de hexano: 180 mL

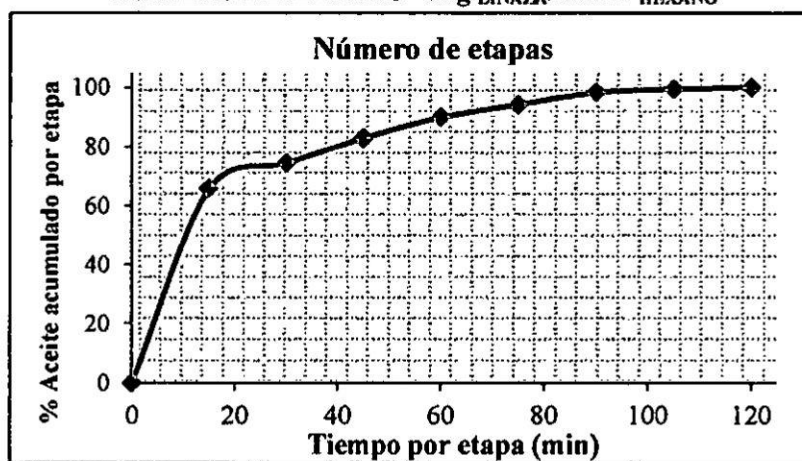
TABLA 10.6
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/180ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	9.75934	9.87736	0.11802	0.11802	65.852
2	30	9.78623	9.80168	0.01545	0.13347	74.473
3	45	9.92130	9.93662	0.01532	0.14879	83.021
4	60	9.88953	9.90208	0.01255	0.16134	90.023
5	75	9.99912	10.00671	0.00759	0.16893	94.258
6	90	10.12343	10.13090	0.00747	0.17640	98.427
7	105	10.07140	10.07322	0.00182	0.17822	99.442
8	120	9.73636	9.73736	0.00100	0.17922	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 114,95352 g
W balón: 110,81917 g
W aceite: 4,14335 g
W aceite total: 4,32257 g
Rendimiento: 28,808 %

GRÁFICO 10.6
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/180ml HEXANO



✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 91,89657 g
W balón: 87,46519 g
W aceite: 4,43138 g
W linaza inicial: 15,00356 g
Rendimiento: 2!

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 15,00302 g

Volumen de hexano: 180 mL

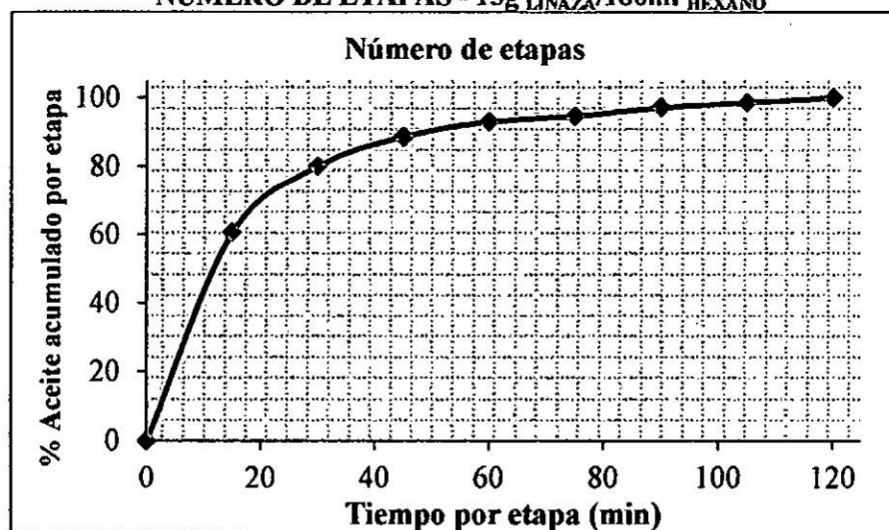
TABLA 10.7
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 15g LINAZA/180ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.32294	10.46042	0.13748	0.13748	60.706
2	30	9.81143	9.85539	0.04396	0.18144	80.117
3	45	10.18703	10.20672	0.01969	0.20113	88.811
4	60	9.92207	9.93174	0.00967	0.21080	93.081
5	75	9.89963	9.90307	0.00344	0.21424	94.600
6	90	10.03362	10.03949	0.00587	0.22011	97.192
7	105	9.75161	9.75475	0.00314	0.22325	98.578
8	120	9.87241	9.87563	0.00322	0.22647	100.000
				0.22647		

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 102,97510 g
 W balón: 98,81434 g
 W aceite: 4,16076 g
 W aceite total: 4,38723 g
 Rendimiento: 29,242 %

GRÁFICO 10.7
NÚMERO DE ETAPAS - 15g LINAZA/180ml HEXANO



✓ Extracción completa, sin toma de alicuotas por etapa:

W aceite y balón: 92,19736 g
 W balón: 87,88788 g
 W aceite: 4,30948g
 W linaza inicial: 15,03314 g
 Rendimiento: 28,667 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE
LINAZA DE 9 L/KG

EXPERIMENTO 5:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00602 g

Volumen de hexano: 180 mL

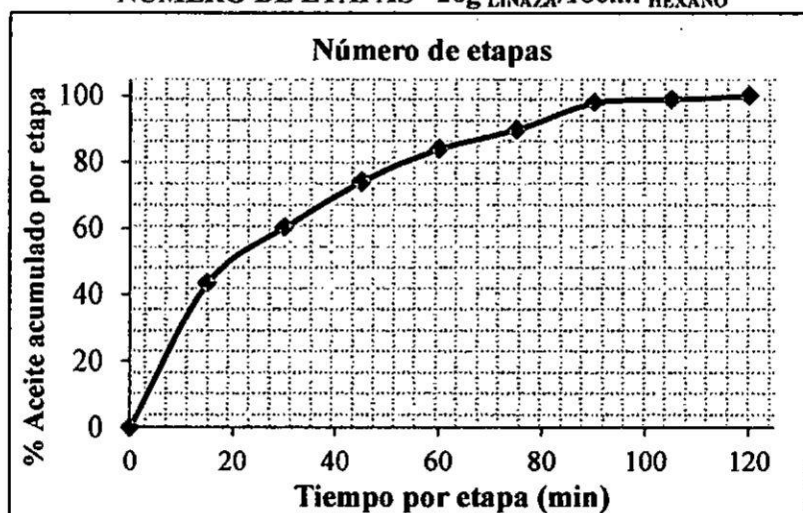
TABLA 10.8
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/180ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vid} (g)	W _{vid y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.26950	10.66851	0.39901	0.39901	43.503
2	30	10.59764	10.75113	0.15349	0.55250	60.238
3	45	10.22832	10.35518	0.12686	0.67936	74.069
4	60	10.08263	10.17338	0.09075	0.77011	83.963
5	75	10.33325	10.38441	0.05116	0.82127	89.541
6	90	10.67380	10.75067	0.07687	0.89814	97.922
7	105	10.24967	10.25769	0.00802	0.90616	98.796
8	120	10.55042	10.56146	0.01104	0.91720	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 92,19321 g
 W balón: 87,38740 g
 W aceite: 4,80581 g
 W aceite total: 5,72301 g
 Rendimiento: 28,606 %

GRÁFICO 10.8
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/180ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón: 135,68063 g
 W balón: 129,80641 g
 W aceite: 5,87422 g
 W linaza inicial: 20,00057 g
Rendimiento: 29,370 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00015 g
 Volumen de hexano: 180 mL

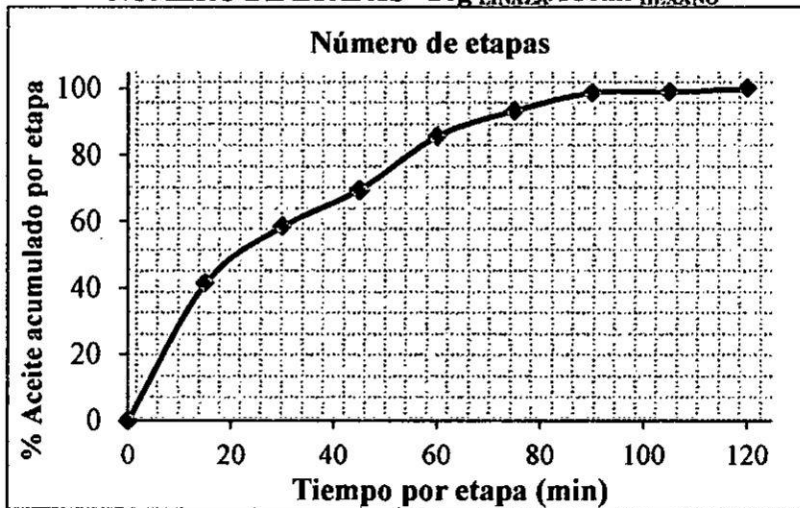
TABLA 10.9
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO – 20g LINAZA/180ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W vital (g)	W vital y aceite (g)	W aceite (g)	W aceite acumulado por etapa (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.26950	10.65674	0.38724	0.38724	41.409
2	30	10.59764	10.75702	0.15938	0.54662	58.451
3	45	10.22832	10.33223	0.10391	0.65053	69.563
4	60	10.08263	10.23311	0.15048	0.80101	85.654
5	75	10.33325	10.40452	0.07127	0.87228	93.275
6	90	10.67380	10.72483	0.05103	0.92331	98.732
7	105	10.24967	10.25111	0.00144	0.92475	98.886
8	120	10.55042	10.56084	0.01042	0.93517	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 104,59410 g
 W balón: 99,56374 g
 W aceite: 5,03036 g
 W aceite total: 5,96553 g
Rendimiento: 29,827%

GRÁFICO 10.9
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/180ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 110,39564 g
 W balón: 104,57031 g
 W aceite: 5,82533 g
 W linaza inicial: 20,00308 g
 Rendimiento: 29,122 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 10 L/KG

EXPERIMENTO 6:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00176 g
 Volumen de hexano: 200 mL

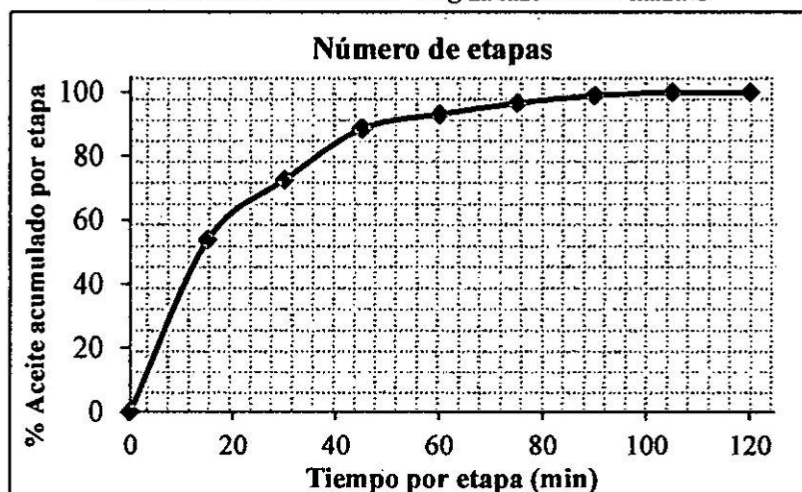
TABLA 10.10
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/200ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	13.32209	13.86753	0.54544	0.54544	53.844
2	30	13.36211	13.55246	0.19035	0.73579	72.635
3	45	13.43276	13.59456	0.16180	0.89759	88.607
4	60	13.42083	13.46569	0.04486	0.94245	93.036
5	75	13.39385	13.42930	0.03545	0.97790	96.535
6	90	13.36210	13.38664	0.02454	1.00244	98.958
7	105	13.43725	13.44656	0.00931	1.01175	99.877
8	120	13.36827	13.36952	0.00125	1.01300	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 107,97961 g
 W balón: 103,05047 g
 W aceite: 4,92914 g
 W aceite total: 5,94214 g
 Rendimiento: 29,708%

GRÁFICO 10.10
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/200ml HEXANO



✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 116,80293 g
 W balón: 110,84207 g
 W aceite: 5,96086 g
 W linaza inicial: 20,00021 g
 Rendimiento: 29,804 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

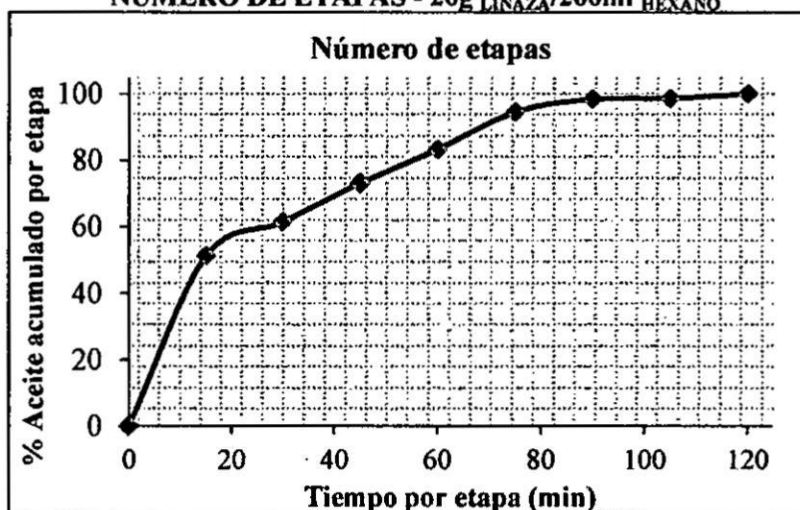
Masa de linaza: 20,00211 g
 Volumen de hexano: 200 mL

TABLA 10.11
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/200ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.84151	11.34602	0.50451	0.50451	51.365
2	30	9.98182	10.08191	0.10009	0.60460	61.556
3	45	10.83257	10.94777	0.11520	0.71980	73.284
4	60	10.66108	10.76020	0.09912	0.81892	83.376
5	75	10.09254	10.20244	0.10990	0.92882	94.565
6	90	10.54126	10.57929	0.03803	0.96685	98.437
7	105	10.78382	10.78593	0.00211	0.96896	98.652
8	120	9.97821	9.99145	0.01324	0.98220	100.000
Fuente: Elaboración propia				0.98220		

W aceite y balón: 135,09785 g
 W balón: 130,12416 g
 W aceite: 4,97369 g
 W aceite total: 5,95589 g
 Rendimiento: 29,776%

GRÁFICO 10.11
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/200ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 93,50965 g
 W balón: 87,59124 g
 W aceite: 5,91841 g
 W linaza inicial: 20,00137 g
Rendimiento: 29,590 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 11 L/KG

EXPERIMENTO 7:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00701 g
 Volumen de hexano: 220 mL

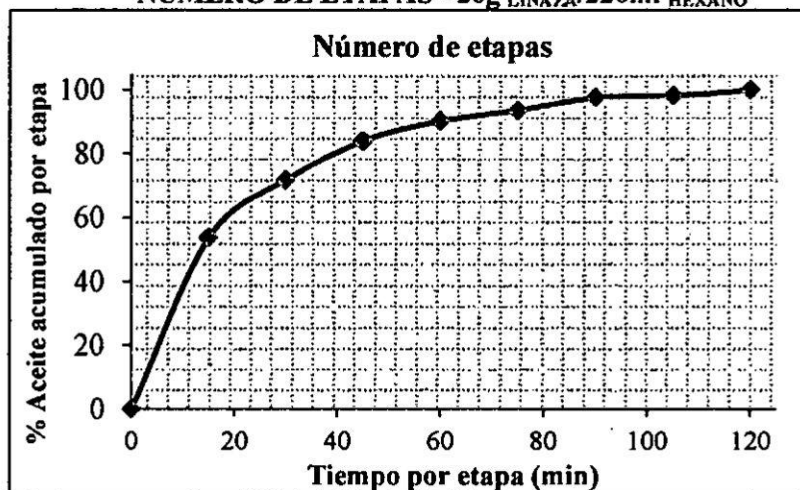
TABLA 10.12
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/220ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	9.76126	10.07623	0.31497	0.31497	53.843
2	30	9.78974	9.89517	0.10543	0.4204	71.866
3	45	9.92615	9.99718	0.07103	0.49143	84.008
4	60	9.90410	9.94071	0.03661	0.52804	90.266
5	75	10.06701	10.08612	0.01911	0.54715	93.533
6	90	9.96625	9.99068	0.02443	0.57158	97.709
7	105	10.07147	10.07474	0.00327	0.57485	98.268
8	120	10.11072	10.12085	0.01013	0.58498	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 115,99158 g
 W balón: 110,62544 g
 W aceite: 5,36614 g
 W aceite total: 5,95112 g
Rendimiento: 29,745%

GRÁFICO 10.12
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/220ml HEXANO



✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 105,12563 g
 W balón: 99,14520 g
 W aceite: 5,98043 g
 W linaza inicial: 20,00085 g
 Rendimiento: 29,901 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00151 g
 Volumen de hexano: 220 mL

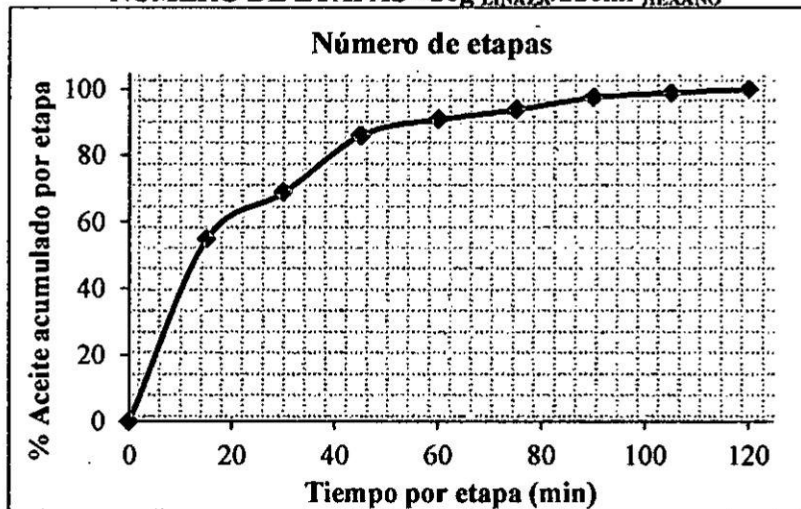
TABLA 10.13
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/220ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W vital (g)	W vital y aceite (g)	W aceite (g)	W aceite acumulado por etapa (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	10.45717	10.75399	0.29682	0.29682	54.836
2	30	9.68712	9.76336	0.07624	0.37306	68.921
3	45	9.82470	9.91755	0.09285	0.46591	86.074
4	60	9.97136	9.99723	0.02587	0.49178	90.853
5	75	9.78152	9.79731	0.01579	0.50757	93.770
6	90	10.25017	10.27089	0.02072	0.52829	97.598
7	105	9.97821	9.98530	0.00709	0.53538	98.908
8	120	9.76155	9.76746	0.00591	0.54129	100.000

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 90,58764 g
 W balón: 85,16645 g
 W aceite: 5,42119 g
 W aceite total: 5,96248 g
 Rendimiento: 29,810%

GRÁFICO 10.13
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/220ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

✓ *Extracción completa, sin toma de alicuotas por etapa:*

W aceite y balón: 90,75063 g
 W balón: 84,79858 g
 W aceite: 5,95205 g
 W linaza inicial: 20,00128 g
Rendimiento: 29,758 %

PARA UNA RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SOLVENTE Y MASA DE LINAZA DE 12 L/KG

EXPERIMENTO 8:

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00687 g
 Volumen de hexano: 240 mL

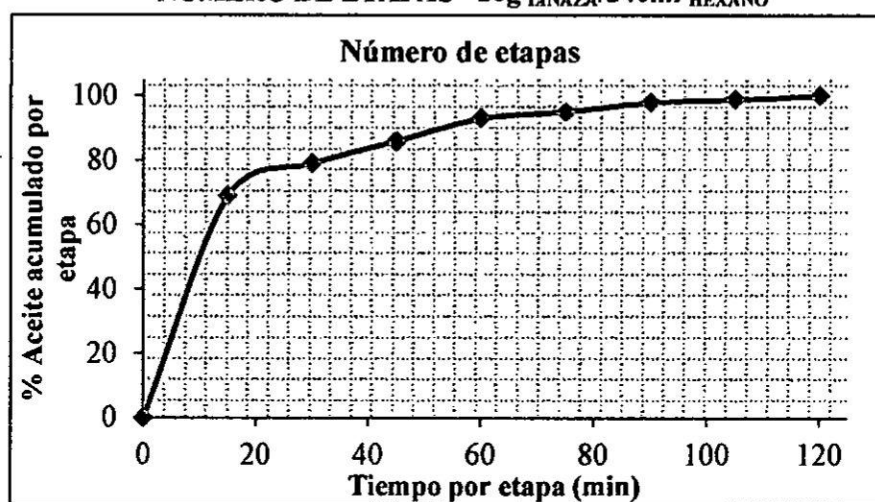
TABLA 10.14
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO – 20g LINAZA/240ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W _{vial} (g)	W _{vial y aceite} (g)	W _{aceite} (g)	W _{aceite acumulado por etapa} (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	9.97378	10.12382	0.15004	0.15004	68.927
2	30	9.76423	9.78614	0.02191	0.17195	78.992
3	45	10.00127	10.01651	0.01524	0.18719	85.993
4	60	10.12576	10.14101	0.01525	0.20244	92.999
5	75	10.72987	10.73422	0.00435	0.20679	94.997
6	90	10.41325	10.41978	0.00653	0.21332	97.997
7	105	9.98076	9.98260	0.00184	0.21516	98.842
8	120	10.56230	10.56482	0.00252	0.21768	100.000
				0.21768		

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 115,14607 g
 W balón: 109,45324 g
 W aceite: 5,69283 g
 W aceite total: 5,91051 g
Rendimiento: 29,542 %

GRÁFICO 10.14
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/240ml HEXANO



✓ Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:

W aceite y balón: 116,88902 g
 W balón: 110,90336 g
 W aceite: 5,98566 g
 W linaza inicial: 20,00815 g
 Rendimiento: 29,916 %

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL

Masa de linaza: 20,00187 g
 Volumen de hexano: 240 mL

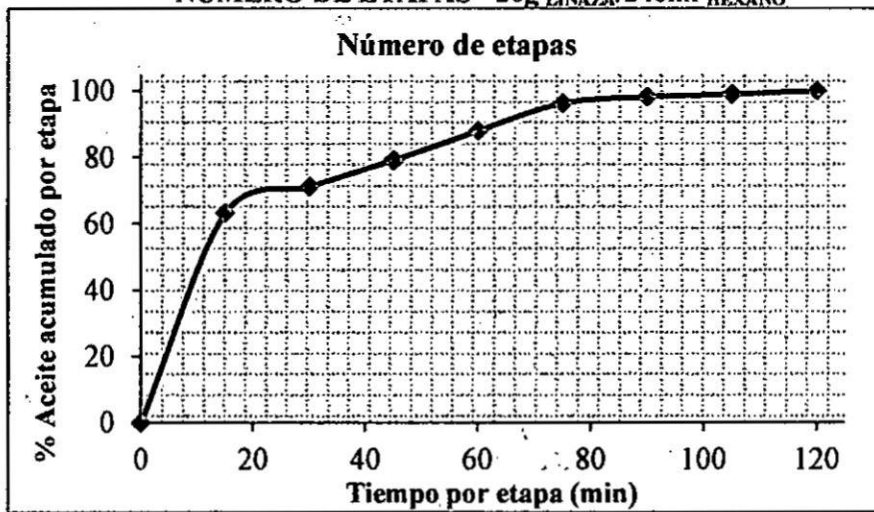
TABLA 10.15
DATOS DEL ACEITE EXTRAÍDO - 20g LINAZA/240ml HEXANO

Etapa	Tiempo (min)	W vial (g)	W vial y aceite (g)	W aceite (g)	W aceite acumulado por etapa (g)	% Acumulado de aceite por etapa
1	15	23.85123	24.00341	0.15218	0.15218	63.256
2	30	23.21470	23.23397	0.01927	0.17145	71.266
3	45	22.47991	22.49890	0.01899	0.19044	79.157
4	60	23.25795	23.27914	0.02119	0.21163	87.965
5	75	22.69770	22.71767	0.01997	0.23160	96.266
6	90	23.16882	23.17337	0.00455	0.23614	98.156
7	105	23.18762	23.18958	0.00196	0.23811	98.972
8	120	23.31807	23.32055	0.00248	0.24058	100.002
				0.24058		

Fuente: Elaboración propia

W aceite y balón: 93,38714 g
 W balón: 87,68944 g
 W aceite: 5,69770 g
 W aceite total: 5,93828 g
Rendimiento: 29,689 %

GRÁFICO 10.15
NÚMERO DE ETAPAS - 20g LINAZA/240ml HEXANO



Fuente: Elaboración propia

✓ *Extracción completa, sin toma de alícuotas por etapa:*

W aceite y balón: 136,13657 g
 W balón: 130,16785 g
 W aceite: 5,96872 g
 W linaza inicial: 20,00078 g
Rendimiento: 29,842 %

Anexo 6. Análisis estadísticos de datos experimentales

De la hipótesis general:

- ✓ El número de etapas es determinante en la extracción de aceite de linaza

Cálculo de ANOVA:

Resultados de ANOVA con la aplicación del software estadístico SPSS versión 23.

TABLA 10.16
ANOVA DE UN FACTOR- PRUEBAS DE EFECTOS INTER-SUJETOS

Variable dependiente: Peso de aceite por etapa

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sigma(p)
Modelo corregido	986	7	141	40,023	0,000
Intersección	644	1	644	182,847	0,000
Sifonadas	986	7	141	40,023	0,000
Error	384	109	3,523		
Total	2,042	117			
Total corregido	1,370	116			

a. R al cuadrado = ,720 (R al cuadrado ajustada = ,702)

Fuente: Base de datos

- ✓ La relación entre el volumen de solvente y la masa de linaza es relevante en la extracción Soxhlet de aceite de linaza.

Prueba de normalidad de datos:

TABLA 10.17
RESULTADOS DE LA PRUEBA ANDERSON DARLING

Tiempo de extracción	Anderson Darling	Sigma (p)	Decisión
15	0.489	0.185	Sigue distribución normal
30	0.270	0.620	Sigue distribución normal
45	0.571	0.114	Sigue distribución normal
60	0.5891	0.016	Sigue distribución normal
75	0.567	0.117	Sigue distribución normal
90	0.730	0.044	Sigue distribución normal
105	1.805	0.005	No sigue distribución normal
120	0.546	0.072	Sigue distribución normal

H₀: Los datos presentan normalidad

H_a: Los datos no presentan normalidad

Cálculo de ANOVA:

A continuación se presentan los resultados de ANOVA con la aplicación del software estadístico Minitab versión 17.

GRÁFICO 10.16

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Modelo	2	0.369225	0.122275	322.62	0.000	
Lineal	2	0.369225	0.075912	262.51	0.000	
Masa	1	0.075912	0.075912	262.51	0.000	
Volumen	1	0.075912	0.075912	262.51	0.000	
Interacciones de 2 términos	1	0.218001	0.218001	1041.04	0.000	
Masa*Volumen	1	0.218001	0.218001	1041.04	0.000	
Error	4	0.000209	0.000209			
Total	7	0.370662				

Resumen del modelo						
	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (ajust.)		
	0.0144709	99.77%	99.60%	99.10%		
Coeficientes codificados						
Término	Efecto	Coef.	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0.16502	0.00512	32.27	0.000	
Masa	0.19422	0.09741	0.00512	19.04	0.000	1.00
Volumen	0.19422	0.09741	0.00512	19.04	0.000	1.00
Masa*Volumen	0.32015	0.16502	0.00512	32.27	0.000	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas:
$\text{Peso de aceite*5ifonada} = 4.937 - 0.3013 \text{ Masa} - 0.03256 \text{ Volumen} + 0.002032 \text{ Masa*Volumen}$

**Anexo 7. Norma mexicana NMX-F-066-SCFI-2008 “Aceite de linaza –
Especificaciones”**

**ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES
ACEITE DE LINAZA - ESPECIFICACIONES**

**ANIMAL AND VEGETABLE FATS AND OILS
LINSEED OIL-SPECIFICATIONS**

0 INTRODUCCIÓN

Las especificaciones que se establecen en esta norma, solo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto se utilicen materias primas e ingredientes de calidad satisfactoria , se apliquen técnicas de elaboración apropiadas y se realicen en locales e instalaciones adecuadas, que aseguren que el producto cumpla con las especificaciones señaladas en esta norma. Este aceite es solamente aplicable a usos industriales.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece las especificaciones mínimas de calidad que debe cumplir el producto denominado Aceite de Linaza y que deberán ser cumplidas por los fabricantes de este producto para los actos de comercialización con las personas físicas y morales que las utilicen para fabricación de productos industriales tales como pinturas y recubrimientos en general.

2 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de la presente norma se deben consultar las siguientes normas oficiales mexicanas y normas mexicanas vigentes o las que las sustituyan:

NOM-002-SCFI-1993

Productos pre-envasados, contenido neto, tolerancias y métodos de verificación. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de octubre de 1993.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Aceite crudo de linaza - Es un líquido graso de color amarillo pálido obtenido por expresión mecánica y/o por extracción por solventes, provenientes de la semilla de linaza (**Linum usitatissimum**).

3.2 Aceite de linaza refinado.- Es el producto obtenido del aceite crudo de linaza cuando este es sometido a un proceso de refinación.

4 CLASIFICACIÓN Y DESIGNACIÓN DEL PRODUCTO

El producto objeto de esta norma se clasifica en un tipo con un grado de calidad, designándose como Aceite de Linaza.

5 ESPECIFICACIONES

El aceite de linaza en su único tipo y grado de calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones:

5.1 Sensoriales:

5.1.1 Olor: Característico del producto.

5.1.2 Sabor: Característico del producto.

5.1.3 Apariencia: Líquido libre de cuerpos extraños a 293K (20°C).

5.2 Físicas y químicas:

El aceite de linaza debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas en las Tablas 1 y 2:

T A B L A 1: Especificaciones

ESPECIFICACIONES	MINIMO	MAXIMO
5.2.1 Ácidos grasos libres*		8.0
5.2.2 Humedad y materia volátil, en %*		0,5
5.2.3 Color*		Obscuro Típico
5.2.4 Impurezas insolubles, en %*		0,1
5.2.5 Materia insaponificable en %**	0,7	1,5
5.2.6 Índice de refracción a 313K (40°C) n_D **	1,472	1,475
5.2.7 Índice de yodo cgI_2/g **	169	196
5.2.8 Índice de saponificación $mg KOH/g$ **	188	196
5.2.9 Densidad relativa (20°C/agua20°C)**	0,914	0,922
5.2.10 Aceite mineral	Negativo	

*Ref. 10.2; **Ref 10.5

TABLA 2 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE ACEITE DE LINAZA (*Linum usitatissimum*)

ÁCIDOS GRASOS	MÍNIMO	MÁXIMO
5.3.1 Acido palmítico C16:0	4,0	7,0
5.3.2 Acido esteárico C18:0	2,0	5,0
5.3.3 Acido oleico C18:1	12,0	34,0
5.3.4 Acido linoléico C18:2	17,0	24,0
5.3.5 Acido linolénico C18:3	35,0	60,0

Ref. 10.2

5.3 Materia extraña objetable

El producto objeto de esta norma debe de estar libre de cualquier materia extraña.

5.4 Contaminantes químicos

El producto objeto de esta norma no debe contener ningún contaminante químico extraño al mismo aceite y que pueda afectar sus propiedades para las aplicaciones en que el aceite se utiliza normalmente.

Anexo 8. Análisis del aceite de linaza extraído por método Soxhlet



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS LASAQ N°09-2017-DQ

SOLICITANTE: Victor Raúl Condori Callata
PRODUCTO DECLARADO: Aceite de Linaza
NÚMERO DE MUESTRAS: Uno
CANTIDAD RECIBIDA: 25 ml
MARCA: sin marca
FORMA DE PRESENTACIÓN: En botella de vidrio ámbar
MUESTREO POR: Muestra proporcionada por el solicitante
FECHA DE RECEPCIÓN: 22 de Mayo del 2017
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO: 05 de Junio del 2017
ENSAYOS SOLICITADOS: FÍSICO QUÍMICO

ENSAYO	RESULTADOS
1.- Índice de Peróxido (interferencia de Pérdida % de muestra)	2.75
2.- Índice de Ácidos Trig. KOH necesario para neutralizar 1g de muestra)	0.39
3.- Acción Grasa Líbica % como Ácido Oleico	1.01
4.- Índice de Refracción, 20°C	1.452
5.- Densidad a 20°C (g/cm ³)	0.9272
6.- Índice de Saponificación, mg KOH/g	197.81
7.- Índice de Yodo (g/100g)	130.60

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 963.17
- 2.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 943.18
- 3.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 943.19
- 4.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 923.08
- 5.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 923.09
- 6.- AOAC International Official Methods of Analysis 19th Edition, 2012, 923.09
- 7.- Método de Kjeldahl

Atentamente:

Dr. Juan Carlos Pabón
JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS QUÍMICO



DIRECCIÓN
DR. Víctor Raúl Condori Callata
DIRECTORA DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA