



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICA INDUSTRIAL

TÍTULO:

**EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-
QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD
GEORGIA 06-G, LAFQA-UNAN, ENERO-JUNIO 2017.**

Autores:

Br. Freddy Joel Mojica Cruz

Br. Marvin Francisco Sánchez Sánchez

Br. Yader Esmir Mairena Mairena

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio

Asesor Metodológico

MSc. Sergio Ramírez Lanzas

Managua, 21 de Agosto del 2017

Deléitate así mismo en Jehová. Y él te concederá las peticiones de tu corazón. Encomienda a Jehová tu camino. Y confía en él: y el hará.

Salmos 37:3-5

DEDICATORIA

“A Dios, a mis padres, familia y amigos”

Freddy Mojica

DEDICATORIA

A Dios

Por su infinita misericordia, por darme salud, ser el manantial de vida y proveer lo necesario para seguir adelante día a día y así lograr mis objetivos, además de su gran bondad y amor, que ha permitido que llegue hasta este punto de mi carrera.

A mi Padre

Por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi Madre

Aunque ya no está aquí, pero sé que desde el cielo me ve en todo momento, y está orgullosa de mí, siendo mi motivación a seguir luchando.

A mi esposa

Por darme mucho amor y motivarme siempre a seguir luchando en este tren de la vida.

A mi hija

Para que vea en mí un ejemplo a seguir y que en un futuro sea una persona de bien.

A mis Profesores

Por el apoyo y motivación para la culminación de mi carrera profesional, por haberme transmitidos los conocimientos obtenidos y haberme llevado pasó a paso en el aprendizaje e impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional. Aquellos que participaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A mis amig@s

Por darme apoyo incondicional en el momento que los necesite.

Marvin Sánchez

DEDICATORIA

A Dios:

Por ser el creador del universo y de todo lo que en él habita, por darme la maravillosa oportunidad de ser humano, tener familia y amigos, por regalarme cada día de su inmensurable; amor, confianza, espíritu, sabiduría, salud e inteligencia.

A mis padres:

Melba Mairena Cruz y Juan Camilo Mairena Estrada, por ser después de Dios, la fuerza que me ayuda a trazar mi camino, por engendrarme valores, por regalarme amor, consejos y conocimientos, por ser la clave que me inspira a no desistir, por ayudarme cada día a conquistar el éxito y por hacer de mí alguien que busca en todo momento ser una mejor persona.

A mis hermanos y hermanas:

Por ser parte de mi vida, brindarme su apoyo en todas las maneras posibles, por creer en mí y motivarme a superar retos de la vida.

A mis demás familiares:

En especial a aquellos tíos, primos y sobrinos que han depositado en mí mucha de su confianza, esfuerzos, apoyo económico y moral cuyos nombres no escribo, porque no cabrían en esta página.

A mis amigos:

Por regalarme el valor de su amistad y estar conmigo en buenos y malos momentos.

Yader Mairena

AGRADECIMIENTOS

“La gratitud es la memoria del corazón (Jean Baptiste Massieu)”.

Agradecemos eternamente a Dios por darnos la vida y ser el guía de nuestro camino.

A nuestros padres, cuyo esfuerzo y motivación jamás han desistido para que emprendamos por el camino estrecho y logremos forjarnos de bien intentando cada día ser personas con disciplina e integridad.

A nuestros familiares y amigos, por el apoyo incondicional que nos han mostrado para ayudarnos a alcanzar esta pequeña meta cuyo logro es el principio de un largo camino.

A nuestro Tutor: PhD. Danilo López Valerio, quien nos ha guiado en cada una de las etapas de esta investigación. Gracias por su constante motivación.

A la MSc. Rosa María González, por todo su apoyo de manera desinteresada lo cual ha sido fundamental para lograr concluir este trabajo.

A aquéllos profesores que nos han compartido mucho de sus conocimientos para que pudiésemos formarnos como excelentes profesionales de la Química Industrial.

Al MSc. Roger Jaime Manzanarez, por permitirnos con mucha disposición utilizar el Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos del Departamento de Química de la UNAN-Managua.

Por otra parte, agradecemos a la Lic. Dania Martí, por ayudarnos a agilizar el préstamo de reactivos, materiales y el Laboratorio 107 del Departamento de Química de la UNAN-Managua, así mismo al Lic. (i). Yesler Bermúdez, por ayudarnos en el proceso de compra de materiales y reactivos para el desarrollo de la investigación y al Especialista Fernando López por su contribución en revisión del anexo A8.

Freddy Mojica, Marvin Sánchez y Yader Mairena

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA



RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Freddy Joel Mojica Cruz, Marvin Francisco Sánchez Sánchez y Yader Esmir Mairena Mairena; estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN–Managua), con números de carnet 11042416, 09045254 y 11043440 respectivamente, al haber cursado y aprobado el pensum de la carrera Licenciatura en Química Industrial ofertada por la Facultad de Ciencias e Ingenierías por medio del Departamento de Química, expresamos con seguridad, verdad e integridad que el trabajo Monográfico titulado: **“Extracción por Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de Arachis Hypogaea L. (Maní), Variedad Georgia 06-G, LAFQA-UNAN, Enero-Junio 2017”**. Escrito aquí, es de nuestra autoría y originalidad, expresando, que los datos plasmado en ente trabajo, son obtenidos bajo una experimentación real. Como apoyo se ha consultado y citado cada una de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Br. Freddy Joel Mojica

Br. Marvin Francisco Sánchez

Br. Yader Esmir Mairena

Aspirantes al Título de Licenciado en Química industrial

UNAN-Managua

Managua, 04 de julio del 2017

OPINIÓN DEL TUTOR

Managua, 04 de julio del 2017

Dirigida a: MSc. Rosa María Gonzales

Dir. Dpto. de Química

UNAN-Managua

La monografía titulada “Extracción por Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de *Arachis Hypogaea* L., (Maní), Variedad Georgia 06-G, en el LAFQA-UNAN, Enero-Junio 2017”, ha sido realizada con autenticidad por los Br; Freddy Joel Mojica Cruz, Marvin Francisco Sánchez Sánchez y Yader Esmir Mairena Mairena bajo la tutoría del PhD. Danilo López Valerio.

Este estudio, sirve para emprender investigaciones vinculadas al campo de la Ciencia y Tecnología de los alimentos, Agroindustria, Química de los alimentos y otras áreas de la ciencia que estén relacionadas con Procesos Industriales y control de calidad en la producción de aceite de maní, además los resultados obtenidos son herramientas que podrían evaluarse para realizar estudios de optimización de proceso y refinación del aceite de maní por métodos alternativos que no tienen muchos estudios (Refinación Orgánica) para obtener un aceite con un valor agregado.

Con certeza, digo que los Bachiller: Freddy Mojica, Marvin Sánchez y Yader Mairena han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración de la presente Monografía para optar al título de Licenciado en Química Industrial.

PhD. Danilo López Valerio

UNAN–Managua

Departamento de Química

Telf.: 00(505) – 2278 6769

Extensión: 155

RESUMEN

Palabras claves: *Extracción, Aceite de Arachis Hypogaea L, Análisis Físico-Químicos, Condiciones Operacionales.*

Este trabajo consiste en la extracción mecánica y caracterización Físico-Química del aceite de Arachis Hypogaea L. (Maní), variedad Georgia 06-G. La extracción se realizó con una prensa hidráulica a escala de laboratorio con capacidad de 500 g.

La materia prima caracterizada presentó los siguientes resultados: humedad 5,54 %, materia seca 94,46 %, cenizas 2,04 %, contenido de aceite 48 %, proteínas 30 % y carbohidratos 14,42 %.

Se implementó un diseño de experimento bajo especificaciones Taguchi (método estadístico). Las condiciones operacionales para la extracción de aceite por prensado en frío son: temperatura 23 °C, tiempo 30 min y presión 7,32 MPa; y por prensado en caliente: temperatura 100 °C, tiempo 15 min y presión 7,32 MPa según el diseño de experimento. Las condiciones operacionales optimizada son: temperaturas de 100 °C, tiempo 30 min y presión 7,32 MPa y se logró obtener a nivel experimental un rendimiento de hasta 66,40%.

En lo que respecta a la calidad del aceite, esta se definió mediante análisis fisicoquímicos, los mensurandos son: % de ácidos grasos libres (0,868 %), índice de Acidez ($1,725 \frac{mg KOH}{g}$), índice de yodo ($94,338 \frac{cg}{g}$), índice de peróxido ($1,999 \frac{meq O_2}{Kg}$), índice de saponificación ($193,297 \frac{mg KOH}{g}$), humedad y materia volátil (0,098 %), densidad relativa (0,915), densidad aparente ($0,912 \frac{g}{mL}$) y Rancidez (Negativo). Los parámetros de calidad evaluados están en el rango de valores establecidos por normativas nacionales e internacionales.

ABSTRACT

Keywords: Extraction, Arachis Hipogaea L. Oil, Physical-Chemical Analysis, Operational Conditions.

This work consists in in the mechanic extraction and Physical-Chemical characterization of the Arachis Hipogaea L. (Peanut) Oil, variety Georgia 06-G. The extraction was realized with a hydraulic press on lab scale, with a capacity of 500 g.

Characterized raw material showed the next results: Humidity 5, 54 %, Dry Matter 94, 46 %, Ashes 2, 04 %, Oil Content 48 %, Protein 30 % and Carbohydrates 14, 42 %.

An experiment design was implemented under Taguchi specifications. The operational conditions to extract the oil by cold pressing are: Temperature 23 °C, Time 30 mins. And Pressure 7, 32 Mpa; and by hot pressing: Temperature 100 °C, Time 15 mins. And Pressure 7, 32 MPa according to the design of the experiment.

Optimized operating conditions are: Temperature of 100°C, Time 30 min and Pressure 7, 32 MPa, and a yield of up to 66.40% is achieved.

With regard to the quality of the oil, which was defined by physicochemical analysis, the mensurands are: % of free fatty acids (0,868 %), acidity index $\left(1,725 \frac{mg KOH}{g}\right)$, iodine index $\left(94,338 \frac{cg}{g}\right)$, peroxide index $\left(1,999 \frac{meq O_2}{Kg}\right)$, saponification index $\left(193,297 \frac{mg KOH}{g}\right)$, humidity and volatile matter (0,098 %), relative density (0,915), bulk density $\left(0,912 \frac{g}{mL}\right)$ and rancidity (Negative). The quality parameters evaluated are in the range of values established by national and international regulations.

ÍNDICE

	Página
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Antecedentes.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Generalidades de la planta de maní.....	8
2.1.1 El Maní.....	8
2.1.2 Origen.....	9
2.1.3 Descripción botánica y taxonómica de la planta de Maní.....	9
2.1.4 Condiciones edafoclimáticas.....	11
2.1.5 Métodos de siembra.....	11
2.1.6 Aflatoxinas.....	13
2.1.7 Composición del maní.....	14
2.1.8 Propiedades químicas.....	14
2.1.9 Propiedades nutricionales.....	15
2.1.10 El maní en Nicaragua.....	17
2.1.11 Producción en Nicaragua.....	18
2.1.12 Producción mundial.....	19
2.1.13 Exportaciones.....	20
2.1.14 Usos de la semilla del <i>Arachis Hypogaea</i> L., (Maní).....	20
2.2 Lípidos.....	22
2.3 Triglicéridos.....	24
2.4 Ácidos grasos.....	24
2.4.1 Ácidos grasos saturados:.....	25
2.4.2 Ácidos grasos insaturados:.....	25
2.5 Aceites.....	26
2.5.1 Aceites vegetales.....	26
2.5.2 Aceites vírgenes y crudos.....	26

2.5.3	Aceites refinados	26
2.5.4	Panorama actual de aceites comestibles	27
2.5.5	Tecnologías de extracción de aceites.....	27
2.5.6	Aceite de Arachis Hypogaea L., (maní)	30
2.5.7	Aceite crudo de maní.....	30
2.5.8	Aceite refinado de maní.....	31
2.5.9	Usos del aceite de maní	32
2.5.10	Impulso a la producción	32
2.5.11	Aceite de maní exportaciones.....	33
2.6	Química analítica	34
2.7	Química de la alimentación	34
2.7.1	Análisis físico-químico en alimentos	35
2.7.2	Análisis sensorial en aceites vegetales	35
2.8	Análisis físico-químico en aceites vegetales.....	36
2.9	Acidez e Índice de acidez	36
2.10	Índice de saponificación.....	37
2.11	Índice de Yodo	38
2.12	Índice de peróxidos	38
2.12.1	Densidad aparente.....	39
2.12.2	Densidad relativa	40
2.12.3	Rancidez:	40
2.12.4	Humedad y materia volátil	40
2.13	Metrología	41
2.13.1	Mensurando	41
2.13.2	Importancia de la metrología en el contexto actual.....	41
2.13.3	Metrología Química.....	42
3	Hipótesis	44
4	Diseño metodológico.....	46
4.1	Descripción del ámbito de estudio.....	46
4.2	Tipo de estudio.....	46
4.3	Población y muestra.....	47
4.3.1	Población:	47

4.3.2	Muestra	47
4.4	VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	48
4.4.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	48
4.4.2	VARIABLES DEPENDIENTES	48
4.4.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	48
4.5	MATERIALES Y MÉTODOS	50
4.5.1	MATERIALES PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN	50
4.5.2	MATERIALES PARA PROCESAR INFORMACIÓN	50
4.5.3	MÉTODO.....	57
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	67
5.1	ANÁLISIS PROXIMAL DE LA SEMILLA DE MANÍ VARIEDAD GEORGIA 06-G.	67
5.2	ANÁLISIS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE	68
5.3	PARÁMETROS OPERACIONALES DE TEMPERATURA, TIEMPO Y PRESIÓN PARA EXTRAER EL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L.	69
5.3.1	ANÁLISIS DE TAGUCHI: %R vs TEMPERATURA, TIEMPO Y PRESIÓN.....	70
5.3.2	ANÁLISIS DE TAGUCHI DEL % AGL vs TEMPERATURA, TIEMPO Y PRESIÓN.....	71
5.3.3	ANÁLISIS DE TAGUCHI: AGL vs. TEMPERATURA, TIEMPO Y PRESIÓN	72
5.3.4	ANÁLISIS DE GRÁFICOS Y TABLAS	74
5.3.5	ANÁLISIS DE ANOVA.....	75
5.4	EFICIENCIA DE LA PRESNA Y RENDIMIENTO DEL ACEITE.....	76
5.5	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y ORGANOLÉPTICA DEL ACEITE CRUDO DE ARACHIS HYPOGAEA L (MANÍ).	81
6	CONCLUSIONES.....	85
7	RECOMENDACIONES	87
8	BIBLIOGRAFÍA.....	89
8.1.1	MEDICIÓN DE LA MASA DE LA MUESTRA.....	6
8.1.2	PROCESO DE SECADO EN ESTUFA DE CONVECCIÓN A 130 °C.	6
8.1.3	PESO DE LA MUESTRA SECA	6
	ANEXO 12 PROCEDIMIENTO	26

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1</i> Planta de <i>Arachis Hypogaea</i> L.	9
<i>Figura 2.2</i> Semilla de maní.	10
<i>Figura 2.3</i> Productor de maní variedad Georgia 06 revisando área de cosecha.	17
<i>Figura 2.4</i> Histograma sobre la producción de maní en Nicaragua.	18
<i>Figura 2.5</i> Exportaciones de maní por año.	20
<i>Figura 2.6</i> Molécula de triglicérido	24
<i>Figura 2.7</i> Molécula de un ácido graso	24
<i>Figura 2.8</i> Exportaciones del aceite comestible.....	27
<i>Figura 2.9</i> Exportaciones de aceites comestibles en Kg.....	27
<i>Figura 4.1</i> Dibujo de la prensa hidráulica.....	55
<i>Figura 4.2</i> Diagrama de factores que influyen en el proceso de extracción de aceite de <i>Arachis</i>	59
<i>Figura 4.3</i> Diagrama del proceso de extracción de aceite de maní por prensado.....	62
<i>Figura 4.4</i> Diagrama de equipo.....	63
<i>Figura 5.1</i> Gráfica de los efectos principales para el % de rendimientos.....	70
<i>Figura 5.2</i> Grafico de efectos principales para el % de AGL.....	71
<i>Figura 5.3</i> Procesos experimentales Vs % de AGL.....	73
<i>Figura 5.4</i> Grafica de comparación en parejas de Fisher.....	75
<i>Figura 5.5</i> Masa del aceite recuperado vs masa del Maní.....	77
<i>Figura 5.6</i> Eficiencia de la prensa y porcentaje de rendimiento.....	79
<i>Figura 5.7</i> Efectos principales en la eficiencia de la prensa.....	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 <i>Clasificación taxonómica de la planta de Maní</i>	11
Tabla 2.2 <i>Composición química del <i>Arachis Hypogaea</i> L</i>	14
Tabla 2.3 <i>Composición nutricional de la semilla del <i>Arachis Hypogaea</i> L</i>	16
Tabla 2.4 <i>Exportaciones de mercancías (FOB) por productos (MANÍ) en Millones de dólares 2013 - Marzo 2016</i>	20
Tabla 2.5 <i>Contribución de los lípidos en los alimentos</i>	23
Tabla 2.6 <i>Ventajas y desventajas de los tipos de extracción</i>	28
Tabla 2.7 <i>Composición química del aceite de maní</i>	32
Tabla 2.8 <i>Límites de control en aceites refinados</i>	39
Tabla 4.1 <i>Operacionalización de las variables</i>	49
Tabla 4.2 <i>Software</i>	50

Tabla 4.3 Equipos	51
Tabla 4.4 Aparatos	53
Tabla 4.5 Especificaciones de la prensa hidráulica	54
Tabla 4.6 Reactivos.....	56
Tabla 4.7 Variables operacionales con niveles variados.	60
Tabla 4.8 Diseño de experimento Taguchi.	60
Tabla 4.9 Métodos de análisis proximal en la semilla del maní.	64
Tabla 4.10 Métodos de análisis físico-químicos en el aceite	65
Tabla 5.1 Composición proximal de la semilla de maní.	67
Tabla 5.2 Respuesta para medias	70
Tabla 5.3 Respuesta para medias	72
Tabla 5.4 Valor de las condiciones operaciones del PE ₉ y resultado del %R y % de AGL. 73	
Tabla 5.5 Resultados de las corridas experimentales para evaluación de las masas óptimas de alimentación de la prensa hidráulica.....	76
Tabla 5.6 Datos de la eficiencia de la prensa y porcentaje de rendimiento.....	78
Tabla 5.7 Caracterización físico-química del aceite de Maní.....	82

INDICE DE TABLAS ANEXAS

Tabla. 1 Densidad del agua en dependencia de la temperatura.	1
Tabla. 2 Incertidumbre por repetibilidad en la bureta de 50 mL.....	2
Tabla. 3 Incertidumbre por repetibilidad en la bureta de 10 mL.....	3
Tabla. 4 Datos para cálculos de humedad y materia volátil.....	7
Tabla. 5 Datos para calcular cenizas totales. Muestra por duplicado	8
Tabla. 6 Datos para calcular el contenido de aceite.....	10
Tabla. 7 Datos para calcular el contenido de proteínas totales	11
Tabla. 8 Datos promedio para calcular el % AGL e índice de acidez.....	13
Tabla. 9 Datos para calcular el índice de yodo en los procesos experimentales PE ₂ , PE ₅ y PE ₈	14
Tabla. 10 Datos para calcular el índice de peróxido.....	16
Tabla. 11 Datos para Cuantificación del índice de saponificación	17
Tabla. 12 Datos para determinación de la densidad relativa	18
Tabla. 13 Datos para calcular densidad aparente (a 20 grados Celsius)	19
Tabla. 14 Datos para la determinación de la Humedad y Materia Volátil.....	20
Tabla. 15 Resultados del diseño de experimento de Taguchi.....	22
Tabla. 16 Incertidumbres estándar por componentes del ácido oleico.....	29
Tabla. 17 Incertidumbres estándar de los componentes del KHP	42

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

VO₁: Variable operacional 1	MIFIC: Ministerio de Fomento, Industria y Comercio
VO₂: Variable operacional 2	MAG: Ministerio Agropecuario
VO₃: Variable operacional 3	BCN: Banco Central de Nicaragua
PE₁: Proceso experimental 1	FOB: Free on Board (libre abordó)
PE₂: Proceso experimental 2	FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
PE₃: Proceso experimental 3	RTCA: Reglamento Técnico Centroamericano
PE₄: Proceso experimental 4	NTON: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense
PE₅: Proceso experimental 5	NTN: Norma Técnica Nicaragüense
PE₆: Proceso experimental 6	COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales
PE₇: Proceso experimental 7	LAFQA: Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos
PE₈: Proceso experimental 8	ISO: Organización Internacional de Normalización
PE₉: Proceso experimental 9	INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización
CO₂: Dióxido de carbono	AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
°C: Grados Celsius	CODEX/Alimentarius: Código de alimentación
g: Gramos	ANOVA: Análisis de varianza
kg: kilogramos	AGL: Ácidos grasos libres
mg: Miligramos	KHP: Ftalato ácido de potasio
tonf: tonelada fuerza	Mensurando: Magnitud que se desea medir
kg/m³: kilogramo por metro cúbico	
meq: Miliequivalentes	
cg/g: Centigramo por gramos	
MPa: Mega pascales	

% m/m: Porcentaje masa-masa	Metrología: Ciencia de las mediciones
% AGL: Porcentaje de Ácidos Grasos Libres	Incertidumbre: Parámetro no negativo que expresa la duda de una medición
% R: Porcentaje de rendimiento	AOCS: Sociedad Americana de Químicos del Aceite
% RP: Porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción	INCAP: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá
m_a: Masa del aceite extraído	UPANIC: Unión de Productores Agropecuarios de Nicaragua
CA: Contenido de aceite en las semillas de maní	
mg/g: Miligramos por gramos	
meq O₂ /Kg: Miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra	
min: Minutos	
mg KOH/g: Miligramos de hidróxido de potasio por gramos de aceite.	
g/ml: Gramos por mililitro	

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El *Arachis Hypogaea* L. (maní) es una de las principales oleaginosas del mundo con alto contenido de materia grasa (45-55 %), siendo el aceite el producto más valioso para la industrialización del maní, principalmente por el contenido en materia grasa, además, es el más cotizado después del aceite de oliva. Los aceites vegetales se han convertido en un aspecto importante para el consumidor, ya que son ricos en ácido oleico, lo cual beneficia la salud cardiovascular y favorece su demanda.

En Nicaragua, la variedad de maní utilizada por su alto rendimiento de campo y buena producción de aceite, es la Georgia 06-G. Según la Unión de Productores Agropecuarios de Nicaragua (UPANIC, 2017) el incremento de la productividad permitió que los rendimientos en la cosecha de maní fueran de 74 quintales/manzanas (0,5 Kg/m²) y que el área sembrada fuera de 60 000 manzanas, ocasionando que sea uno de los productos agrícolas de mayor crecimiento, esto favorece la producción de aceite principalmente por la disponibilidad de la materia prima que se genera en el sector agropecuario del país.

Esta investigación consistió en obtener por prensado mecánico el aceite de *Arachis Hypogaea* L., y evaluar la influencia de las condiciones operacionales: temperatura, tiempo y presión en el proceso de extracción, a través de un diseño experimental Taguchi. En la extracción del aceite se utilizó una prensa hidráulica a escala laboratorio con carga de 500 g. La materia prima y el producto se caracterizaron mediante análisis físico-químicos, utilizando métodos de ensayos de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y de la Asociación Americana de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC).



1.2 Objetivos

Objetivo General:

- a. Extraer por prensado mecánico y caracterizar mediante análisis fisicoquímico el aceite de *Arachis Hypogaea* L., (Maní), variedad Georgia 06-G, en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos (LAFQA-UNAN), Enero-Junio 2017.

Objetivos Específicos:

- a. Evaluar la calidad de las semillas de maní mediante análisis proximal, antes de ser sometidas al proceso de extracción de aceite.
- b. Describir el proceso de extracción mecánica del aceite de maní utilizando una prensa hidráulica a escala de laboratorio.
- c. Determinar, mediante un diseño experimental Taguchi, los parámetros óptimos operacionales de temperatura, tiempo de acondicionamiento térmico y niveles de presión, para extraer el aceite de *Arachis Hypogaea* L.
- d. Calcular la eficiencia de la prensa y el rendimiento del aceite de maní en el proceso de extracción mediante el índice de producción.
- e. Cuantificar el porcentaje de ácidos grasos libres, índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de yodo, densidad relativa y la humedad y materia volátil, mediante análisis fisicoquímico en el aceite de *Arachis Hypogaea* L., para determinar la calidad del mismo.



1.3 Planteamiento del problema

La globalización como la revolución industrial han cambiado drásticamente la idea que se tenía de los procesos industriales, hoy se requieren procesos rápidos, sencillos, a bajos costos y amigables con el medio ambiente; la industria química no es ajena a esta realidad. El aceite de *Arachis Hypogaea L.*, de la variedad Georgia 06-G es un producto demandado en la industria alimentaria por su alto rendimiento y beneficios a la salud; según el Centro de Exportaciones e Inversiones de Nicaragua (CEI, 2013) el aceite de maní es una fuente de ingresos por el comercio internacional.

En años anteriores todo el aceite crudo de maní producido fue exportado, actualmente la industrialización de este bien es una actividad con altas barreras de entrada debido a: los altos costos de procesamiento, los bajos precios de importaciones para refinar y la producción de aceite de baja calidad ocasionada principalmente por alto contenidos de ácidos grasos libre (AGL), que lo hace más susceptible a la oxidación, causando reacciones químicas adversas que potenciadas por efectos de temperatura, provoca aumento de la acidez, enranciamiento, degradación de los ácidos grasos y vitaminas.

Un aceite de baja calidad provoca mermas de rendimiento al ser sometido a un proceso de refinación, por lo que, los importadores imponen multas a las industrias de este rubro, de esta manera el país se ve obligado a exportar en grano la mayor parte de la producción, generando así un efecto negativo al producto interno bruto, según el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). Ante esta problemática, se ha estudiado la influencia de las condiciones operacionales como temperatura, tiempo y presión en el proceso de extracción del aceite con el propósito de optimizarlas y obtener un aceite crudo de buena calidad y con altos rendimientos en el proceso de extracción.



1.4 Justificación

La tendencia actual de la industria alimentaria, apunta a la optimización de procesos de producción para obtener un producto que cumpla con las exigencias de calidad demandadas por mercados nacionales e internacionales.

De acuerdo al Centro de Exportaciones e Inversiones de Nicaragua (CEI) el aceite de maní no es uno de los principales productos de exportación del país, puesto que ha representado cifras de hasta 1,4 % del total de las ventas al exterior, pero ha ocupado el tercer lugar en exportación a nivel mundial, según explica Arlen Sofana López, analista de Información de Mercados Internacionales del CEI, lo que significa que Nicaragua es competitivo en el mercado internacional.

El aceite de maní tiene un excelente precio en el mercado internacional haciendo su producción una actividad económicamente atractiva, pero los procesos de extracción en el país no son adecuados para obtener el producto con la calidad requerida, debido a esto, esta investigación se basa en optimizar las variables de dichos procesos a fin de obtener un producto con requisitos de calidad que no afecten significativamente el rendimiento en los procesos de refinación.

Según la Fundación Nicaragüense para el Desarrollo Económico y Social (FUNIDES, 2016), Nicaragua debe dar valor agregado a materias primas brutas y semielaboradas que se exporten, de esta forma se podrían instalar nuevas plantas extractoras de aceite y así generar empleos, incrementar las divisas al país y dar un efecto positivo en el Producto Interno Bruto.



1.5 Antecedentes

La problemática relacionada a la calidad del aceite, debe considerarse con prioridad, sobre todo en lo referido a la producción de aceites vegetales que logren cumplir con parámetros de calidad, incluyendo procesos de selección de semilla y sistemas de extracción del aceite. A continuación, se presentan estudios relacionados a esta temática:

En un estudio realizado por Cárdenas, Camacho y Mondragón (2007), acerca de la “Extracción del aceite de Cacahuate” en la Universidad Autónoma Metropolitana de México, con el objetivo de evaluar los rendimientos en la extracción por prensado en función del tamaño de partícula y la extracción de aceite residual en la torta por medio de solventes, se reportó que la semilla de cacahuate resultó ser una oleaginosa de la cual se puede obtener una cantidad significativa de aceite, además, la combinación de diferentes métodos de extracción de aceite, según estos autores permitió recuperar casi el 98% del aceite contenido en la semilla de cacahuate, respecto a la cantidad teórica reportada.

De acuerdo a García (2014), quien realizó un estudio sobre el “Efecto del rango punto de ebullición del éter de petróleo en las características fisicoquímicas del aceite extraído del grano del maní (*Arachis Hypogaea L.*)” en la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, el aceite obtenido con el éter de petróleo destilado de 40-50 °C presentó las mejores características fisicoquímicas en comparación con el aceite extraído con el éter de petróleo de 40-60 °C, concluyendo que los valores del índice de peróxido, índice de yodo, índice de acidez y color disminuyeron significativamente, en tanto que el índice de refracción no lo hizo notablemente.



Un año más tarde, Galarraga (2015) realizó un estudio con el objetivo de “Diseñar una prensa de tornillo tipo *expeller* para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible”, en la Universidad Tecnológica de Pereira, concluyendo que el prensado continuo (*expeller*), es una de las técnicas más apropiada para la extracción de aceite virgen de la semillas de maíz y de maní; además, comprobó que la presión máxima para extraer el aceite es de 17,32 MPa; lográndose la extracción por medio de una prensa hidráulica generando presión en contacto con la semilla. Cabe mencionar que para el estudio de este proyecto de investigación la técnica utilizada en el proceso de extracción, es similar a la maquina *expeller* diseñada.

Según Rivera, Rivera, y Rizo (2015), quienes realizaron un estudio sobre el “Desarrollo de un método analítico alternativo para la determinación del porcentaje de humedad y materia volátil en aceite vegetal de uso comestible” en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-LEÓN), los factores tiempo, temperatura y masa son de gran influencia en la determinación correcta de la humedad y materia volátil en las muestras de aceite vegetal; concluyendo, que 1 hora, 116 °C y una masa de 10 g son las condiciones experimentales más idóneas para realizar las determinaciones de humedad y materia volátil en aceites vegetales de usos comestibles.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



2. MARCO TEÓRICO

La química industrial es una rama de la química que se encarga de estudiar, los diferentes procesos que conducen a la elaboración de sustancias intermedias o productos químicos terminados de alto valor comercial, a partir de materias primas provenientes de los recursos naturales (Suarez, 2004). De acuerdo a Felder (2004) es cualquier operación o serie de operaciones por medio de las cuales se logra un objetivo particular.

2.1 Generalidades de la planta de maní

2.1.1 El Maní

El *Arachis Hypogaea* L, conocido como maní o cacahuete es una de las principales oleaginosas del mundo con una participación del 18,4 por ciento de la producción total, donde el 90% se cultiva en países en vías de desarrollo generando valiosos ingresos económicos. Además, es una importante fuente de proteínas de origen vegetal para consumo humano y animal.

El fruto es una oleaginosa indehiscente (una vaina que no tiene puntos de sutura o escisión abierta libremente) redondo y subterráneo que contiene típicamente 1 a 3 semillas blandas (a veces hasta 6) cubiertas por una cutícula color marrón rojizo (parecido al papel de membrana) y contienen entre un 45 – 55 % de aceite (Encyclopedia of live, 2012). Según Dergal (2012) la cascarilla es astringente por su contenido en polifenoles que también actúan como antioxidantes.

Según datos de producción, existen numerosos cultivares desarrollados con diferentes formas de crecimiento, tamaño, sabor y resistencia a enfermedades e insectos (Encyclopedia of live, 2012).



2.1.2 Origen

Según el Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC, 2008) el maní (*Arachis Hypogaea* L.) es oleaginosa originaria de la región andina del noroeste de Argentina y Bolivia. Su cultivo se viene realizando desde épocas remotas; se cree fueron los conquistadores portugueses y españoles quienes introdujeron el maní en África y Europa.

En África se difundió con rapidez, siendo esta oleaginosa un alimento básico en la dieta de numerosos países, algunos autores sitúan el origen del maní en este continente (MIFIC, 2008). La palabra cacahuete proviene del nahuatl por aféresis de *tlacacáhuatl*; de *tlalli*: tierra, simbólicamente bajo, humilde y *cacáhuatl*: cacao, debido a su comparación con este fruto (Cárdenas, Camacho y Mondragón, 2007).

2.1.3 Descripción botánica y taxonómica de la planta de Maní

El maní pertenece a la familia de las Papilionáceas, es una planta anual herbácea, erecta, ascendente de 15-70 cm de alto ligeramente filamentososa, con ramificaciones desde la base que desarrolla raíces cuando dichas ramas tocan el suelo. Las hojas son uniformemente pinadas con 2 pares de folíolos, los folíolos son oblongos, ovados u ovo o aovados de 4-8 cm de largo, obtusos, o ligeramente puntiagudos en el ápice, con márgenes completos. La *Figura 2.1* proporciona una representación esquemática de la planta del maní.



Fuente: Valladares, 2013.
Figura 2.1 Planta de *Arachis Hypogaea* L.

Las estipulas son lineares puntiagudas, grandes, prominentes y llegan hasta la base del pecíolo (Cárdenas et al., 2007).



a. Fruto

Después de la fecundación, la base del ovario se alarga para permitir la aparición del ginóforo que es en sí una parte del propio fruto y en cuyo extremo se desarrolla la vaina después de su penetración en el suelo. Las legumbres se desarrollan bajo tierra, cada una de ellas puede contener hasta cuatro semillas, aunque generalmente solo se desarrollan dos o tres, ver *Figura 2.2* (Valladares, 2010).



Fuente: Valladares, 2010
Figura 2.2 Semilla de maní.

b. Vaina

Tal como se muestra en la figura 2.2, las vainas se encuentran enterradas de 3-10 cm debajo de la superficie del suelo. Son de 1-7 cm de largo, abultadas en su interior, de color café amarillento, con bordes prominentes reticulados y más o menos deprimidos entre las semillas. La testa es de color rojo claro o rojo oscuro (Cárdenas et al., 2007).

En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación taxonómica de la planta de *Arachis Hipogaea* L.



Tabla 2.1

Clasificación taxonómica de la planta de Maní

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoideas o papilionaceae
Tribu	Aeschynomeneae
Género	<i>Arachis</i>
Especie	<i>Hypogaea</i>

Fuente: Valladares, 2013.

2.1.4 Condiciones edafoclimáticas

El clima adecuado para el cultivo debe ser predominantemente cálido. Requiere de suelos ligeros, sin piedras, con presencia de calcio y materia orgánica, pH óptimo 7 y 7,5. El cultivo se desarrolla bien a temperatura de 25 a 30 °C y es susceptible a temperaturas heladas, además prospera mejor a una altitud de 0 a 1000 metros, precipitación de 400 a 600 mm y fotoperiodo de 12 a 13 h (Cárdenas et al., 2007).

2.1.5 Métodos de siembra

Según Naturland (2000) la fecha de siembra del maní depende de las características de cada zona. En las zonas tropicales depende del régimen de lluvias, de manera que debe intentarse que el periodo vegetativo del cultivo coincida con la estación húmeda y la recolección con estación seca. La lluvia excesiva en la época cercana a la recolección provoca alargamientos del ciclo vegetativo, falta de uniformidad en la maduración de los frutos y retraso en el proceso de secado de las plantas (Cisneros, 2014).



Según Velásquez (1998) la densidad de siembra viene determinada por el hábito de crecimiento del cultivar. Cuando las plantas son erectas se emplea normalmente una distancia de 75 cm. Entre surcos y 10 a 15 cm entre planta, dando aproximadamente 100,000 plantas/ha. Por el contrario, cuando las plantas presentan un porte rastrero, se aumenta la distancia entre surcos hasta los 90 cm y la distancia entre plantas es de 15 y 20 cm (Cisneros, 2014).

Como en cualquier otro cultivo, la rentabilidad del maní depende del rendimiento y de la calidad del producto cosechado. Uno de los principales factores que es determinante en el rendimiento final y calidad de los granos es el momento de siembra, por lo cual se debe asegurar que la temperatura del suelo sea \geq a 16 °C a la profundidad de siembra durante tres días consecutivos (MIFIC, 2008).

En Nicaragua, para el cultivo de maní de la variedad Georgia 06-G que se destine al procesamiento industrial, se recomienda utilizar densidades de siembra de 16, 18 y 20 plantas/m y densidades menores a 10,12 plantas/m para obtener semillas de siembra; con mayor peso, de tamaño uniforme, mayor potencial nutritivo y poder germinativo (Casanova y García, 2014).

2.1.5.1 Cosecha

La mecanización de la cosecha se ha incrementado año tras año, permitiendo cosechar más rápido y con menos trabajo humano, esto aumenta el requerimiento de capital y de conocimientos técnicos. La cosecha puede ser una de las operaciones más críticas en la producción de maní, recordando que el daño mecánico es la principal amenaza a la calidad del maní y la causa principal es la excesiva velocidad de trabajo (MIFIC, 2008).



2.1.5.2 Almacenado

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1997) en esta fase, las semillas oleaginosas se secan hasta obtener una humedad inferior al 10 %. Se pueden almacenar durante períodos prolongados de tiempo en condiciones adecuadas de aireación, tomando precauciones contra las infestaciones de insectos y roedores. Este tipo de almacenamiento reduce la infección por mohos y la contaminación con micotoxinas y minimiza el proceso de degradación biológica que conduce a la aparición de ácidos grasos libres y de color en el aceite.

Otro aspecto importante es la prelimpieza para eliminar cajas inmaduras, granos sueltos, raíces, palos, restos de malezas, tierra y cualquier otro material extraño de origen vegetal. No debería almacenarse un maní con más de 4% de material extraño o 5% de granos sueltos.

2.1.6 Aflatoxinas

Según el Banco Central de Nicaragua (BCN, 2014) uno de los aspectos de especial importancia del maní nicaragüense es su bajo contenido en aflatoxina, que es una toxina que se desarrolla en ambientes muy secos y que es la principal barrera no comercial que imponen los países importadores, como la Unión Europea.

La aflatoxina es producida naturalmente por hongos (*Aspergillus sp.*) presentes en la mayoría de los suelos donde se cultiva maní. La contaminación de los granos con aflatoxina produce disminución de la calidad y consecuentemente del precio. El maní puede contaminarse antes de ser cosechado si durante las últimas 4 a 6 semanas previas al arrancado predominan condiciones ambientales con elevada temperatura y sequía (MIFIC, 2008).



2.1.7 Composición del maní

En la Tabla 2.2, se describe la composición química promedio porcentual del maní (*Arachis Hypogaea L.*).

Tabla 2.2

Composición química del Arachis Hypogaea L

Contenido	% en peso
Proteína	31
Hemicelulosa	6,8
Celulosa	4,76
Pectina	1,19
Almidón	3,74
Lipasas	0,51
Humedad	2
Extracto libre de Nitrógeno	5
Aceite	45

Fuente: (Cárdenas et al., 2007).

2.1.8 Propiedades químicas

El maní es un alimento hipercalórico, rico en grasa y proteínas, que aporta importantes cantidades de vitamina A, imprescindible para la visión y para la salud de las mucosas, así como de ácidos grasos esenciales, algunos de ellos capaces de regular el colesterol. También es rico en zinc, de ahí los beneficios del maní en el cuidado del cabello y en algunos casos de poca fertilidad. El zinc es un elemento que puede actuar como afrodisíaco en el sentido que cuando el organismo tiene un déficit de zinc, uno de los síntomas más frecuentes es un descenso de la libido (Barros, 2014).



2.1.9 Propiedades nutricionales

El maní es muy nutritivo, siendo una leguminosa con una gran concentración de proteína y grasa, casi tanta como la carne. Por eso es recomendable para quienes siguen un régimen vegetariano, deportistas y niños en crecimiento. Casi el 50% de su grasa es monoinsaturada, y el 30% poliinsaturada, siendo esta última mayoritariamente de la serie omega-6.

Además, es una fuente de proteína de origen vegetal para el consumo humano y animal. La composición proteica y de grasa del maní, es muy favorable para la alimentación humana (MIFIC, 2014). En la Tabla 2.3 se especifica, Según datos del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP, 2012), con mayor detalle la composición nutricional del maní.

Al aporte significativo de proteína y de fibra en cantidades considerables, favorece la movilidad intestinal y combate el estreñimiento. Según Moreiras (2013) estos frutos aportan una cantidad interesante de fósforo y magnesio (una ración media de cacahuets equivale al 12 y 10% respectivamente, de las ingestas diarias para dichos minerales), y algo inferior de calcio, hierro y potasio.



Tabla 2.3

Composición nutricional de la semilla del Arachis Hypogaea L.

Composición	Con película	Sin película
Energía (Kcal)	543	567
Proteínas (g)	25,5	25,80
Lípidos totales (g)	44,0	49,24
AG saturados (g)		6,83
AG monoinsaturados (g)		24,43
AG poliinsaturados (g)		15,56
Cenizas (g)	2,3	2,33
Fracción comestible (%)	1	1
Colesterol (mg/1000 kcal)		0
Carbohidratos (g)	21,3	16,13
Fibra dietética total(g)		8,5
Agua (g)	6,90	6,5
Calcio (mg)	66	92
Hierro (mg)	3,0	4,58
Magnesio (mg)		178
Zinc (mg)		3,27
Sodio (mg)		18
Potasio (mg)		705
Fósforo (mg)	393	376
Tiamina (mg)	0,91	0,64
Riboflavina (mg)	0,21	0,14
Equivalentes niacina (mg)	17,60	12,07
Vitamina B6 (mg)		0,35
Vitamina C (mg)	1	0

Fuente: INCAP, 2012



2.1.10 El maní en Nicaragua

En Nicaragua se cultiva desde los años 70's y desde la década de los años 80's inició su exportación a países de América Central. El rendimiento ha sido mejorado por el cambio de variedad en el maní. Los tipos de variedades conocidas como Georgia Green se han cambiado a la Georgia 06-G, este cambio ha permitido un diferencial de un 25% más en



Fuente: El Nuevo Diario, 2016

Figura 2.3 Productor de maní variedad Georgia 06 revisando área de cosecha.

rendimiento por manzana, favoreciendo al crecimiento de la industria (El Nuevo Diario, 2016).

Según la prensa (como se citó en Casanova y García, 2014) el uso de la variedad de semilla, Georgia 06-G, permitió que en el ciclo agrícola 2011/2012 el cultivo alcanzara rendimientos promedio históricos cercanos a los 100 qq/ha y se ubicará como el producto agrícola de mayor crecimiento. En cosechas anteriores los rendimientos no superaban los 83qq/ha. Desde 1994, el valor de las exportaciones ha crecido y se ha posicionado entre los cinco primeros rubros de exportación en Nicaragua (BCN, 2013).

El Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR, 2013) publicó que la gran mayoría es sembrada en León y Chinandega, al oeste del país, donde se cultiva alrededor del 82 %, mientras que los departamentos de Masaya, Granada y Rivas producen el 14 %, y en Managua solamente el 4 % del total. Actualmente se siembran dos cosechas al año; una en la época lluviosa, y la otra con riego que se siembra en enero y se cosecha en abril. En la *Figura 2.3* se puede apreciar la imagen de un productor de maní en el área se siembra.



2.1.10.1 Variedad de maní para producción de aceite

La variedad de maní utilizado en Nicaragua, es la Georgia 06-G, con altos rendimientos de campo y buena producción de aceite, esta variedad es una semilla grande, de alto rendimiento y de tipo corredor, además, tiene un alto nivel de resistencia a la enfermedad de la marchitez manchada del tomate causada por el virus del bronceado (TSWV). Esta planta tiene un follaje verde oscuro, un tamaño típico de semillas corredor y un vencimiento medio (MIFIC, 2013). En la *Figura 2.3* se puede observar el follaje de la planta de maní.

2.1.11 Producción en Nicaragua

La producción de maní en febrero fue de 275,9 miles de quintales, lo cual significó un aumento de 43 000 quintales con respecto al mismo período de 2013, y representó un incremento de 18,4 % (BCN, 2014). En la *Figura 2.4*, se puede observar a través de un histograma el incremento de la producción.



Fuente: BCN, 2014.

Figura 2.4 Histograma sobre la producción de maní en Nicaragua.



De acuerdo a UPANIC (2017) el rendimiento del maní, fue de 74 qq/manzanas, cuya producción salió favorecida en el comercio exterior por los bajos rendimientos en la producción del maní argentino y la mala calidad del maní estadounidense.

2.1.12 Producción mundial

Durante los últimos años, la producción mundial de cacahuate se ubicó como la cuarta más importante, dentro de la producción mundial de oleaginosas. Existe un gran número de países donde se cultiva el cacahuate, sin embargo, algunos destacan más por el volumen de su producción y la demanda del producto y sus derivados.

De acuerdo con los reportes del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) dentro de los principales productores de semilla de cacahuate, destacan China, India y Estados Unidos, con producción promedio 40%, 24%, 6% del total mundial, respectivamente, estos países producen aproximadamente el 70% de la producción mundial del cacahuate. Además, existen otros productores (Senegal, Sudán, Brasil, Argentina, Sudáfrica, entre otros), sin embargo, la producción anual de cada uno de ellos no supera el millón de toneladas.

En Centroamérica Nicaragua es potencia en producción y exportación de maní, según el MIFIC (2008) se debe a su favorable condición geográfica de tierras planas en el occidente y el tipo de suelo franco arenoso, del cual no gozan los vecinos centroamericanos. En la Tabla 2.4 se describe la exportación de maní en millones de dólares y en la *Figura 2.5*, las exportaciones por año. Si bien se observa, las exportaciones y producción son bastante estables, esto puede ser provechoso para implementar el aumento de la producción de derivados del maní, principalmente el aceite que también es un producto de exportación.



2.1.13 Exportaciones

Tabla 2.4

Exportaciones de mercancías (FOB) por productos (MANÍ) en Millones de dólares 2013 - Marzo 2016

Exportación	AÑO	Millones de dólares
1	2013	102,9
2	2014	115,1
3	2015	100,7
4	2016	10,2

Fuente: MIFIC, 2016



Fuente: MAG-BCN, 2014

Figura 2.5 Exportaciones de maní por año.

2.1.14 Usos de la semilla del *Arachis Hypogaea* L., (Maní)

La semilla de cacahuate posee amplias posibilidades de comercio, para su venta en fresco o para ser procesada y darle mayor valor agregado. Según el Banco Central de Nicaragua (BCN) la composición proteínica y de grasas del maní es muy favorable para la alimentación humana. Las semillas se consumen crudas, cocidas o tostadas, y también se las procesa para producir:



- a. **Mantequilla y materias grasas:** Es utilizado en la manufactura de margarinas y materias grasas alimenticias, también se utiliza para extraer la mantequilla de maní.
- b. **Harina de Maní:** Hecha del subproducto maní presionado para la extracción de aceite, es un alimento muy nutritivo utilizado en la alimentación animal.
- c. **Leche y subproductos:** Con el maní puede hacerse leche falsa, queso y sorbete. Esta leche y queso son superiores nutricionalmente que los productos derivados de la leche.
- d. **Bocadillos:** Cuando el maní es procesado y desgrasado se puede comercializar como bocadillo. Puede ser molido con harina y posteriormente utilizado para preparar comidas y bebidas ricas en proteínas y se puede granular para agregarlo al desayuno o a barras dietéticas para aumentar su contenido proteico (MIFIC, 2008).
- e. **Aceite:** El maní se produce y se comercializa como materia prima de la industria aceitera (producción de aceites y pellets de esta oleaginosa), y para consumo humano directo, esto es maní y confitería. Este aceite, es de excelente calidad para cocinar, debido a que es insípido y puede ser calentado a temperaturas muy altas sin que se ahúme o se quemé (232,2 °C).

Además, el aceite de maní no absorbe, ni transfiere ningún sabor, por lo tanto, puede ser usado varias veces para cocinar diferentes tipos de comida. También sirve como aceite de ensalada.

El producto más valioso de la industrialización del maní es el aceite, tanto por el contenido de materia grasa de la semilla, como por la calidad del mismo (Cárdenas et al., 2007). En Nicaragua no es muy demandado, debido al elevado costo que impide ser conseguido por la mayoría de los consumidores, por esa razón, el mayor mercado de este producto, está orientado a la exportación (CEI,2013).



Según el BCN, el 40% de la producción mundial se utiliza para el procesamiento de aceites. La torta prensada de maní contiene 40-50% de proteína. Se procesa para la producción de harina que sirve, a su vez, para el enriquecimiento proteínico de alimentos. El forraje y la torta prensada son utilizados como alimento rico en proteína para animales. Las cáscaras sirven como combustible, fibra cruda para forraje, materia cruda, tableros alivianados, producción de celulosa o para compota.

2.2 Lípidos

La palabra lípidos (del griego lipos, grasas), originalmente se definía como “sustancia insoluble en agua, pero soluble en disolventes orgánicos como cloroformo, hexano y éter de petróleo”. Esa acepción abarca las grasas, los aceites, los terpenos, las vitaminas A, D, E y K y pigmentos como los carotenoides, en la actualidad se considera que los lípidos forman un grupo muy amplio de compuestos constituidos por carbonos, hidrogeno y oxigeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas que también contienen fosforo y nitrógeno (Dergal, 2013).

El aspecto importante de los lípidos, se resume en la tabla 2.5, sabiendo que su existencia en los alimentos se divide en tres aspectos: calidad, nutrición y biológico.



Tabla 2.5 *Contribución de los lípidos en los alimentos*

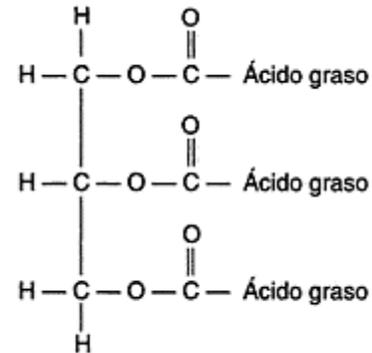
Calidad	Nutrición	Biológico
a. Textura: dan consistencia y estructura a muchos productos	a. Fuente de energía importante mediante la β -oxidación	a. Fuente de vitamina A, D, E y k.
b. Lubricación y saciedad al consumirlos	b. Vehículo de vitaminas liposoluble	b. El colesterol es precursor de la vitamina D3, de corticosteroides y ácidos biliares.
c. Color, debido a los carotenoides	c. Ácidos grasos indispensables, Omega 3 y 6	c. El ácido linoleico es componente de las acilglucoceramidas de la piel.
d. Sabor, gracias a las cetonas, aldehídos y derivados carbonilos	d. Promueven la síntesis de micelas y bilis.	d. El inositol favorece la transmisión de señales nerviosas.
	e. Facilitan la absorción de las vitaminas liposolubles	e. El ácido araquidónico es precursor de eicosanoides y lipoxinas.
		f. El ácido docosahexaenoico forma parte de las membranas celulares.
		g. Los ácidos poliinsaturados son moduladores en la síntesis de eicosanoides.
		h. Los fosfolípidos acetílicos ayudan a la agregación de las plaquetas

Fuente: Dergal, 2013



2.3 Triglicéridos

Las grasas y aceites son ésteres de ácidos carboxílicos de cadena larga con el 1, 2, 3-trihidroxiopropano (glicerol) por lo que son llamados triglicéridos de forma estructural. Donde los grupos R1, R2 y R3 son cadenas de hidrocarburos desde 3 hasta 21 carbonos que pueden ser iguales o diferentes, las cadenas pueden estar completamente saturadas o pueden contener uno o más grupos cis olefina (Ávila, 2006).

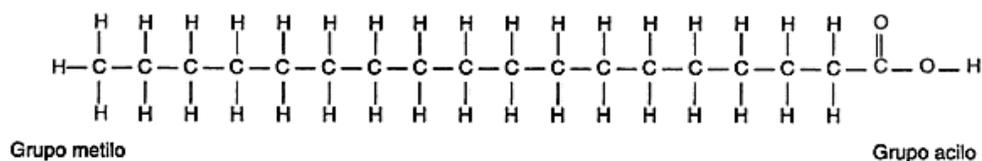


Fuente: Velázquez, 2006.
Figura 2.6 Molécula de triglicérido

Un triglicérido está compuesto de tres ácidos grasos esterificados unidos a una molécula de glicerol (ver Figura 2.6), en los alimentos se llaman triglicéridos a las grasas y los aceites (Velázquez, 2006).

2.4 Ácidos grasos

Son compuestos químicos formado por una cadena de carbonos de varias longitudes, que tienen en sus extremos un grupo carboxilo (ácido orgánico-COOH), y en el otro un grupo metilo (-CH₃) (Velázquez, 2006). En la Figura 2.7, se muestra la estructura desarrollada de la molécula de un ácido graso.



Fuente: Velázquez, 2006
Figura 2.7 Molécula de un ácido graso



Las grasas y los aceites poseen diferencia de estabilidad a la oxidación, de plasticidad, de estado físico, de patrón de cristalización, de índice de yodo, de temperaturas de solidificación y de fusión, etc., que se debe principalmente a sus ácidos grasos que se presentan en estado libre producto de una hidrólisis del enlace éster. Todos son monocarboxílicos de cadena lineal, con un número par de carbono y con un metabolismo que funciona mediante moléculas de carbono pares como la acetilcoenzima A., de forma industrial, se producen a través de hidrólisis de grasa y se utilizan en la elaboración de aditivos para la industria alimentaria (Dergal, 2013). Los aceites vegetales tienen de 6 a 7 ácidos grasos, en el aceite de maní se destaca el oleico.

2.4.1 Ácidos grasos saturados:

Estos ácidos grasos, varían de 4 a 26 átomos de carbono y su temperatura o punto de fusión aumenta con el peso molecular o largo de la cadena; así, los de 4 a 8 C son líquidos a 25 °C, mientras que los de 10 C en adelante son sólidos y su solubilidad en agua es inversamente proporcional al peso molecular, Además, son muchos más estables a la oxidación que los ácidos grasos insaturados, sin embargo, en condiciones de temperaturas muy altas (más de 180 °C) pueden sufrir reacciones oxidativas (Dergal, 2006).

2.4.2 Ácidos grasos insaturados:

Son cadenas lineales de 16 o más carbonos y debido a sus insaturaciones, tienen una gran reactividad química que se refleja en tres mecanismos: saturación, como ocurre en la hidrogenación; oxidación, que sucede en las reacciones de rancidez, e isomerización. Se encuentran más en peces y oleaginosas y menos en las grasas de animales terrestres, su temperatura de fusión disminuye al aumentar el número de dobles enlaces y siempre es menor que la de los saturados para una misma longitud de cadena.



Según Dergal (2013) las insaturaciones de los ácidos grasos presentan dos tipos de isomerismo: cis-trans y posicional según sea la localización del doble enlace en la cadena. Respecto al índice de yodo; entre mayor sea este, mas insaturación, el aceite es más fluido y es más susceptible a la rancidez oxidativa (Dergal, 2012).

2.5 Aceites

2.5.1 Aceites vegetales

Según la definición del Codex Alimentarius (como se citó en Hernández, 2010) los aceites vegetales comestibles son productos alimenticios constituidos principalmente por glicéricos de ácidos grasos obtenidos únicamente de fuentes vegetales.

2.5.2 Aceites vírgenes y crudos

Los aceites vírgenes, se obtienen sin modificar el aceite por procedimientos mecánicos y por aplicación únicamente de calor. Pueden ser purificados solo por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación (Hernández, 2010). El aceite crudo contiene impurezas (Ej: AGL) que promueven su deterioro, siendo el más usual la oxidación primaria y secundaria de los lípidos presentes. Al refinarlo químicamente, se eliminan estos compuestos y el aceite obtenido es apto para utilizarse en diferentes procesos (Pitre et al., 2005).

2.5.3 Aceites refinados

Es un aceite comestible con características deseadas por los consumidores, como sabor y olor no graso, libre de materia extraña, color claro, estabilidad frente a la oxidación e idoneidad para freír. Los dos principales sistemas de refinado son el refinado alcalino y el refinado físico (arrastre de vapor, neutralización destilativa), que se emplean para extraer los ácidos grasos libres (FAO, 1997).



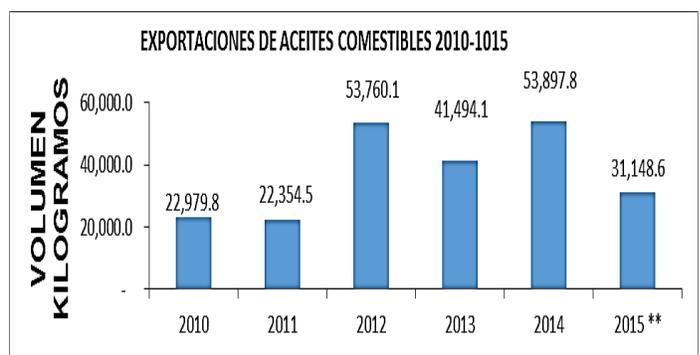
Actualmente, se está implementando la refinación química orgánica, donde se usa un ácido orgánico como agente reactante para eliminar inicialmente las impurezas no deseadas, este proceso alternativo es más económico, mejora la calidad del aceite y los rendimientos de producción (ERGOMIX,2009). En las figuras 2.8 y 2.9, se puede observar que desde el año 2012, las exportaciones de aceites comestibles han aumentado, esto es un motivo para potenciar la producción del aceite crudo de maní que luego puede ser refinado y por ende sea más competitivo en el mercado nacional e internacional.

2.5.4 Panorama actual de aceites comestibles



Fuente: MIFIC, 2015.

Figura 2.8 Exportaciones del aceite comestible



Fuente: MIFIC, 2015.

Figura 2.9 Exportaciones de aceites comestibles en Kg.

2.5.5 Tecnologías de extracción de aceites

Los aceites vegetales se extraen por el método de prensado mecánico (prensa hidráulica y *expeller*), por el método químico utilizando solventes y por arrastre de vapor para aceites esenciales (Galarraga, 2015). Algunos de ellos se emplean principalmente a nivel industrial, a escala de laboratorio y piloto. Dependiendo de la materia prima, se emplean diferentes métodos de extracción, por ende, se obtienen aceites de calidades y porcentajes diferentes (Miranda, 2015).

En la Tabla 2.6, se muestran las ventajas y desventajas de los tipos de extracción de aceites vegetales.



Tabla 2.6

Ventajas y desventajas de los tipos de extracción.

<i>Tipo de extracción</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Prensado de las semillas	Técnicas de prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4 °C) en la oscuridad.	Los aceites presentan mejor conservación de los antioxidantes (quercetina y mericetina), comparada con la extracción con solvente	Rendimientos bajos en la producción del aceite
	Prensa de tornillo utilizando calentamiento		Provoca pérdidas ligeras de antioxidantes,
Extracción con solventes	Método Soxhlet, usando generalmente hexano	Favorece las características funcionales del aceite como la retención de agua y la estabilidad de emulsiones	además, cuestiones de salud y seguridad al medio ambiente, por el uso del hexano.
Extracción con fluidos supercríticos	Uso del CO ₂ en estado supercrítico	Rendimientos altos de extracción del aceite, no se requiere eliminar solventes del aceite o de la torta residual	Instalaciones muy costosas

Fuente: Miranda, 2015



a. Extracción por prensado

Es el más utilizado desde tiempos antiguos para la extracción de aceites vegetales de consumo humano, para ello se aplica presión sobre una masa de vegetales confinados en bolsas, telas, mallas entre otros (Miranda, 2015). La gran ventaja de este método es que, en un proceso exclusivamente mecánico, sin adición de químicos, lo que garantiza un aceite más sano y que conserva todas sus propiedades organolépticas (sabor, color, textura) (Galarraga, 2015).

b. Extracción por solvente

El proceso se basa en la extracción por solvente, usualmente en extracciones sucesivas del material oleaginoso previamente quebrado, laminado, molido o prensado, mediante lavados en contracorriente con hexano. Luego, la harina desengrasada es llevada a un tostador-desolventizador para recuperar el solvente, el hexano es removido del aceite en evaporadores de película y finalmente destilado a vacío. El aceite crudo obtenido contiene cantidades variables y relativamente reducidas de impurezas (no glicéricas) que afectan la calidad del aceite, por lo tanto, es necesario eliminarlas mediante otros procesos posteriores (Galarraga, 2015).

c. Extracción mediante fluidos supercríticos

Esta técnica que se basa en la separación de sustancias, debido a la capacidad que poseen ciertos fluidos en estado supercrítico de alterar su poder disolvente, dependiendo de condiciones operacionales como presión y la temperatura. Los fluidos supercríticos son líquidos o gases llevados a condiciones de altas presiones y temperaturas moderadas, por encima del punto crítico. Para este tipo de extracción el disolvente más utilizado es el CO₂, el cual presenta una temperatura de 31 °C y una presión de 72,85 atm cuando se encuentra en estado supercrítico (Miranda, 2015).



d. Extracción enzimática.

La estructura compleja del maní hace que la extracción de aceite se dificulte por lo que se han desarrollado nuevas propuestas biotecnológicas. Una de estas es el tratamiento con hidrolasa, una enzima capaz de romper hidrolíticamente los enlaces C-O, C-N, C-C, y anhídridos fosfóricos. La extracción se lleva a cabo dando un tratamiento con preparados celulíticos comerciales (Valdez, 2014).

2.5.6 Aceite de Arachis Hypogaea L., (maní)

Es un aceite vegetal que se extrae de la semilla cruda del arbusto leguminoso Arachis Hypogaea L, por cocción al vapor de las semillas y posterior prensado. Su color es amarillo muy claro a causa del aclarado que se le practica, y se puede optar por refinarlo o no. Además, es uno de los aceites vegetales que más alto tiene el punto de humo (mayor si es refinado), es decir, soporta altas temperaturas de frituras, como el aceite de oliva virgen (MIFIC, 2008).

2.5.7 Aceite crudo de maní.

Es aquel que no ha sido sometido a un proceso de refinación, siendo “No Apto Para Consumo Humano” (MIFIC, 2014).

2.5.7.1 Propiedades físicas y químicas

Su color amarillo rojizo es característico de la mayoría de los aceites naturales, debido a la presencia de diversos pigmentos carotenoides que son removidos en la refinación del aceite. La transparencia es un requisito determinante en la calidad de un aceite comestible ya que indica de alguna manera el grado de purificación al cual ha sido sometido. Respecto a la acidez, este parámetro incrementa por la acción termo, foto-oxidación y agentes bacterianos, además, al entrar en contacto con superficies de Fe o Cu se acelera su oxidación o rancidez (Vega, 2004).



Según En Buenas Manos (EBM, 2017) otras propiedades del aceite de maní son: tener como otras materias grasas 900 calorías por cada 100 gramos, no presenta colesterol, tiene pocos ácidos grasos saturados (18,3 gramos) y dispone de una buena relación de monoinsaturados (49 gramos) y polinsaturados (27,8 gramos).

2.5.7.2 Propiedades nutricionales del aceite crudo

De acuerdo al MIFIC (2014) el aceite de maní, es muy rico en vitaminas. En 100 g contiene 15,16 mg de vitamina. E, presentes trazas de carotenos, ácido fólico, vitaminas A y B, riboflavina y tiamina. El alto contenido en vitamina E, se debe a su forma de extracción (por prensado en frío o por centrifugado) que llega a tener hasta 30 mg de este micronutriente y nunca bajar de los 15 mg (EBM, 2017).

2.5.8 Aceite refinado de maní

Es el aceite que, sometido a un adecuado proceso de refinación, es “Apto para consumo humano” (MIFIC, 2014). Al refinarlo se le remueven sustancias odoríferas propias del crudo. Según Vega (2004) el olor y el sabor deben ser neutros, sin embargo, en ciertos productos como el aceite de oliva y el aceite de ajonjolí virgen conserva sus aromas y sabores típicos, cabe mencionar que el aceite de cacahuate refinado es de color amarillo pálido, su composición es alta en ácidos grasos monoinsaturados y es muy estable. Este aceite es el más utilizado en las frituras y salteados de la cocina oriental

La composición química del aceite de maní se muestra en la Tabla 2.7.



Tabla 2.7

Composición química del aceite de maní

Composición	Propiedad
Color	20 amarillo/2.0 rojo máx.
Índice de yodo	83 -107 cg/g
Ácidos grasos libres	0.1% máx.
Ácido oleico (monoinsaturado)	36,4 67,1
Ácido linoleico (polinsaturados)	14,0 43,0
Ácido linolénico (polinsaturados)	0 0,1
Ácido palmítico (saturado)	8,3 14,0
Ácido esteárico (saturado)	1,9 4,4
Valor del peróxido (al envasar)	2.0 máx.
Estabilidad AOM	25 + horas
Apariencia	Cristalina

Fuente: Cárdenas et al., 2007.

2.5.9 Usos del aceite de maní

Puesto que es de fácil absorción y contiene: licopeno, silicio, ácidos grasos Omega 6 y 9 y una alta concentración de vitamina E, es utilizado en cuidados de la piel. Suele ser aplicado en masajes corporales ideal para dolores relacionados con las articulaciones y reumatismo, para deportistas, como aceite portador o vehículo con aceites esenciales, cuidado del cabello, hidratar los labios, entre otros (Sarah, 2012). Según el MIFIC (2014) se utiliza principalmente como alimento, también en frituras, como lubricante y disolvente para inyecciones intramusculares.

2.5.10 Impulso a la producción

De acuerdo al BCN (2013) el maní está entre los productos tradicionales más importantes del país, en volúmenes de producción y de exportaciones, pero el que Nicaragua está aprovechando para fabricar aceite es el que no exporta. Entonces, según el Centro de Exportaciones e Inversiones de Nicaragua (CEI, 2013) de esa manera, se le está dando un valor agregado al producto y un importante impulso a la producción, además, “El procesamiento de maní tiene un valor agregado muy significativo en relación al maní con cáscara y maní pelado, ya que tiene un excelente precio en el mercado internacional”.



En Nicaragua la industrialización del maní, es una actividad económica muy atractiva. La centralización de la misma se debe, probablemente, al costo que implica el establecimiento de una planta industrial, sin embargo, el cooperativismo y la formación de asociaciones, permitiría unir esfuerzos y recursos para potenciar el sector industrial (El Nuevo Diario, 2013).

2.5.11 Aceite de maní exportaciones

Según El Nuevo Diario (2013) Nicaragua a pesar de ser un país pequeño, en comparación con otros, en el 2012 ocupó el tercer lugar a nivel mundial como exportador de aceite de maní, siendo su principal destino Holanda, país al que exportó US\$19,4 millones en el año 2012. El segundo destino fue el mercado de Francia, hacia donde se exportó un valor de US\$7 millones, seguido de Estados Unidos, con US\$ 5,4 millones. Estos datos demuestran que el país tiene oportunidades en el mercado internacional para la comercialización de este producto.

Existen otros mercados potenciales para las exportaciones del aceite de maní, considerando el valor de la demanda internacional, China es uno de ellos, quien fue el principal importador del sector durante el 2012, mostrando, además, una tasa de crecimiento de 94% durante el último quinquenio. Otros importadores destacados fueron: Italia, Francia y Bélgica. Según el (CEI, 2013) estos países son el mercado potencial de Nicaragua, por eso se debe dar seguimiento a esta economía emergente, por otra parte, un destino interesante sería el mercado regional, en el cual la demanda del producto es menor pero no hay mucha competencia.

En la *Figura 2.10* y *2.11*, puede observar los niveles de exportación del aceite en bruto de maní, tanto en producción por kilogramos como en mercancías en dólares americanos. Según el MIFIC (2016) los principales países de destino son: China, Costa Rica, Estados Unidos, Francia, Grecia, Holanda (Países bajos), Panamá, Italia y Japón.



Fuente: MIFIC, 2015

Figura 2.10 Niveles de producción de aceite en bruto de maní (2011-2015)



Fuente: MIFIC, 2015

Figura 2.11 Exportaciones de aceite en bruto de maní en US\$/Año

2.6 Química analítica

Esta disciplina consiste en el análisis cualitativo y cuantitativo, el primero se ocupa de la identificación de los elementos, iones o compuestos presentes en una muestra, en tanto que el segundo se ocupa de determinar qué cantidad hay presente de uno o más de ellos. La muestra puede ser sólida, líquida, gaseosa o una mezcla (Christian, 2009).

2.7 Química de la alimentación

La alimentación como necesidad vital es un hecho incuestionable, por eso necesario conocer como nos alimentamos, es decir cuál es la calidad de los alimentos que ingerimos, sobre todo por la gran relación que se ha demostrado que tiene la alimentación con la salud.



La alimentación por ser un acto reiterado, a largo plazo y vital, constituye el factor ambiental que más influye en la etiología, es decir la causa, de numerosas enfermedades como el cáncer, la obesidad, la aterosclerosis, etc. Los alimentos no son compuestos estáticos, sino dinámicos y por esa razón, consecuentemente las ciencias alimentarias deben estudiar su composición y los efectos que sus componentes provocan en el curso de los diferentes procesos a que están sujetos los alimentos, además deben estudiar sus propiedades organolépticas y su capacidad de deterioro en función de su composición química (Zumbado, 2004).

La caracterización de los alimentos proviene de los resultados de los diferentes ensayos a que puede someterse utilizando diferentes métodos de evaluación, los cuales pueden agruparse en función de los objetivos que persigan y los principios en que se fundamentan. Así, la evaluación de los alimentos involucra tres tipos de análisis: análisis físico-químico, análisis microbiológico y análisis sensorial (Zumbado, 2004).

2.7.1 Análisis físico-químico en alimentos

Este análisis implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista físico-químico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento (proteínas, grasas, vitaminas, minerales, carbohidratos, contaminantes metálicos, residuos de plaguicidas, toxinas, antioxidantes, etc.) y en qué cantidades se encuentran. Este análisis brinda herramientas que permiten caracterizar un alimento desde el punto de vista nutricional y toxicológico (Zumbado, 2004).

2.7.2 Análisis sensorial en aceites vegetales

En este tipo de análisis el consumidor evalúa la calidad de los aceites y de los alimentos mediante el gusto y el olfato y, con base a esto, los acepta o los rechaza.



En la industria, el análisis sensorial es rutinario, pero bien organizado por personal capacitado para detectar pequeñas concentraciones de los aldehídos, cetonas, etc., generados en la autooxidación y la rancidez; sin embargo, los resultados son poco precisos y muy subjetivos, debido que en las primeras etapas de la rancidez no se perciben olfativamente la formación de peróxidos inodoros, cuando se identifica el olor a rancio, y dependiendo del umbral de detección del catador, la reacción generalmente ya se encuentra avanzada (Dergal, 2013). Por eso, se deben efectuar análisis fisicoquímicos en el aceite para conocer mejor, la composición del mismo.

2.8 Análisis físico-químico en aceites vegetales

Existe un gran número de análisis (métodos de ensayos) para evaluar las características físicas y químicas de los aceites, algunos tradicionales de rutina en la industria y otros que exigen equipos más costosos. Los resultados ofrecen información sobre la naturaleza, el origen y el posible comportamiento de los aceites en diferentes condiciones de almacenamiento y procesamiento (Dergal, 2006).

2.9 Acidez e Índice de acidez

La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN, 2001) define la acidez, como el contenido de ácidos grasos libres (AGL) de un aceite o grasa vegetal, expresada en gramos de ácido oleico, palmítico o láurico, por 100 g de muestra y el índice de acidez, como los mg de KOH necesarios para saponificar los ácidos grasos libres presentes en 1 g de aceite o grasa. Todos los aceites y las grasas tienen AGL y algunos los tienen en grandes cantidades, su existencia se debe a la actividad enzimática de las lipasas, todas las semillas y los frutos oleaginosos tienen presentes algunas de estas enzimas lipolíticas que se encuentran tanto en el embrión como en el mesocarpio del fruto (Zumbado, 2004).



El comportamiento de la acidez durante el almacenamiento de los aceites comestibles evidencia un incremento en una primera etapa, la actividad enzimática de las lipasas, hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual comienza a disminuir. Esta disminución pudiera ser explicada por el hecho de que los ácidos grasos libres hayan comenzado a oxidarse a compuestos oxigenados (ejemplo hidroperóxidos), por la acción de agentes químicos (oxígeno, temperatura, luz y trazas metálicas) o agentes bioquímicos (microorganismos, enzimas lipoxidasas) o la combinación de ambos, en función de las condiciones de almacenamiento y de la composición del aceite almacenado (Zumbado, 2004).

Este comportamiento permite inferir que la determinación de la acidez e índice de acidez no ofrece por sí sola información concluyente sobre el estado cualitativo de un aceite. Así, un valor bajo pudiera indicar: o bien que el producto está poco hidrolizado, o bien que el estado de deterioro es más avanzado y que parte de los AGL han comenzado a oxidarse. De ahí la necesidad de realizar otros análisis (índices de peróxidos, yodo y saponificación, entre otros), si se desea obtener información fidedigna del estado de un aceite (Zumbado, 2004).

2.10 Índice de saponificación

Indica los mg de KOH para saponificar 1 g de grasa; es inversamente proporcional al peso molecular promedio de los ácidos grasos (Dergal, 2006). Este valor da la medida del peso molecular promedio de los glicéridos mixtos que constituyen una grasa o aceite, ya que, si estos contienen ácidos grasos de bajo peso molecular, el número de moléculas presentes en 1g de muestra será mayor que si los ácidos grasos son de alto peso molecular. Un aceite con bajo peso molecular presentará entonces un alto valor en su índice de saponificación (Zumbado, 2004).



2.11 Índice de Yodo

Según Zumbado (2004) el índice de yodo es el número de gramos de yodo absorbido por 100 g de aceite y es una de las medidas más útiles para conocer el grado de saturación de estos, además, su determinación puede ser utilizada como una medida de identificación y calidad. De acuerdo a Dergal (2013) este índice refleja el grado de insaturación; a mayor valor, mayor insaturación, aun cuando no informa acerca de la distribución ni localización de las dobles ligaduras. Si un aceite sufre procesos de oxidación durante su almacenamiento, su índice de yodo muestra una tendencia decreciente.

2.12 Índice de peróxidos

El índice de peróxidos se expresa como los miliequivalentes de peróxidos presentes en 1 Kg de aceite o grasa, y brinda información sobre el grado de oxidación de un aceite, la causa de la alteración de los aceites y las grasas puede ser el resultado de una reacción tanto química como bioquímica, pero la oxidación es más frecuente por efecto de reacciones químicas.

Al analizar el comportamiento del índice de peróxidos con el tiempo de almacenamiento, se observan dos zonas que manifiestan tendencias opuestas: una primera etapa caracterizada por el incremento de los peróxidos hasta un valor máximo, como consecuencia de la oxidación lipídica por acción de agentes químicos y/o bioquímicos; y un segundo momento en que comienza a disminuir este índice, lo que indica un grado de oxidación más avanzado puesto que este decremento pudiera ser resultado de la oxidación de los peróxidos a otros compuestos como aldehídos y cetonas, responsables fundamentales del olor y sabor característicos de la rancidez (Zumbado, 2004).



En este sentido, al igual que en el caso del índice de acidez, la información que brinda el índice de peróxidos requiere para su interpretación del complemento de otros análisis como la determinación de los índices de saponificación yodo. Para el caso del aceite de maní refinado, existen rangos de índice de saponificación comprendidos entre 186-196 mg /g y de índice de yodo de entre 84-100 por ciento en porcentaje de masa (Zumbado, 2004). En la Tabla 2.8 se presentan los límites de control para aceites refinados.

Tabla 2.8
Límites de control en aceites refinados.

Parámetros	Límites máximos permitidos
Color	Característico del producto designado.
Olor y sabor	Característico del producto designado. Exento de
Apariencia	El producto debe estar libre de materia extraña.
Ácidos grasos libres	0, 10 % máximo.
Índice de peróxidos	5 meq peróxido/Kg máximo.
Humedad y materia volátil	0, 10 % máximo.
Plomo (Pb)	0,1 mg/kg.
Arsénico (As)	0,1 mg/kg.

Fuente: RTCA 67.04.40:07

2.12.1 Densidad aparente

Simbolizada habitualmente por la letra griega rho (ρ), es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen a una determinada temperatura expresada en kg/m^3 según el SI. Pero también está dada en miligramos por mililitro, aunque en general se expresa en kilogramos por litro en contratos comerciales. También se le puede llamar “densidad verdadera” (Sánchez y Figueroa, 2013). En un aceite es la relación entre su peso y su volumen, esta constante no varía cuando está puro o fresco, pero es afectado por la edad, la rancidez y cualquier tratamiento que se le haga al aceite. La densidad depende de la temperatura y de la presión (Zapata y Suarez, 2012).



2.12.2 Densidad relativa

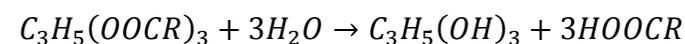
Es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia; en consecuencia, es una magnitud adimensional. Para líquidos y sólidos, la densidad de referencia habitual es la del agua líquida a presión de 1 atm y temperatura de 4 °C. En esas condiciones, la densidad absoluta del agua destilada es de 1000 kg/m³ (Sánchez y Figueroa, 2013).

2.12.3 Rancidez:

Los triglicéridos son sustancias neutras, los grupos ácidos (carboxilos) de los ácidos grasos están neutralizados en el enlace éster. La acidez de los aceites es consecuencia de su degradación por hidrólisis que originan grupos carboxilos libres en los ácidos grasos liberados. Este proceso constituye un factor de rancidez, ya que los ácidos grasos liberados producen un olor característico. La degradación puede originarse por efectos de hidrólisis enzimática: donde actúan las enzimas lipolíticas (lipasas) u oxidación por oxígeno atmosférico. Ambas reacciones son afectadas por el calor, presión, luz, entre otros (Sánchez y Figueroa, 2013).

2.12.4 Humedad y materia volátil

Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción, según el método de industrialización al que hayan sido sometidos, esta se encuentra como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales (Rivera y Rizo, 2015). En los aceites la humedad interfiere de gran manera en su estabilidad, ya que favorece la hidrólisis que consiste en una reacción inversa a la formación de las grasas, en donde se descomponen nuevamente en ácidos grasos y glicerol.





La determinación de humedad y materia volátil es un procedimiento indispensable en el análisis del aceite. Por estas razones debe seleccionarse cuidadosamente el método a aplicar para su determinación, ya que un mismo método no sirve para todos los alimentos (Rivera y Rizo, 2015). La humedad y otras materias volátiles son sin duda las impurezas menores más comunes, y su determinación usualmente se hace por evaporación de la misma, aunque también hay otros métodos. Los aceites refinados suelen tener niveles de humedad menores de 0.1%; los aceites crudos tienen niveles entre 0.1-0.3%, mientras que los aceites ácidos, por ser de naturaleza más polar, pueden tener mayores niveles de humedad (Sánchez y Figueroa, 2013).

2.13 Metrología

De acuerdo al Vocabulario Internacional de Metrología (VIM, 2012), la metrología se define como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, esta incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación. La medición es un proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

2.13.1 Mensurando

Magnitud que se desea medir (VIM, 2012). En esta investigación, los mensurando medidos son los descritos en la operacionalización de la variable, ver Tabla 4.1.

2.13.2 Importancia de la metrología en el contexto actual

Cuando se habla de medidas, se habla de metrología, y a través de esta, existen procesos de medición que ayudan a emitir información numérica. Todo el tiempo necesitamos medir, en el comercio, en la industria, en la vida diaria, debemos tomar decisiones en base a resultados de medición (MIFIC, 2012).



No se podría hablar de un proceso sin control de calidad, y del control de la calidad sin mediciones, por eso se ha decidido resaltar la importancia de la metrología en este trabajo. Además, dicha ciencia es indispensable en el desarrollo de toda investigación. Para efectos de implementación de la metrología química, en el Anexo 12 se describe el procedimiento de estimación de la incertidumbre para el mensurando % AGL.

2.13.3 Metrología Química

La metrología química es un área de la química analítica que investiga y establece las condiciones necesarias para que las mediciones químicas realizadas en un lugar sean válidas en todo el mundo. El propósito de la metrología química es establecer con claridad la trazabilidad e incertidumbre de las medidas que definen las especificaciones comerciales, de manera que, productos similares puedan ser comparados entre sí. El objetivo es facilitar el comercio internacional y la globalización, que deben implicar costos favorables accesibles a los diferentes mercados del mundo (MOL LABS, 2016).

En los procesos industriales se realizan diariamente miles de mediciones químicas. Esto hace que su importancia en la economía sea fundamental, ya que se requieren mediciones confiables, el aseguramiento de la calidad de los alimentos requiere análisis químicos, los cuales se realizan desde los insumos hasta el producto final (Indecopi, 2011).

CAPITULO III

HIPÓTESIS



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



3 Hipótesis

Utilizando una prensa hidráulica a escala de laboratorio y optimizando las variables operacionales como, temperatura, tiempo de calentamiento y presión en el proceso de extracción de aceite crudo de *Arachis Hypogaea L.* variedad Georgia 06-G se obtiene un óleo con parámetros de calidad deseados y buen rendimiento.

CAPITULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



4 Diseño metodológico

4.1 Descripción del ámbito de estudio

Este trabajo se orienta principalmente al campo de la ciencia y tecnología de alimentos, por los análisis fisicoquímicos y el proceso de extracción del aceite de *Arachis Hypogaea L.* La parte experimental se ha realizado en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos (LAFQA-UNAN), ubicado en el Departamento de Química de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua).

4.2 Tipo de estudio

Según Sampieri (2006) es una investigación correlacional, puesto que tiene como propósito conocer la relación que existe entre dos o más variables, es decir, consiste en la manipulación de variables independiente, que corresponde a la variable principal del estudio, sometiendo a condiciones de control a variables dependientes. Las variables independientes son: temperatura, tiempo y presión. Las variables respuesta son: acidez, índice de peróxido, índice de yodo, índice de saponificación, humedad y materia volátil, densidad relativa y densidad aparente.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo por los cálculos de rendimientos en el proceso de extracción y la caracterización fisicoquímica de la materia prima y el producto terminado, además está orientada al área académica “procesos industriales”, en relación a la línea de investigación agroindustria, específicamente a producción y refinación de aceites esenciales a partir de plantas ornamentales, vegetales y semillas sin valor agregado en Nicaragua.



4.3 Población y muestra

4.3.1 Población:

La población corresponde a 20 manzanas de maní de la variedad Georgia 06-G cultivadas en la Finca El Tamarindo de la comunidad Los Alto de Guanacastillo, Municipio de Nindirí, Departamento de Masaya, ver anexo *Figura 4.1* del Anexo 4. Esta población se utilizó como fuente de materia prima, en la extracción del aceite de *Arachis Hypogaea L.* (Maní).

4.3.2 Muestra

A través de un muestreo aleatorio simple se seleccionaron 45 kg de maní, proveniente de la finca mencionada en el ítem 4.3.1, de estos 45 kg de maní, utilizando la misma técnica de muestreo y según los criterios de inclusión y exclusión (ítem 4.3.2.1 e ítem 4.3.2.2, respectivamente) , se tomaron; 300 g de maní para realizar análisis proximal, 4 000 g para para efectuar las ocho (8) corridas experimentales de extracción (500 g/corrida seleccionadas al azar) descritas en ítems 4.5.3., bajo el diseño experimental Taguchi. Inmediatamente, las muestras seleccionadas se almacenaron herméticamente en bolsas Ziploc de polietileno a temperatura ambiente, hasta las etapas correspondientes de su utilización.

Del aceite extraído, se seleccionaron tres muestras de aproximadamente 150 mL, que corresponden al resultado de dos corridas experimentales y una tercera muestra que se obtiene bajo un experimento de datos pronosticados bajo el diseño experimental Taguchi, a las muestras seleccionadas, se les realizó análisis físico-químico para estudiar la calidad del mismo y describir los posibles usos.



4.3.2.1 Criterios de inclusión

- a. Semillas de maní de la variedad Georgia 06-G
- b. Semillas de maní sin cáscara.
- c. Semillas sanas sin hongos

4.3.2.2 Criterios de exclusión

- a. Semillas de maní diferente a la variedad Georgia 06-G
- b. Semillas de maní con cáscara.
- c. Semillas de maní con presencia de hongos

4.4 Variables y Operacionalización

4.4.1 Variables Independientes

- a. Temperatura
- b. Presión
- c. Tiempo

4.4.2 Variables Dependientes

- a. % AGL
- b. Índice de acidez
- c. Índice de yodo
- d. Índice de saponificación
- e. Índice de materia volátil
- f. peróxidos
- g. Densidad aparente
- h. Densidad relativa
- i. Humedad y Rancidez

4.4.3 Operacionalización de las variables

En la Tabla 4.1, se describe la operacionalización de las variables incluyendo el intervalo de medición y la unidad de medida correspondiente.



Tabla 4.1
Operacionalización de las variables

variable (Mensurando)	Intervalo de medición	Unidad de medición
Independiente		
Temperatura	[20 – 150]	$^{\circ}\text{C}$
Tiempo	[15 – 30]	min
[Presión]	[4 – 8]	MPa
Dependiente		
% AGL	≥ 0	$\% \left(\frac{m}{m}\right)$
Índice de acidez	≥ 0	$\frac{mg}{g}$
Índice de yodo	[84 – 100]	$\frac{cg}{g}$
Índice de peróxidos	[0 – 15]	$\frac{meq O_2}{Kg}$
Índice de saponificación	[187 – 196]	$\frac{mg KOH}{g}$
Densidad relativa	[0,912 – 0,920]	1 ¹
Densidad Aparente	[0,80 – 0,99]	$\frac{g}{mL}$
Humedad y materia volátil	[0 – 0,2]	$\% \left(\frac{m}{m}\right)$

Fuente: Propia

¹ Adimensional



4.5 Materiales y métodos

4.5.1 Materiales para recolectar información

Para la recopilación de información, se revisaron fichas de artículos científicos, libros, métodos estándar para la determinación de variables independientes, publicaciones en revistas virtuales, publicaciones en sitios web, monografías y guías técnicas.

4.5.2 Materiales para procesar información

Para el procesamiento de la información se utilizaron los siguientes materiales: computadoras, figuras, diagramas, gráficos, tablas, impresoras, cámara digital y Software.

En la Tabla 4.2, se especifican todos los programas que fueron utilizados para procesar la información de este trabajo.

Tabla 4.2
Software

Nombre	Especificación	Compañía
Foxit reader	versión PDF-1.6	Foxit
Lightshot	5.4.0.1	Microsoft Corporation Inc
Métodos oficiales de analisis	17	AOAC
Minitab 16	16.1.0	Minitab Inc.
Office Excel 2016	MSO 16.0.4456.1003	Microsoft Corporation Inc.
Office Power Point 2016	MSO 16.0.4456.1003	Microsoft Corporation Inc.
Office Word 2016	MSO 16.0.4456.1003	Microsoft Corporation Inc.
Paint 2016	SO 14393.442	Microsoft Corporation Inc.
PROMT profesional	Versión 9.0	PROMT Ltd.

Fuente: *Propia*



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Los equipos utilizados en esta investigación, tanto con dispositivo indicador como los de medida materializada se describen en la Tabla 4.3, y los aparatos en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3
Equipos

Instrumentos de medida con dispositivo indicador

Nombre	Marca	Modelo	Resolución
Balanza	Ohaus	Adventurer AR0640	0,0001 g
Balanza analítica	Ohaus	Adventur pro, AV114	0,0001 g
Balanza semianalitica	GIBERTINI	Europe 500	0,001
Bloque digestor	J.P. Selecta	4,000508	1 °C
Bomba de membrana para vacío	P.Selecta	Vacum-pres	0,1 bar
Campana de gases	Burdinola	OR-ST 1200	-
Centrifuga	ORTO ALRESA	Digicen 21	50 RPM
Estufa de convección	J.P.SELECTA	CONTERM 80L	5 °C
Frigorífico	P-Selecta	STOCKLOW-G	0,1 °C
Horno de mufla (550 °C ± 25 °C)	Ivymen	FD 1535M	1 °C
Multímetro	EXTECH	EX 470	0,1 °C
pH-Metro	CRISON	GLP-31	0,01



EXTRACCIÓN POR Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de *Arachis hypogaea* L. (Maní), Variedad Georgia 06-G.



Pipetas automáticas (100 μ L, 1000 μ L y 10 mL)	THERMO SCIENTIFIC	F1	0,02 μ L, 0,2 μ L y 0,02 mL
Temporizador	Fisher scientific	Nano	1 seg
Termo higrómetro	HANNA	HI 93640N	0.1 %HR/0.1°C
Termómetro	Corning	- ²	1 °C
Termómetro	SAMA	CP 50	0,2 °C

Instrumentos de medidas materializadas

Nombre	Marca	Modelo/clase	Resolución
Balón Kjeldahl	Pyrex	Clase A	-
Balones (100,200,250,500,1000 mL)	Pyrex	Clase A	-
Beaker (30,50,100,500)mL	PYREX	-	10 y 100 mL
Buretas (10,25,50,100 mL)	PYREX/KIMAX	Clase A	0,05 y 0,1 mL
Erlenmeyer (125, 250, 500 mL)	mL / Marca PYREX	-	-
Picnómetro	K	Sealed 3	0,1 mL
Probetas (10,100 mL)	PYREX	-	-

Fuente: Propia

² El signo guion (-) significa que no posee o no se identificó, según el caso.



**EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN
FISICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ),
VARIEDAD GEORGIA 06-G.**



Tabla 4.4
Aparatos

Nombres	Especificación o Marca
Baño María	Marca J.P.SELECTA
Desecador	Con Agente desecante de CaCl_2
Embudo de filtración simple	De vidrio
Espátulas	De acero inoxidable
Prensa hidráulica	4 y 6 Toneladas de presión
Mechero Bunsen	Con manguera ajustable
Mortero con pistilo	Acero inoxidable
Nuez	Metálica
Perlas de ebullición	De vidrio
Pinza de tres dedos	Metálicas
Pinza para buretas	Con protector de goma y/o dedos de plásticos
Pinza para termómetro	Metálica
Pinzas para crisoles	De metal
Placa Calefactora	Marca J.P.Selecta
Plato caliente	Marca Corning
Sistema de destilación simple	De vidrio Marca PYREX
Sistema de extracción soxhlet	Marca Pyrex
Soportes universal	De base de porcelana
Tubos de ensayo	De vidrio

Fuente: Propia



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Nota: Solo se le antepone la palabra marca a los aparatos que se les describe la marca.

En la tabla 4.5, están escritas las especificaciones de la prensa hidráulica utilizada en esta investigación.

Tabla 4.5

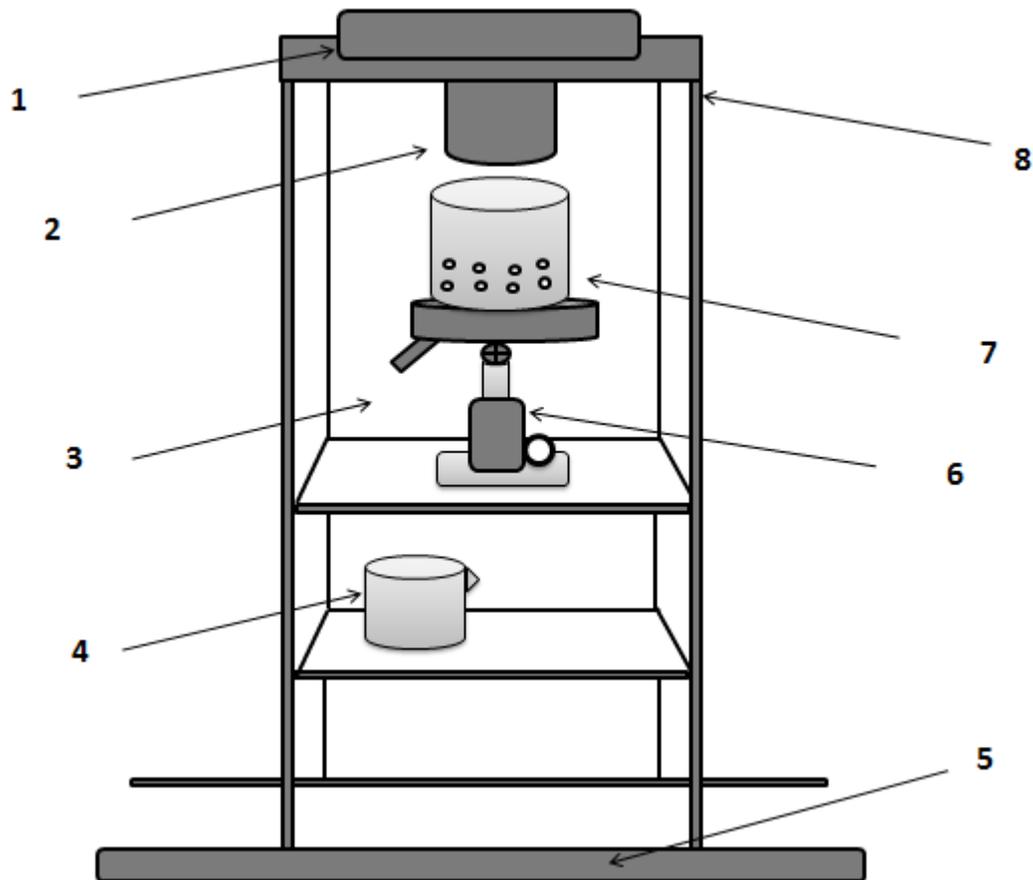
Especificaciones de la prensa hidráulica.

Descripción	Dimensiones, (m)
Altura de lámina de refuerzo	0,036
Altura de pistón inmóvil	0,122
Altura de plancha 1 a pistón inmóvil	0,373
Altura de plancha 1 a plancha 2	0,496
Altura de recipiente recolector	0,038
Altura del cilindro perforado	0,110
Altura total	0,946
Ancho	0,276
Angulares de base	0,508
Diámetro de orificios	0,005
Diámetro del cilindro perforado	0,106
Diámetro del pistón inmóvil	0,102
Diámetro del recipiente recolector	0,152
Longitud de lámina de refuerzo	0,227
Profundidad	0,166

Fuente: Propia



En la *Figura 4.1*, se puede observar el dibujo técnico de la prensa hidráulica de escala laboratorio.



Fuente: Propia
Figura 4.1 Dibujo de la prensa hidráulica

Donde:

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1- Lámina de refuerzo | 5- Soporte |
| 2- Embolo | 6- Gato hidráulico |
| 3- Tubo de descarga | 7- Cilindro perforado |
| 4- Recipiente recolector | 8- Angulares |



EXTRACCIÓN POR Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de *Arachis hypogaea* L. (Maní), Variedad Georgia 06-G.



En la Tabla 4.6, se mencionan los reactivos utilizados en la investigación, su fórmula química y su grado de análisis.

Tabla 4.6
Reactivos

Nombre	Fórmula	Grado
1,3,5 Trihidroxibenceno	$C_6H_6O_3$	Analítico
Ácido acético glacial	CH_3COOH	ACS
Ácido Bórico	H_3BO_3	ACS
Ácido cítrico	$C_6H_8O_7$	Comercial
Ácido cítrico monohidratado	$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	Analítico
Ácido clorhídrico	$HCl_{(ac)}$	ACS
Ácido nítrico	HNO_3	Certificado ACS
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	GR ACS
Almidón soluble	$C_6H_{10}O_5$	Analítico
Azufre	$S_{(s)}$	Analítico
Catalizador Kjeldahl	$CuSO_4$	ACS
Ciclo Hexano	C_6H_{12}	Analítico
Cloro formo	$CHCl_3$	Analítico
Dicromato de potasio	$K_2Cr_2O_7$	Certificado ACS
Etanol	CH_3CH_2OH	ACS
Éter etílico	$(C_2H_5)_2O$	Certificado ACS
Fenoltaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	Analítico
Ftalato ácido de potasio	$KHC_8H_4O_4$	Analítico



EXTRACCIÓN POR Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de *Arachis hypogaea* L. (Maní), Variedad Georgia 06-G.



Granallas de aluminio	Al	Analítico
Hidróxido de potasio	KOH	Certificado ACS
Hidróxido de sodio	NaOH	Certificado ACS
Indicador de Tashiro	$C_{15}H_{14}N_3O_2Na + C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O + C_2H_6O$	Analítico
Permanganato de potasio	$KMnO_4$	Certificado para análisis
Piridina	C_5H_5N	ACS
Solución de hidróxido de sodio	$NaOH_{(ac)} 1,0 N$	Analítico
Solución de wijs	ICl en CH_3COOH 0,1 M	Analítico
Sulfato de sodio	Na_2SO_4	Analítico
Tetracloruro de carbono	CCl_4	GR para análisis
Yodato de potasio	KIO_3	ACS
Yodo sublimado	$I_{(s)}$	Analítico
Yoduro de potasio	KI	Certificado ACS

Fuente: Propia

4.5.3 Método

Según H. Scott Fogler (2001), la producción por batch se aplica en operaciones a pequeña escala. En esta investigación, se utilizó el método de extracción de aceite por prensado mecánico en frío y en caliente, mediante el uso de una prensa hidráulica a escala laboratorio con capacidad de procesar 500 g de maní por lotes.



4.5.3.1 Procedimiento experimental

Primeramente, se selecciona la materia prima (Semillas de maní) según los criterios de inclusión y exclusión (ítems 4.3.2.1 e ítems 4.3.2.2, respectivamente), después se realiza el análisis proximal, para determinar la calidad de la misma y poder evaluar el rendimiento en producción de aceite por prensado mecánico.

Seleccionada la materia prima, se pesan 500 g de semillas de maní, equivalente a la carga máxima de alimentación del cilindro perforado de la prensa hidráulica, luego se someten las semillas a un proceso de acondicionamiento de temperatura (Ver diseño experimental en el ítem 4.5.3.2), posteriormente, se alimenta el cilindro perforado de la prensa, y se ejerce la presión de extracción por acción del gato hidráulico.

El prensado se realiza por duplicado recolectando el volumen de aceite en un frasco de contención y separando la torta de maní, posteriormente el aceite extraído, se somete a un proceso de sedimentación por gravedad para separar sólidos sedimentables que provocan turbidez en el aceite.

Después de la sedimentación, el aceite es separado de las impurezas por decantación y se somete a un sistema de filtración que se utiliza para eliminar los sólidos no sedimentables, para obtener un producto libre de materia extraña y apariencia característica del aceite de maní.

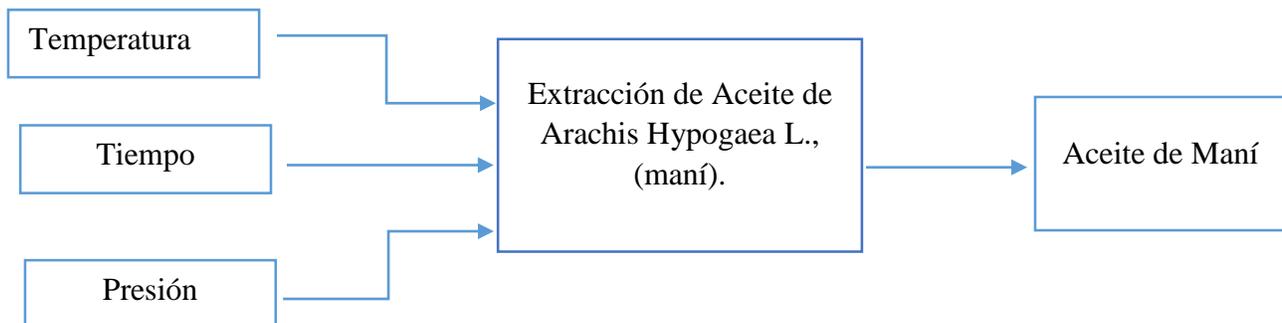
Por último, se almacena el aceite en un lugar libre de contacto con el oxígeno molecular y la luz.



4.5.3.2 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental mixto bajo las especificaciones del método de Taguchi, las variables operacionales estudiadas en el proceso experimental, se detallan en la Tabla 4.7, y la correlación entre ellas se puede observar en la Tabla 4.8. Cabe agregar, que las variables de estudio son; temperatura, tiempo y presión y las corridas experimentales fueron ocho. También se realizó una corrida experimental extra, utilizando datos pronosticados para el proceso de extracción de aceite por prensado en caliente.

En la Figura 4.2, se puede observar las variables que influyen en el proceso de extracción del aceite.



Fuente: Propia

Figura 4.2 Diagrama de factores que influyen en el proceso de extracción de aceite de Arachis Hypogaea L, variedad Georgia 06-G.

En la tabla 4.7, se muestra la matriz del diseño experimental bajo especificaciones Taguchi. En esta tabla, se especifican las variables operacionales del estudio y sus respectivos niveles de experimentación. Las principales variables respuesta, para optimizar el proceso y estudiar el efecto de las condiciones operacionales son el %R y el % AGL.



Tabla 4.7
Variables operacionales con niveles variados.

Variables		Unidad SI	Nivel Bajo (1)		Nivel Alto (2)	
VO ₁	Presión	MPa	4, 878		7, 316	
VO ₂	Tiempo	Min	15		30	
VO ₃	Temperatura	(°C)	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
			23	50	100	150

Fuente: Propia

En la tabla 4.8, se escribe la matriz del diseño experimental bajo las especificaciones de Taguchi.

Tabla 4.8
Diseño de experimento Taguchi.

Nº de pruebas	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Presiones (MPa)
PE ₁	1	1	1
PE ₂	1	2	2
PE ₃	2	1	1
PE ₄	2	2	2
PE ₅	3	1	2
PE ₆	3	2	1
PE ₇	4	1	2
PE ₈	4	2	1

Fuente: Propia



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Las presiones se calcularon considerando las especificaciones de los gatos hidráulicos utilizados en las etapas experimentales (4 toneladas fuerza (tonf) y 6 toneladas fuerza (tonf)) y la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Dónde:

Pe: Presión de extracción en $\frac{kgf}{m^2}$.

d: Diámetro del embolo de la prensa Hidráulica en metro (m)

El diámetro del embolo de la prensa hidráulica es de 10,2 cm = 0,102m. Según el sistema internacional de unidades (SI), 1 tonf = 1 016,05 kgf y 1Pa = 0,101 972 $\frac{kgf}{m^2}$

Por consiguiente:

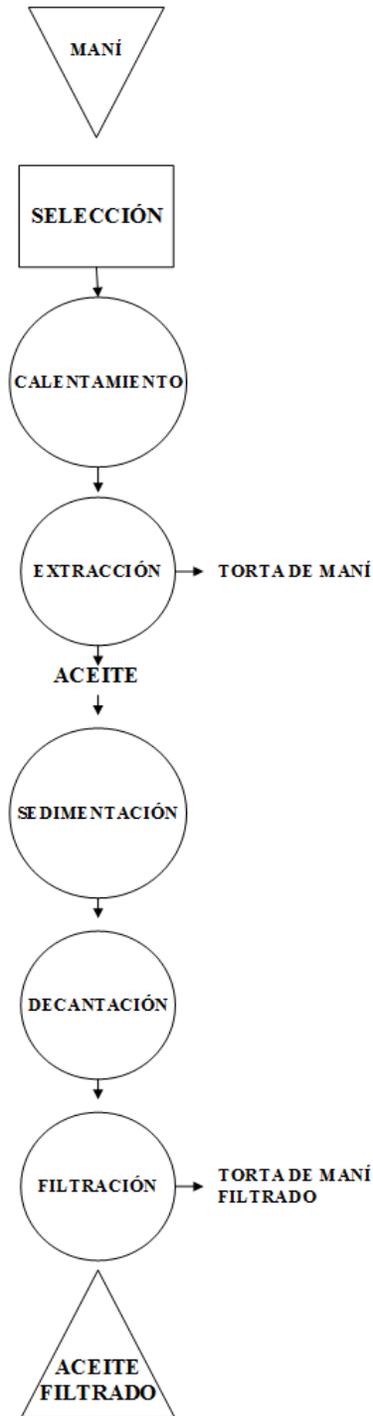
$$Pe (1) = 497\,376,024 \frac{kgf}{m^2} = 4,878 \text{ MPa}$$

$$Pe (2) = 746\,064,037 \frac{kgf}{m^2} = 7,316 \text{ MPa}$$

En la *Figura 4.3*, se describe proceso de extracción de aceite de maní por prensado mecánico mediante un diagrama del proceso y en la *Figura 4.4*, mediante un diagrama de equipo.



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.

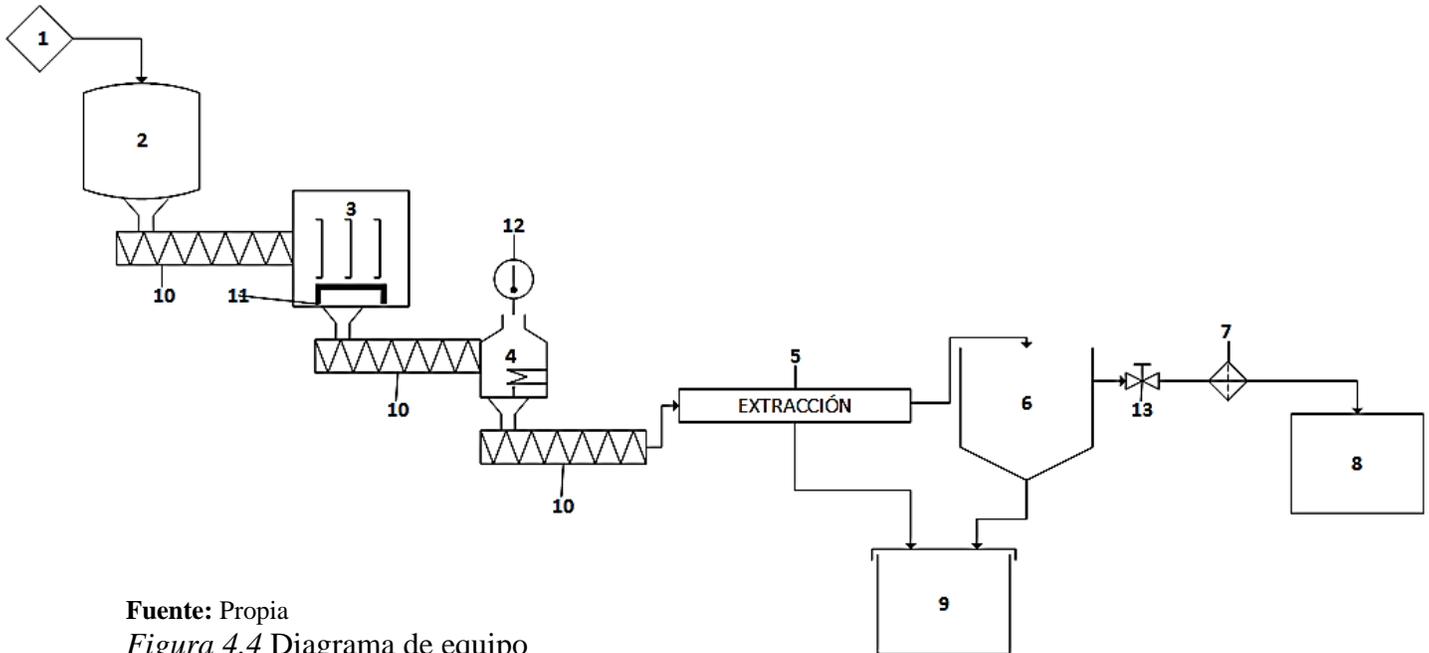


Fuente: Propia

Figura 4.3 Diagrama del proceso de extracción de aceite de maní por prensado



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Fuente: Propia
Figura 4.4 Diagrama de equipo

1. Entrada de Materia Prima (MP).
2. Tanque de Almacenamiento de MP.
3. Criba.
4. Horno con Regulador de Temperatura.
5. Prensa Hidráulica.
6. Decantador.
7. Filtro.
8. Tanque de Almacenamiento de Aceite.
9. Tanque de Torta de Maní.
10. Tornillo sin Fin.
11. Magneto.
12. Termocupla.
13. Válvula de Paso.



4.5.3.3 Métodos de análisis físico-químico

La caracterización fisicoquímica del aceite, se realizó con los métodos de análisis de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC), la Sociedad Americana de Químicos del Aceite (AOCS), la Organización Internacional de Normalización (ISO) y otras normas, como las del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), estas últimas son equivalentes de las normas ISO. Las especificaciones de los métodos de análisis se detallan en la Tabla 4.9, Tabla 4.10.

Tabla 4.9
Métodos de análisis proximal en la semilla del maní.

Método	Definición	Año de publicación
ISO: 937	Proteínas totales	1978
ISO :2171	Cenizas Totales	2007
Nielsen,S.	Contenido de Aceite	2010
ISO: 712	Humedad	2001
FAO:1997	Carbohidratos Totales	1997

Fuente: Propia



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Tabla 4.10
Métodos de análisis físico-químico en el aceite.

Método	Definición	Año de publicación
AOAC 981.11	Preparación de la muestra	2002 (17 ^{va} Edición)
AOCS Ca 5a-40	Ácidos grasos libres (AGL)	1997
AOAC 940.28	Ácidos grasos libres (AGL)	2002 (17 ^{va} Edición)
AOAC 940.28	Índice de acidez	2002 (17 ^{va} Edición)
AOAC 920.160	Índice de saponificable	2002 (17 ^{va} Edición)
AOAC 936.16	Estandarización de la solución de NaOH	2002 (17 ^{va} Edición)
AOCS-AOAC 965.33	Índice de peróxido	2002 (17 ^{va} Edición)
AOAC 933.20 (IUPAC-AOCS)	Índice de yodo	2002 (17 ^{va} Edición)
INEN 39 1973-08 (ISO 662:1998)	Humedad y materia volátil	1973
INEN 45 1973-08	Rancidez	1973
NTE INEN 0035:2012	Densidad relativa	2012 (Primera revisión)
Delgado, S.	Densidad aparente	2012

Fuente: Propia

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS

RESULTADOS



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA



5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Análisis proximal de la semilla de maní variedad Georgia 06-G.

En la tabla 5.1, se presenta los resultados de composición proximal de las semillas de *Arachis Hypogaea* L., variedad Georgia 06-G, utilizada en el proceso de extracción del aceite.

Tabla 5.1
Composición proximal de la semilla de maní.

Mensurando	Resultados promedio (% m/m)	Composición Teórica (% m/m)
Humedad	5,54	4-12
Cenizas Totales	2,04	2-3,1
Materia grasa	48	45-55
Proteínas	30	25-27
Carbohidratos Totales	14, 42	-

Fuente: Propia

Nota: Los datos de composición teórica son basados en la bibliografía de Vegas (2004) y del INCAP (2012). Cabe agregar, que los resultados corresponden al promedio de dos replicas por mensurando más su ensayo en blanco.

En la tabla 5.1, se puede observar que el contenido de humedad está por encima del límite inferior lo que contribuye a la estabilidad de la semilla y favorece la calidad del aceite. Un promedio de humedad superior al 10%, aumenta el riesgo de infección por mohos y contaminación con micotoxinas, además minimiza el proceso de degradación biológica que conduce a la aparición de ácidos grasos libres y de color en el aceite (FAO, 1997).



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Por otra parte, el contenido de aceite está en el rango de datos teóricos máximos al límite superior (Vegas, 2004). Esto lo convierte en una excelente materia prima para la extracción del producto vegetal, puesto que una alta concentración de aceite contribuye a mejorar el rendimiento en el proceso productivo, además, el aceite vegetal es rico en vitaminas, en 100 g contiene 15,16 mg de vitamina E, presenta trazas de carotenos, ácido fólico, riboflavina, tiamina y vitamina A y B, lo que favorece el interés industrial de esta oleaginosa (MIFIC, 2014).

Respecto al contenido de proteínas, el resultado obtenido está por encima de valores promedios teóricos, lo que comprueba su alto valor proteico, esto puede ser aprovechado a través de la torta de maní que es un sub producto del proceso de producción del aceite.

5.2 Análisis del proceso de extracción del aceite

El proceso de extracción de aceite mediante operación de prensado, se inició con la selección de semillas de maní sin vaina. Seguidamente se realizó el análisis proximal, para determinar la calidad de la misma y evaluar el rendimiento en producción de aceite por prensado mecánico.

Respecto a la humedad de la materia prima (5,54%), se demostró que está por debajo del contenido máximo (9,0 %) permitido por el Código Alimentario (CODEX STAN, 1995), para evitar la contaminación por microorganismo y el deterioro biológico de la semilla, además, se tomó en cuenta el 0,5 % m/m de materia extraña que pueden tener las semillas de maní, para que no influyan en la calidad y rendimientos del aceite.



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Se pesaron 500 g de maní, equivalente a la carga máxima de alimentación del cilindro perforado de la prensa hidráulica. Las semillas se someten a un acondicionamiento térmico con el objetivo de expandir las células del maní y liberar fácilmente el aceite en la etapa de prensado (FAO, 1997). Las temperaturas implementadas en el proceso son: (23, 50, 100, 150) °C.

Se alimenta el cilindro perforado y se realiza la extracción por doble prensado, generando presiones de 4,88 MPa y 7,32 MPa. Estas presiones rompen las paredes de las células para liberar el aceite del maní, recolectando el volumen de aceite. Posteriormente se somete a un proceso de sedimentación por gravedad para separar el producto de los sólidos sedimentables que provocan turbidez en el aceite.

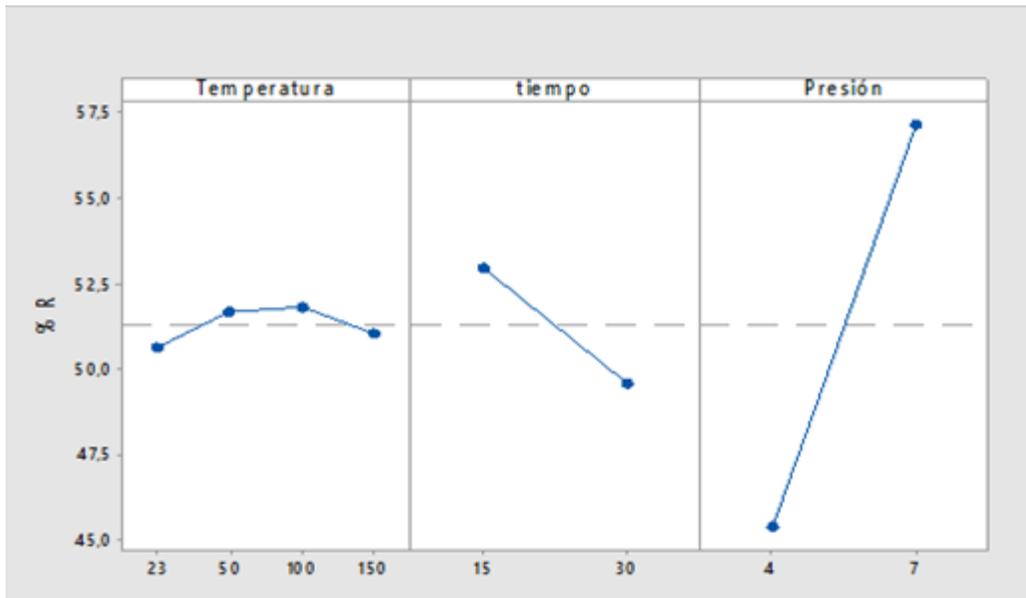
Luego se somete a un sistema de filtración para separar las partículas no sedimentables y obtener un óleo libre de materia extraña. Por último, el producto se almacena libre de contacto con el oxígeno molecular y la luz para evitar la oxidación.

5.3 Parámetros operacionales de temperatura, tiempo y presión para extraer el aceite de Arachis Hypogaea L.

En este acápite, se analiza el efecto de las condiciones operacionales sobre el porcentaje de rendimiento (%R) y el contenido de ácidos grasos libres (% AGL), establecidos como variable respuesta en el diseño experimental Taguchi (ver ítems 4.5.3.2).



En la *Figura 5.1* se muestra el gráfico de efectos principales de las condiciones operacionales en el % de rendimiento. Los datos se muestran en el Anexo 10.



Fuente: Propia

Figura 5.1 Gráfica de los efectos principales para el % de rendimientos

5.3.1 Análisis de Taguchi: %R vs temperatura, tiempo y presión

Tabla 5.2

Respuesta para medias

Nivel	Temperatura	Tiempo	Presión
1	50,61	52,95	45,41
2	51,66	49,60	57,15
3	51,80		
4	51,03		
Delta	1,19	3,35	11,74
Clasificar	3	2	1

Fuente: Propia

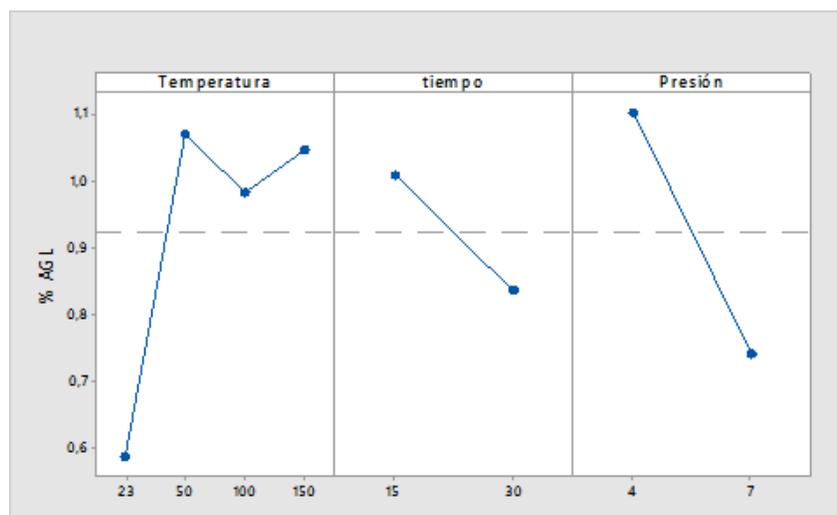


En la Figura 5.1, se puede observar que el factor tiempo y presión tienen efectos sobre el rendimiento en el aceite, lo que coincide en lo observado por Galarranga (2015), que a mayor presión mayor porcentaje de rendimiento. Sin embargo, el factor temperatura es leve, disminuyendo por arriba de 100 °C, esto se debe principalmente a la deshidratación de la semilla provocando el endurecimiento de las mismas, por lo que se necesitaría mayor presión para la extracción.

El valor pronosticado por Taguchi es de 59,34% (ver anexo 5) considerando los niveles de factores optimizados en tiempo de 15 minutos, temperatura 100 °C y presión 7 MPa. Esto tiene un efecto positivo en un proceso industrial, ya que menos tiempo de calentamiento y menos exposición de las semillas a temperatura del proceso, ayudan a disminuir costos energéticos en la producción del aceite.

5.3.2 Análisis de Taguchi del % AGL vs Temperatura, tiempo y presión

En la Figura 5.2 se muestra el gráfico de efecto de las condiciones operacionales sobre el % de AGL, los datos se muestran en la Tabla 14 del Anexo 10.



Fuente: Propia

Figura 5.2 Gráfico de efectos principales para el % de AGL



5.3.3 Análisis de Taguchi: AGL vs. Temperatura, tiempo y presión

Tabla 5.3

Respuesta para medias

Nivel	Temperatura	tiempo	Presión
1	0,5880	1,0073	1,1015
2	1,0700	0,8355	0,7412
3	0,9820		
4	1,0455		
Delta	0,4820	0,1718	0,3602
Clasificar	1	3	2

Fuente: Propia

En la *Figura 5.2*, se observa que la temperatura y presión, son los factores con más efectos sobre los AGL, ya que al utilizar altas presiones el tiempo contacto del aceite con el material metálico del equipo de extracción disminuye, lo que favorece a la calidad del producto. Respecto a las temperaturas se puede observar que a 23 °C la calidad del aceite es mejor respecto a los AGL, porque la molécula del triacilglicerol es más estable a temperaturas bajas, sin embargo, los rendimientos son menores (ver Tabla 14 del Anexo 10).

Es notable que a temperaturas altas la formación de AGL aumenta, puesto que el efecto termo incrementa la velocidad de autooxidación de los aceites vegetales (Martínez, 2010). La energía de activación depende fuertemente de la temperatura, por tanto, un aumento de esta acelera la velocidad de formación de los radicales libres (AGL), por otra parte, una porción considerable de doble ligadura puede sufrir saturación (Muños et al., 2014).



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Considerando los valores optimizados de los niveles de factores de temperatura 100 °C, tiempo 30 min y presión 7 MPa, se pronostica según Tagushi, que el %AGL será de 0,72.

Con el fin de validar las condiciones óptimas pronosticadas por Taguchi se realizó un experimento 9 (PE₉). En la tabla 5.4, se presentan los resultados del proceso experimental aplicando el nivel más alto de presión por parte del gato hidráulico de 6 tonf (7,316) MPa, además, se describen las condiciones operacionales, el porcentaje de rendimiento y el contenido de ácidos grasos libres presentes en el aceite de Arachis Hypogaea L.

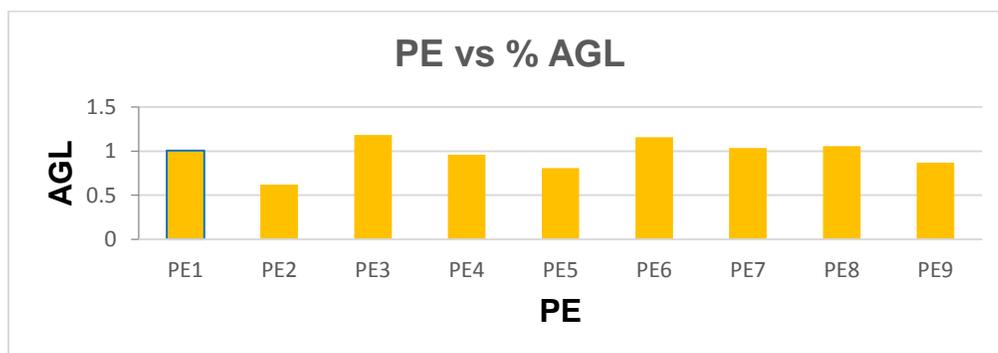
Tabla 5.4

Valor de las condiciones operaciones del PE₉ y resultado del %R y % de AGL.

Nº de pruebas	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Presiones (MPa)	%R	%AGL
PE ₉	100	30	7, 32	66,40	0,87

Fuente: Propia

En la Figura 5.3, se especifica mediante gráfico de barra, el porcentaje de ácidos grasos libres contenidos en los aceites de maní, extraídos mediante los procesos experimentales descritos en el diseño de experimento (Tabla 14 del Anexo 10) y la corrida experimental nueve (Tabla 5.4).



Fuente: Propia

Figura 5.3 Procesos experimentales Vs % de AGL



5.3.4 Análisis de gráficos y tablas

En la tabla 14 del Anexo 10, se observa que las condiciones óptimas de extracción de aceite de maní mediante prensado a temperaturas bajas (23 °C) y a temperaturas en caliente (100 °C) corresponden a los procesos experimentales dos (PE₂) y cinco (PE₅), respectivamente, tomando como referencia los resultados del porcentaje de rendimiento y la calidad del aceite referente a los niveles más bajos de ácidos grasos libres. Según Zumbado (2004) un nivel bajo de AGL, implica mayor estabilidad del aceite frente a la oxidación y a efectos de la luz, por consiguiente, el deterioro es más retardado.

En la misma tabla del anexo 10, se observa que el porcentaje de rendimiento del aceite es mayor en la corrida experimental siete, esto se debe a que a mayor temperatura las células del maní se expanden más y es más fácil la ruptura de la membrana proteínica de la célula, provocando mayor liberación del aceite de la semilla de maní (Guiotto, 2014), esto demanda de mayor presión. Las altas temperaturas influyen en la calidad del aceite puesto que la molécula del triacilglicerido se vuelve más inestable y libera mayor cantidad de ácidos monocarboxílicos, entonces el contenido de acidez aumenta y hace que el aceite sea de menor calidad (Muños et al., 2014).

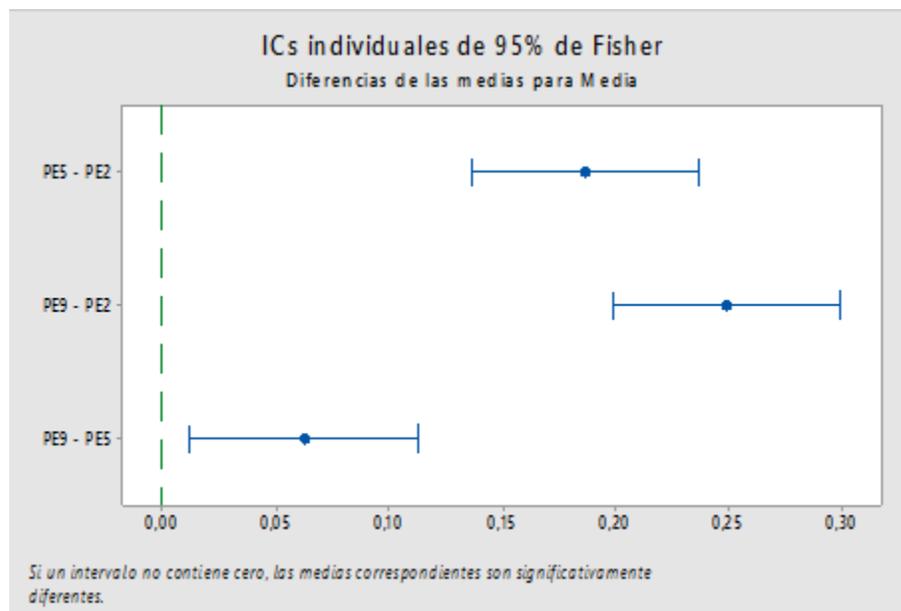
A nivel comercial, no es rentable para el productor vender aceite de maní con alto grado de ácidos grasos libres, puesto que influye en multas económicas que imponen los compradores de aceite crudo, ya que, al refinar el aceite, las mermas en el proceso de refinación aumentan. Por otra parte, las temperaturas del proceso son más altas incurriendo a más consumo energético y disminución de la eficiencia del proceso productivo de extracción de aceite.



5.3.5 Análisis de ANOVA

Para los resultados del contenido de ácidos grasos libres de la muestra de aceite extraído en el proceso experimental dos (PE₂), cinco (PE₅) y nueve (PE₉), se ha aplicado un análisis de varianza para verificar si existe diferencia significativa entre resultados de análisis (Anexo 11).

En la figura 5.4, basado en comparaciones de parejas de Fisher, se observa que los datos en composición de ácidos grasos libres del aceite, varían en dependencia de las condiciones operacionales, entonces, se comprueba estadísticamente, que el aceite extraído en los diferentes procesos (Anexo 10), cambia su composición química por efectos de temperatura, tiempo y presión.



Fuente: Propia

Figura 5.4 Gráfica de comparación en parejas de Fisher



5.4 Eficiencia de la prensa y rendimiento del aceite.

Con el fin de determinar la capacidad óptima de la prensa y la eficiencia se realizaron cuatro experimentos manteniendo variables operacionales constante (temperatura = 100 °C, tiempo de calentamiento = 30 min y Presión = 7, 316 MPa,) variando únicamente las masas de carga en el cilindro perforado de la prensa hidráulica, con el objetivo de determinar la alimentación óptima. Las masas correspondientes son las siguientes: 300, 400, 500 y 600 gramos de semillas de maní.

En Tabla 5.5, y la *Figura 5.5* se presentan los resultados promedios de las corridas experimentales en relación a la variación de la masa ingresada al proceso de extracción de aceite de maní, cabe agregar, que la eficiencia de la prensa se ha definido matemáticamente de la misma manera que el porcentaje de rendimiento, con la diferencia que la masa de aceite producido se toma en cuenta en el momento en que sale da la prensa hidráulica sin incluir las mermas de aceite por efectos de la sedimentación y filtración.

Tabla 5.5

Resultados de corridas experimentales para evaluación de la masa óptima de alimentación de la prensa hidráulica.

Replica	m₁	m₂	% EP
1	300,222	64,033	44,434
2	400,983	106,757	55,466
3	500,215	168,088	70,006
4	606,956	163,060	55,969

Fuente: Propia



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.

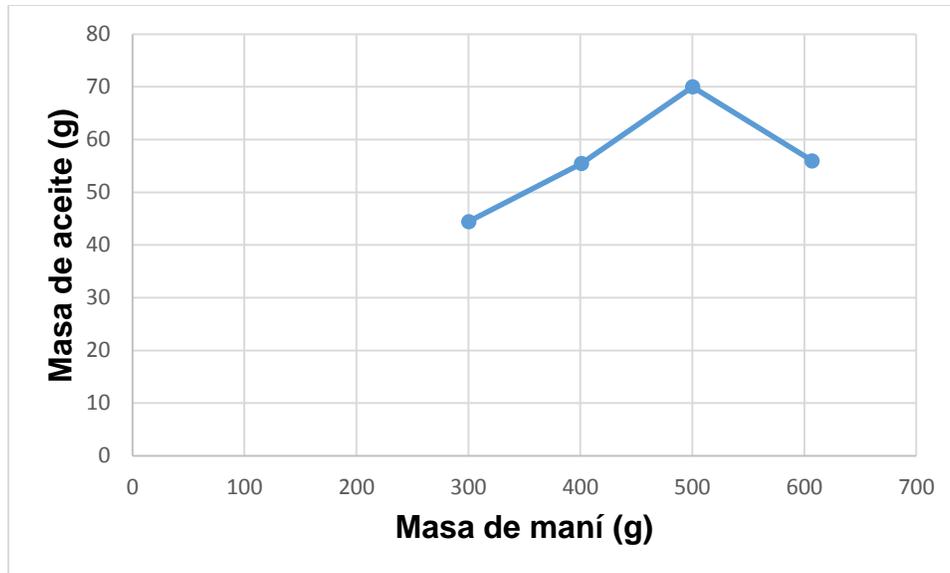


Nota:

m_1 : Masa promedio del maní en gramos (g).

m_2 : Masa promedio del aceite en gramos (g).

% EP: Eficiencia de la prensa (%).



Fuente: Propia

Figura 5.5 Masa de aceite recuperado vs masa de maní.

En la *Figura 5.5*, se observa que la mayor recuperación de aceite se obtiene con una alimentación de 500,215 g (aproximadamente 500 g) de semillas de maní, esto quiere decir que si las masas de suministro son bajas, la cantidad de aceite retenido tanto en las paredes del cilindro perforado como en la torta de maní, afectaría la eficiencia de la prensa y por consiguiente el rendimiento de la producción, por otra parte, si la masa es mayor, hay merma en el porcentaje de recuperación debido a que parte del aceite se pierde por derrame, es decir el equipo esta sobrecargado.



EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



En la Tabla 5.6 y *Figura 5.6*, se aprecia que los porcentajes de rendimiento son menores en relación a la efectividad de la prensa, debido a que existen otros factores que afectan a la recuperación del aceite, tales como: operaciones unitarias de sedimentación por gravedad y filtración, ya que en estas se pierde volumen de aceite por efectos de decantación y retención de líquido en la porosidad de los filtros. Estas operaciones son de mucha importancia para separar los sólidos dispersos provenientes del prensado y mejorar la apariencia del aceite.

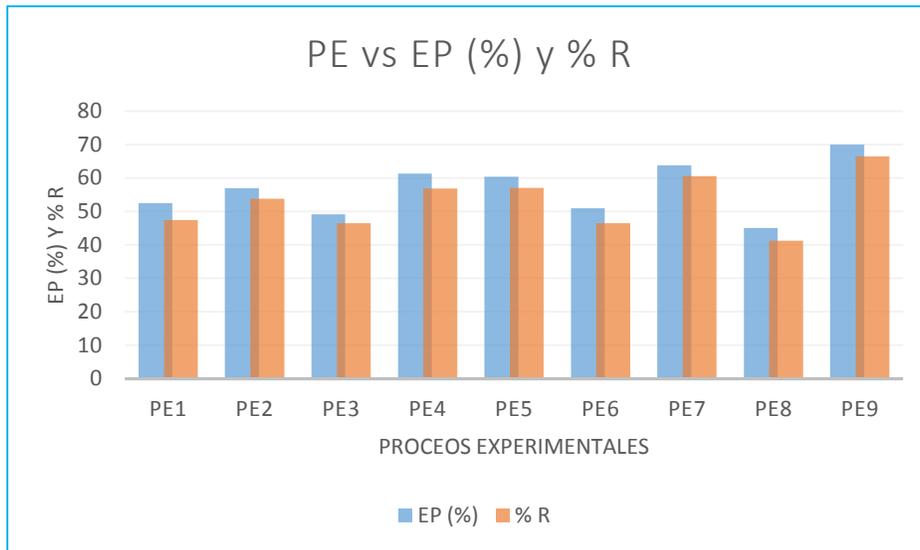
Tabla 5.6 *Datos de la eficiencia de la prensa y porcentaje de rendimiento.*

ID Proceso	EP (%)	% R
PE1	52,433	47,387
PE2	56,903	53,826
PE3	49,159	46,492
PE4	61,286	56,836
PE5	60,387	57,077
PE6	50,927	46,515
PE7	63,781	60,584
PE8	45,056	41,219
PE9	70,006	66,405

Fuente: Propia

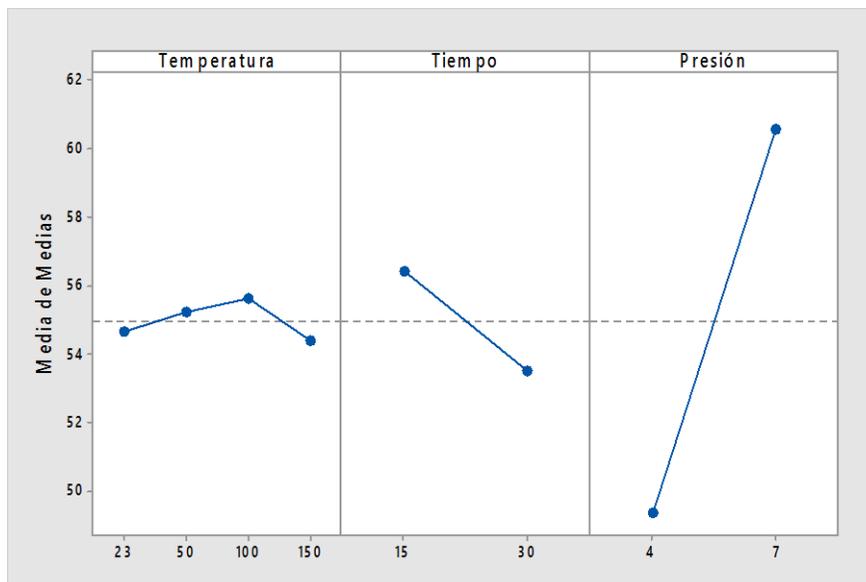


EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Fuente: Propio

Figura 5.6 Eficiencia de la prensa y el porcentaje de rendimientos



Fuente: Propio

Figura 5.7 Efectos principales en la eficiencia de la prensa.



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



Respecto a la *Figura 5.7*, el nivel alto de presión, ejerce un efecto positivo en la mejora de la eficiencia de la prensa, complementándose con un menor tiempo de acondicionamiento térmico de las semillas para mejorar la efectividad del proceso. Por otra parte, se nota que al aumentar la temperatura la eficiencia de la prensa también aumenta hasta cierto nivel de gradiente térmico (100 °C). Esto puede suceder probablemente, cuando en el proceso se combinan altas temperaturas con bajas presiones.

El modelo matemático para calcular el porcentaje de rendimiento en los procesos experimentales, es el siguiente:

$$\% RP = \frac{m_a}{m_m \times CA} \times 100$$

Dónde:

% RP: Porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción.

m_a : Masa del aceite extraído, en g.

m_m : Masa del Maní (g).

CA: Contenido de aceite en las semillas de maní (g).

Nota: El 48 % de materia grasa determinado mediante la extracción por soxhlet y analizado en el ítem 5.1, se utiliza como equivalente al 100 % de aceite que podría extraerse de las semillas del maní.



5.5 Propiedades Físico-Químicas y organoléptica del aceite crudo de Arachis Hypogaea L (Maní).

La calidad del aceite de maní, se determina por el contenido de ácidos grasos libres, también por índice de acidez, índice de saponificación, índice de yodo, índice de peróxido, densidad relativa, etc.

Para determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo de maní, se utilizaron los métodos de ensayos especificados en la Tabla 4.10. Para cada experimento se analizó la muestra por duplicado más un ensayo en blanco.

En la Tabla 5.7, se presentan los resultados promedios de la caracterización fisicoquímica del aceite de maní, extraídos en el proceso experimental dos (PE₂), proceso experimental cinco (PE₅) y el proceso experimental nuevo (PE₉), de los cuales se observa que cumplen con las características fisicoquímicas especificados por las normas del Codex para aceites especificados (CODEX STAN 210-1999) y el Reglamento Técnico centroamericano RTCA 67.04.40:07, “para alimentos y bebidas procesadas, grasa y aceites. Especificaciones”



EXTRACCIÓN POR Prensado Mecánico y Caracterización Físico-Química del Aceite de Arachis hypogaea L. (Maní), Variedad Georgia 06-G.



Tabla 5.7 Caracterización físico-química del aceite crudo de maní.

Mensurando	Resultados			Valores permitidos	Indicaciones
	PE ₂	PE ₅	PE ₉		
% AGL	0,619	0,806	0,868	≤ 2,010	% $\left(\frac{m}{m}\right)$
Índice de acidez	1,231	1,601	1,725	≤ 4,0	$\frac{mgKOH}{g \text{ muestra}}$
Índice de yodo	93,760	94,429	94,338	84-100	$\frac{cg}{g}$
Índice de peróxidos	2,298	1,998	1,999	[0 – 15]	$\frac{meq O_2}{Kg \text{ de muestra}}$
Índice de saponificación	195,172	191,727	193,297	[187 – 196]	$\frac{mgKOH}{g \text{ de aceite}}$
Densidad relativa	0,894	0,936	0,915	[0,912 – 0,920]	1 ³
Densidad Aparente	0,909	0,902	0,912	[0,80 – 0,99]	$\frac{g}{mL}$
Humedad y materia volátil	0,0600	0,034	0,098	[0 – 1,5]	% $\left(\frac{m}{m}\right)$
Rancidez	Negativo	Negativo	Negativo	[No] ⁴	Si – No

Fuente: Propia

³ Adimensional

⁴ Análisis cualitativo, no posee rangos de verificación, según las normas los aceites crudos no deben estar rancios.



***EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN
FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ),
VARIEDAD GEORGIA 06-G.***



Se observa que los parámetros calculados están en el rango de las especificaciones de la norma nacional e internacional de aceites y grasas, sin embargo, con respecto a las densidades relativas del producto extraído en el PE₂ y del PE₅, los resultados están fuera de los rangos permitidos, esto se debe probablemente al factor temperatura, por lo cual una mejora en el producto puede darse por efectos de precalentamiento.

Respecto al experimento nueve, se observa que todos los parámetros de calidad están en un nivel aceptable, esto concuerda con las predicciones de Taguchi.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



6 CONCLUSIONES

- a. La caracterización fisicoquímica de la semilla de *Arachis Hypogaea* L., (Maní), variedad Georgia 06-G es: Humedad 5,54 %, Materia Seca 94,46%, Cenizas Totales 2,04 %, materia grasa 48 %, Proteínas Totales 30% y Carbohidratos Totales 14,42 %, lo que convierte en una fuente potencial de materia prima para extraer el aceite vegetal.
- b. El proceso de extracción de aceite de *Arachis Hypogaea* L., (Maní), utilizando una prensa hidráulica de escala laboratorio con capacidad de 500g, sigue el siguiente proceso: Selección de la materia prima, acondicionamiento térmico, extracción mecánica, sedimentación y filtración.
- c. Las condiciones operacionales optimizadas para la extracción de aceite de *Arachis Hypogaea* L., (Maní), por prensado en frío son: Temperatura 23 °C, tiempo 30 min y presión 7,32 MPa, resultando un %R y %AGL de 53,83 y 0,62 respectivamente. Por prensado en caliente las condiciones operacionales optimizadas para la extracción de aceite de *Arachis Hypogaea* L., (Maní) son: Temperatura 100 °C, tiempo 15 min y presión 7,32 MPa, resultando un %R y %AGL de 66,40 y 0,87 respectivamente.
- d. Los resultados de calidad de las condiciones optimizadas en caliente fueron: porcentajes de acidez 0,87; índice de acidez 1,72; índice de peróxido 1,99; índice de saponificación 193,30; índice de yodo 94,34; densidad aparente 0,91; densidad relativa 0,92 y la humedad y materia volátil 0,10, estos están en los rangos especificados por el CODEX STAN 210-1999 y la NTON 03 075-07 /RTCA 67.04.40:07.
- e. La mejor eficiencia de la prensa hidráulica fue del 70 % y el mejor rendimiento en masa del aceite de maní mediante el proceso de extracción nueva (en caliente) es del 66,40 %.

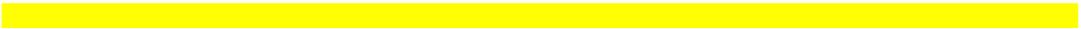
CAPITULO VII

RECOMENDACIONES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA





7 RECOMENDACIONES

- a. Reducir tiempos de calentamiento de la semilla, para mejorar calidad del aceite.
- b. Realizar estudios de extracción de aceite en diversas semillas vegetales para ampliar el uso de la prensa hidráulica de escala laboratorio y por ende ampliar el campo de la investigación.
- c. Incluir en el proceso de extracción del aceite, la operación unitaria de adsorción, utilizando carbón activado como adsorbente para retener aldehídos, cetonas, pigmentos y carotenoides que generan color y olor al aceite de maní.
- d. Extraer de la torta de maní el aceite mediante la extracción con solventes, para mejorar los rendimientos de producción.
- e. Estudiar la calidad y el rendimiento del aceite de maní, manteniendo las condiciones óptimas de temperatura 100°C y tiempo 30 min, variando las presiones de extracción.
- f. Evaluar el rendimiento de extracción de aceite del maní utilizando una prensa tipo expeller de nivel industrial.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFÍA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA



8 Bibliografía

- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* (4ta ed.). México, D.F.: Pearson Educación.
- Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica* (1ra ed.). México, D.F.: Pearson educación.
- Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos* (5ta ed.). México, D.F.: Pearson Educación.
- Banco Central de Nicaragua (BCN). (2004). *El maní*. Obtenido de <http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/historico/sinopsis/1.pdf>
- Banco Central de Nicaragua (BCN). (Mayo de 2016). *Contexto internacional y mercados de frutos*.
- Banco Central de Nicaragua (BCN). (2016). *Exportaciones fob por principales socios comerciales*.
- Bruice, P. (2007). *Fundamentos de Química orgánica* (1ra ed.). México, D.F., México: Pearson Educación.
- Callejas, C., Alvares, I. y Bjorkroth, J. (s.f.). *Nuevas tecnologías en la conservación y transformación de los Alimentos*. Madrid, España: IMC.
- Cárdenas, E., Camacho, A. y Mondragón, L. (2007). *Extracción de aceite de cacahuete. México*.
- Casanova, A. y García, R. (2014). *Efecto de seis densidades de siembra en el cultivo de maní (Arachis hypogaea L.) variedad Georgia 06-G con manejo agroecológico, en el Municipio de Telica, departamento de León, período agosto-diciembre 2013. (Leon-Nicaragua)* Obtenido de riul.unanleon.edu.ni:8080/.../225905.pdf
- Christian, G. (2009). *Química analítica* (6ta ed.). Washington, USA: MC Graw Hill.
- Ciencia y tecnología para el desarrollo (CYTED). (2009). *Aspectos prácticos de la validación e incertidumbre en medidas químicas. Ira*. Buenos Aires, Argentina.
- Cisneros, S. y Herlan, W. (2014). *Evaluación de seis densidades de siembra en el cultivo de maní (Arachis hypogaea) con manejo convencional, variedad Georgia 06-G en la CUKRA municipio de Telica, período agosto-diciembre 2013*. Obtenido de riul.unanleon.edu.ni:8080/.../227868.pdf
- Comisión Nacional de Normalización (CNN), Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). (Abril de 2005). NTN 04 001 05. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración, Segunda*. Managua, Nicaragua.



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



- Contreras, B. (2014). *Comportamiento agronómico de tres variedades de maní (Arachis hypogaea L.) en el Canton Quinsaloma.* (Ecuador) Obtenido de <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1278/1/T-UTEQ-0026.pdf>
- El Nuevo Diario. (19 Septiembre de 2013). *Nicaragua tercer exportador de aceite de maní.* Obtenido de <http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/297086-nicaragua-tercer-exportador-aceite-mani/>
- Fernández, H. Z. (2004). *Análisis Químico de los Alimentos Métodos Clásicos.* Habana, Cuba.
- Fogler, H. S. (s.f.). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas* (Tercera ed.). Prentice Hall.
- Galarraga, Y. (2015). *Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible.* (Pereira) Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6056/621815G146.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, S. (2014). *Efecto del rango punto de ebullición del éter de petróleo en las características fisicoquímicas del aceite extraído del grano del maní (arachis hypogaea l).* (Trujillo-Perú) Obtenido de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/820/1/FLORI%C3%81N_SANDRA_PUNTO_EBULLICI%C3%93N_%C3%89TER.pdf
- Guiotto, E. N. (2014). *Aplicación de subproductos de chía (Salvia Hispanica L) y girasol (Helianthus annus L) en alimentos.* Argentina.
- Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo* (3ra ed.). Barcelona, España: Reverte.
- Harris, D. (2010). *Análisis Químico Cuantitativo* (6ta ed.). Barcelona: Reverte.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2013). *Características físicas y químicas del aceite de cacahuete de diferentes variedades cultivadas en Chiapas.*
- Lehninger. (2009). *Principios de bioquímica* (5ta ed.). Barcelona: OMEGA.
- López, F. (2016). *Metrología de Magnitudes Físico-Químicas* (Segunda ed.). Managua, Nicaragua.
- López, J. (2008). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). Managua, Nicaragua: Xerox.
- Luz, M. (2013). *Guía de Práctica de Tecnología de Aceites y Grasas.*



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



- Martinez, M. (2010). *Extracción y caracterización de aceite de nuez (juglans regia l.): influencia del cultivar y de factores tecnológicos sobre su composición y estabilidad oxidativa*. Obtenido de https://www.google.com.ni/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.efn.uncor.edu/archivos/doctorado_cs_ing/martinez/Tesis_Doctoral_Marcela_Martinez.pdf&ved=0ahUKEwjX8fj-pd_VAhXBwiYKHfCAAHQQFggaMAA&usg=AFQjCNF16hj0uMprSPHQJs-7oZr6rKMbcQ
- Ministerio agropecuario (MAG). (2004). *Cadena agroindustrial maní*. Obtenido de https://books.google.com.ni/books?id=W2THpkvX4BMC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=Julio+2004.+www.laprensa.com+ni+.Edici%C3%B3n+No.+23523.%7C&source=bl&ots=e6ZJBEUvIT&sig=7dJAyxYvobzabrbbtYIi7IvQhfI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiNrYDkIN_VAhVDySYKHd-BCIMQ6AEIGjAA#v=onepage&q=J
- Ministerio de Fomento, I. y. (2012). *Metrología*. Managua, Nicaragua.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). (2008). *Ficha producto "Maní"*.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). (2014). *Aceite de maní Alemania. Programa de Apoyo al Comercio Exterior (PACE-BID)*, 37.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. (2001). NTON 07-004-01. *Norma Metrología Sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Managua, Nicaragua.
- Miranda, K. (2015). *Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de la semilla de chia (Salvia Hispanica L.) mediante prensado*. Quito, Ecuador.
- Moreiras. (2013). *Tablas de Composición de Alimentos*. Obtenido de http://www.mapama.gob.es/ministerio/servicios/informacion/cacahuete_tcm7-315328.pdf
- Muños, A., Vega, J. y Ortecho, J. (2014). *Efecto de la temperatura, oxígeno y luz en la oxidación de las grasas*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LeWqoj6CfagJ:https://es.slideshare.net/vegabner/efecto-de-la-temperatura-oxgeno-y-luz-en-la-oxidacin-de-las-grasas+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ni>
- Murphy, R. (2007). *Introducción a los procesos químicos* (1ra ed.). México, D.F., México: McGraw-Hill.
- Norma del CODEX para aceites vegetales especificados. (1999).
- Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense/ Reglamento Técnico Centroamericano (NTON/RTCA). (Febrero de 2011). Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones.



EXTRACCIÓN POR PENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ), VARIEDAD GEORGIA 06-G.



- Organización Internacional de Normalización (ISO) 9000. (15 de Septiembre de 2015). Sistemas de Gestión de la Calidad Fundamentos y Vocabulario. 4ta. Ginebra, Suiza.
- Organización Internacional de Normalización (ISO) 9001. (2015). Sistemas de Gestión de la Calidad. 5ta. Ginebra, Suiza.
- Pedlini, R. (2012). *Maní Guía Práctica Para su Cultivo* (2da ed.).
- Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA). (2005). Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones.
- Rivera, M., Rivera, M. y Rizo J. (2015). *Desarrollo de un método analítico alternativo para la determinación del porcentaje de humedad y materia volátil en aceite vegetal de uso comestible, periodo de marzo-julio del 2015*. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4224/1/229228.pdf>
- Sampieri, R., Collado, C., y Baptista, L. (2006). *Metodología de la Investigación* (4ta ed.). Iztapalapa, México: McGrawHill.
- Sánchez, I. y Figueroa, M. (2013). “Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por Expresión de 5 especies nativas y cultivadas en Guatemala. Guatemala.
- Sarah. (2012). Aceite de maní o cacahuete. *Oleonativas*.
- Southgate, H. G. (2003). *Datos de Composición de los Alimentos*. Segunda.
- Treybal, R. (1988). *Operaciones de transferencia de masa* (2da ed.). México, D.F., México: McGraw Hill.
- Turizo, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces*. Bogotá .
- Valdez, M. (2014). *Lixiviación de la semilla de rambután como método de extracción de aceite, análisis y caracterización de la misma para su uso industrial*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7209/1/VALDEZ.pdf>
- Valenzuela, A. y Morgado, N. (2005). *Las grasas y aceite en la nutrición Humana* (2da ed.). Santiago, Chile: ISSN.
- Valladares, C. (2010). *Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano*. Obtenido de http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf
- Warren, L., McCabe, J. y Smith, P. (2007). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química* (7ma ed.). México, D.F., México: McGraw-Hill.



**EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN
FISICO-QUÍMICA DEL ACEITE DE ARACHIS HYPOGAEA L. (MANÍ),
VARIEDAD GEORGIA 06-G.**



Zapata, N. y Suárez, L. (2012). *Obtención y caracterización del aceite de las semillas de vitis labrusca L. (uva isabella) y evaluación de su actividad antioxidante.* (Pereira)
Obtenido de
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2943/66029T686.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Densidad del agua a diferentes temperaturas.

Tabla. 1

Densidad del agua en dependencia de la temperatura.

Densidad del H ₂ O		Volumen de 1g de agua (mL)	
Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	A temperatura mostrada ^a	Corregido 20 °C ^b
10	0,9997026	1,0014	1,0015
11	0,9996084	1,0015	1,0016
12	0,9995004	1,0016	1,0017
13	0,9993801	1,0017	1,0018
14	0,9992474	1,0018	1,0019
15	0,9991026	1,0020	1,0020
16	0,9989460	1,0021	1,0021
17	0,9987779	1,0023	1,0023
18	0,9985986	1,0025	1,0025
19	0,9984082	1,0027	1,0027
20	0,9982071	1,0029	1,0029
21	0,9979955	1,0031	1,0031
22	0,9977735	1,0033	1,0033
23	0,9975415	1,0035	1,0035
24	0,9972995	1,0038	1,0038
25	0,9970479	1,0040	1,0040
26	0,9967867	1,0043	1,0042
27	0,9965162	1,0046	1,0045
28	0,9962365	1,0048	1,0047
29	0,9959478	1,0051	1,0050
30	0,9956502	1,0054	1,0053

Fuente: Harris, 2007.

^a Corregido por el efecto del empuje del aire.

^b Corregido por el efecto del empuje del aire y la dilatación del vidrio de Boro silicato (0,0010% K⁻¹).

Anexo 2: Verificación de buretas utilizadas en los análisis físico-químicos

Tabla. 2

Incertidumbre por repetibilidad en la bureta de 50 mL.

N	masa 1 (g)	masa 2 (g)	masa 3 (g)	Temperatura (°C)	ρ/H_2O	V/H ₂ O (mL)
1	28,9971	78,9270	49,9299	23,0	0,9975415	50,1
2	31,8698	81,6961	49,8263	23,0	0,9975415	49,9
3	32,0896	81,9727	49,8831	24,0	0,9972995	50,0
4	29,9390	79,7776	49,8386	24,0	0,9972995	50,0
5	29,6371	79,5915	49,9544	24,0	0,9972995	50,1
6	30,8082	80,6917	49,8835	24,0	0,9972995	50,0
7	29,4893	79,3601	49,8708	24,0	0,9972995	50,0
8	33,3655	83,2148	49,8493	24,0	0,9972995	50,0
9	29,7353	79,6290	49,8937	24,0	0,9972995	50,0
10	30,5412	80,3909	49,8497	24,0	0,9972995	50,0
Fuente: Propia					\bar{V}	50,0
Nota:	masa 1: Masa del beacker				S	0,04088
	masa 2: Masa del beacker más la masa del agua				u (Rep)	0,0129
	masa 3: masa del agua					

La tolerancia permitida para buretas de 50 mL *PYREX Clase A (Código: 2103)*, con precisión de 0,1 mL, es de $\pm 0,1$ mL, en la tabla de Anexo A 1 se puede observar que el valor promedio obtenido en la medición es de 50,0 mL, entonces, la bureta es apta para utilizarse en ensayos los ensayos físico-químicos.

Tabla. 3

Incertidumbre por repetibilidad en la bureta de 10 mL.

N	masa 1 (g)	masa 2 (g)	masa 3 (g)	Temperatura (°C)	ρ/H_2O	V/H ₂ O (mL)
1	31,8694	41,8354	9,9660	26,0	0,9967867	10,0
2	29,4923	39,4353	9,9430	26,0	0,9967867	10,0
3	33,3661	43,3147	9,9486	26,0	0,9967867	10,0
4	28,9992	38,9571	9,9579	26,0	0,9967867	10,0
5	32,0911	42,0260	9,9349	26,0	0,9967867	10,0
6	31,2613	41,2124	9,9511	26,0	0,9967867	10,0
7	30,5444	40,4888	9,9444	26,0	0,9967867	10,0
8	29,7349	39,6670	9,9321	26,0	0,9967867	10,0
9	31,8692	41,8208	9,9516	26,0	0,9967867	10,0
10	29,4917	39,4469	9,9552	26,0	0,9967867	10,0
Fuente: Propia					\bar{V}	10,0
Nota:	masa 1: Masa del beacker				S	0,01034
	masa 2: Masa del beacker más la masa del agua					
	masa 3: masa del agua				u (Rep)	0,0033

La tolerancia permitida para buretas de 10 mL *KIMAX Clase A (Código:220)*, con precisión de 0,05 mL, es de $\pm 0,02$ mL, en la tabla de Anexo A 3 se puede observar que el valor promedio obtenido en la medición es de 10,0 mL, entonces, la bureta esta apta para utilizarse en ensayos físico-químicos.

2.1 Imágenes del proceso de verificación de buretas.

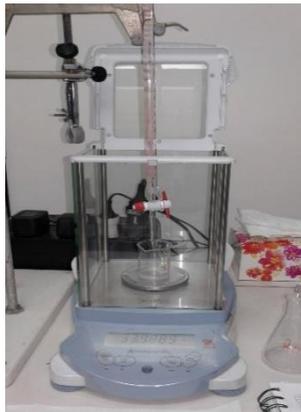


Figura 3.1. Medición de la masa en la bureta de 50 mL.



Figura 3.2. Medición de la masa en la bureta de 10 mL.



Figura 3.3. Medición de la temperatura en el volumen de agua



Figura 3.4. Medición de las condiciones ambientales

Fuente: Propio

Anexo 4: Selección de la materia prima

4.1. Selección de maní para ser utilizado como materia prima en el proceso de extracción del aceite vegetal



Figura 4.1. Terreno de cultivo de maní en la finca el Tamarindo.

Fuente: Propio



Figura 4.2. Apilamiento de del maní



Figura 4.3. Descascarillado artesanal del maní

Anexo 5: Extracción de aceite de Maní.

5.1 Proceso de extracción del aceite de maní por prensado mecánico.

5.1. Selección del maní para el proceso.



5.2. Determinación de la masa.



5.3. Calentamiento del maní.



5.4. Extracción del aceite.



5.5. Aceite extraído de la prensa.



5.6. Sedimentación por gravedad.



5.7. Filtración.



5.8. Aceite crudo de Maní.



Fuente: Propio

Anexo 7: Filtración con carbón activado.



Figura 7.1. Filtración con carbón activado. Esta última imagen corresponde a la operación unitaria por adsorción utilizando carbón activado para eliminación de olor y clarificación del aceite.

Anexo 8: Etapas experimentales en la determinación de la composición proximal de las semillas de maní (Imágenes y fórmula).

8.1. Proceso para la determinación de la Humedad y Materia seca

8.1.1 Medición de la masa de la muestra.



Fuente: Propio

8.1.2 Proceso de secado en estufa de convección a 130 °C.



8.1.3 Peso de la muestra seca



Tabla. 4

Datos para cálculos de humedad y materia volátil.

	Masa promedio de las capsulas vacías (\bar{m}_0)	Masa de la muestra (m_1)	Masas promedio de las muestras después del horno (\bar{m}_2)
1	39,50435	5,0007	44,2239
2	41,30015	5,0001	46,0270

Nota: El análisis se realizó por duplicado.

Fuente: Propio

Fórmula para cuantificación de materia seca:

$$\%MS = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{m_1} \times 100$$

Donde:

$\%MS$: Porcentaje de masa seca

\bar{m}_0 : Masa de la cápsula vacía, en g.

m_1 : Masa de la muestra húmeda, en g.

\bar{m}_2 : Masa del crisol con la muestra después del horno, en g.

Fórmula para cuantificación del porcentaje de humedad y materia volátil:

$$\%H_{bh} = 100 - \%MS$$

$\%H_{bh}$: Contenido de humedad de la muestra en base húmeda, en % (m/m).

$\%MS$: Porcentaje de masa seca

8.2. Proceso para la determinación de las Cenizas Totales.

1. Medición de la masa.



2. Combustión de la materia orgánica.



3. Etapa de Incineración (550 ± 15 °C).



4. Medición de la masa de la muestra incinerada (Cenizas).



Fuente: Propio

Tabla. 5

Datos para calcular cenizas totales. Muestra por duplicado

	Masa de los crisoles vacíos en g (m₀)	Masa de la muestra en g (m₁)	Masa de la muestra después del horno en g (m₂)
1	31,1016	5,0004	31,2159
2	30,3259	5,0009	30,4462
Blanco	31,8760	0	31,8912

Fuente: Propio

Fórmula para cuantificar el contenido de Cenizas Totales.

$$\%CT_{bh} = \frac{\bar{m}_2 - CT_B - \bar{m}_0}{m_1} \times 100$$

Donde:

$\%CT_{bh}$: Contenido de cenizas totales de la muestra en base húmeda, en porcentaje masa/masa.

\bar{m}_0 : Masa del crisol vacío, en g.

m_1 : Masa de la muestra húmeda, en g.

\bar{m}_2 : Masa del crisol con las cenizas, en g.

CT_B : Contenido de las cenizas totales en el blanco analítico, en g.

El contenido de cenizas totales en el blanco analítico se calcula mediante siguiente expresión matemática.

$$CT_a = m_2 - m_0$$

Donde:

CT_a : Contenido de cenizas totales en el blanco, en g.

m_0 : Masa del crisol vacío, en g.

m_2 : Masa del crisol con las cenizas, en g.

8.3. Proceso para la determinación del contenido de Aceite.

1. Muestra pesada.



2. Destilación por soxhlet.



3. Evaporación del solvente.



4. Peso de aceite extraído de la matriz.



Fuente: Propio

Tabla. 6

Datos para calcular el contenido de aceite

ID cápsula	Masa promedio de los balones vacíos (\bar{m}_0)	Masa promedio de la muestra (\bar{m}_1)	Masa promedio de los balones más las muestras desecadas. (\bar{m}_2)
1	102,6025	5,0002	104,826
2	96,6465	5,0003	99,2185

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar el contenido de Aceite en base húmeda:

$$\%CA_{bh} = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{\bar{m}_1} * 100\%$$

Donde:

\bar{m}_0 : masa promedio del balón vacío, en g.

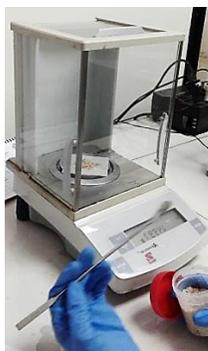
\bar{m}_1 : masa de la muestra, en g.

\bar{m}_2 : masa promedio del balón con grasa, en g.

$\%CA_{bh}$: Contenido de aceite, en % (m/m).

8.4. Proceso para la determinación de proteínas totales.

1. Pesaje de la muestra.



2. Adición de la muestra + Catalizador + H₂SO₄.



3. Digestión de la muestra.



4. Muestras y blanco digestados.



5. Destilación de la muestra digestada.



6. Titulación.



Fuente: Propio

Tabla. 7

Datos para calcular el contenido de proteínas totales

ID	Masa de muestra (g) m_1	Volumen gastado en la muestra (mL) V_m	Volumen gastado en el blanco (mL) \bar{V}_b	Proteínas totales
R1	1,0001	34,2	0	30,039
R2	1,0002	34,3	0	30,036
			Promedio	30,037

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificación de las proteínas totales:

$$\%P = \frac{(V_m - \bar{V}_b) * \bar{N}_{HCl} * (PE_N)}{m_1 * 1000} * fc * 100$$

Donde:

%P: Porcentaje de proteínas totales, en (%m/m).

V_m : Volumen de titulante consumido en las muestras, en mL.

\bar{V}_b : Volumen promedio de titulante consumido en los blancos de sacarosa.

\bar{N}_{HCl} : Normalidad verdadera del ácido clorhídrico (0,1005) (eq. L^{-1})

PE_N : Peso equivalente de nitrógeno (14,006855)

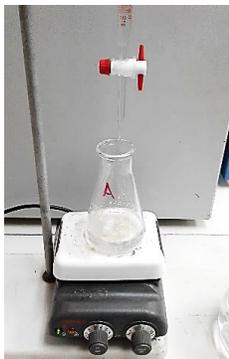
m_1 : Masa de la muestra, en g.

fc : Factor de conversión para leguminosas (6,25).

Anexo 9: Etapas experimentales en la caracterización fisicoquímica del aceite crudo de maní (imágenes y fórmula).

9.1. Proceso para la determinación de los ácidos grasos libres e índices de acidez.

Muestra de aceite en etanol con indicador de fenolftaleína.



Fuente: Propio

Viraje de la muestra al ser titulada con NaOH

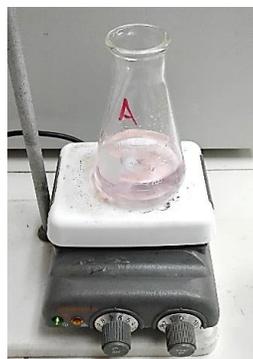


Tabla. 8

Datos promedio para calcular el % AGL e índice de acidez

DESCRIPCIÓN	R	PE ₁	PE ₂	PE ₃	PE ₄	PE ₅	PE ₆	PE ₇	PE ₈	PE ₉
Masa (g) de la muestra de aceite	1	7,059	7,047	7,052	7,047	7,05	7,052	7,048	7,052	7,05
	2	7,053	7,052	7,055	7,052	7,049	7,056	7,05	7,049	7,059
Volumen (ml) gastado de NAOH 0,25M en titulación	1	1	0,63	1,15	0,95	0,8	1,15	1	1,05	0,85
	2	1	0,6	1,2	0,95	0,8	1,15	1,05	1,05	0,87
% ácidos grasos libres promedio		1,007	0,620	1,184	0,958	0,806	1,158	1,033	1,058	0,869
Índice de acidez promedio		2,000	1,231	2,351	1,902	1,602	2,301	2,052	2,102	1,726

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar el contenido de ácidos grasos libres en porcentaje:

$$A = \frac{PM * V * M * 0,1}{m}$$

Donde:

A: Ácidos grasos libres en la muestra de aceite, en porcentaje de masa.

PM: Peso molecular del ácido oleico, $282,461 \frac{g}{mol}$.

V: Volumen de la solución de hidróxido de sodio gastado en la titulación (mL).

M: Molaridad de la solución de NaOH, $0,2515 \frac{mol}{L}$.

m: Masa de la muestra analizada, en g. **0,1:** Es el cociente entre el factor de conversión a porcentaje en masa (100) y el factor de conversión de mL a L (1000).

$$204,220 \ 575$$

Fórmula para cuantificar el índice de acidez:

$$I = \frac{56,1 * V * M}{m}$$

Donde:

I: Índice de acidez del producto, en $\frac{mg}{g}$.

V: Volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación (mL).

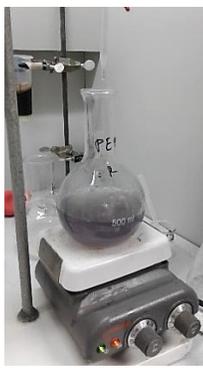
M: Molaridad de la solución de NaOH, $0,1 \frac{mol}{L}$.

9.2. Proceso para la determinación del índice de yodo.

1. Filtrado de la muestra con Na_2SO_4 a $50\text{ }^\circ\text{C}$.
2. Adición de la mezcla ciclo hexano-ácido acético + reactivo de wijjis.
3. Una hora en reposo sin exposición a la luz.



4. Adición de KI + Agua.
5. Titulación con solución de tiosulfato de sodio.
- Adición de solución de almidón.
7. Punto final de la titulación.



Fuente: Propio

Tabla. 9

Datos para calcular el índice de yodo en los procesos experimentales PE₂, PE₅ y PE₈.

ID Muestra	m (g) Muestra	Volumen gastado en la muestra (mL)	Promedio
PE2	0,408	18,65	93,7602985
PE5	0,4085	18,4	94,4294342
PE8	0,4055	18,65	94,3384866
Blanco	-	48,6	

Fuente: Propio

Fórmula para cuantificar el índice de yodo:

$$IV = \frac{(B - S) * M * 12,69}{wt}$$

Donde:

IV: Índice de yodo, en cg/g.

B: Volumen gastado en la titulación del blanco (mL).

S: Volumen gastado en la titulación de la muestra de ensayo (mL).

M: Molaridad de la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

wt: Masa en gramos de la muestra.

9.3. Proceso para la determinación del Índice de peróxido

1. peso de la muestra



2. Muestra + solución ácido acético/cloroformo + solución KI + H_2O .



3. Titular con tiosulfato de sodio hasta que el color amarillo casi desaparezca.



4. Añadir la solución de almidón.



5. Viraje final de la titulación.



Fuente: Propio

Tabla. 10

Datos para calcular el índice de peróxido

ID Muestra	Masa de la muestra (g)	Volumen gastado de $Na_2S_2O_3$ (mL)	I (meqO ₂ /Kg)
PE2	5,0035	1,15	2,29834177
PE5	5,004	1	1,99840128
PE9	5,0025	1	1,99900068

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar el índice de peróxido:

$$I = \frac{S * M * 1000}{m}$$

Donde:

I: Índice de peróxido,

S: ml $Na_2S_2O_3$ (en el blanco corregido)

M: Molaridad de solución de $Na_2S_2O_3$.

m: Gramos de la muestra.

9.4. Proceso para la determinación del índice de saponificación (Imágenes y fórmula)

1. Preparación de la solución etanólica de KOH.
2. Calentamiento de la muestra con etanol.
3. Adición de indicador fenolftaleína.
4. Titulación y Viraje.



Fuente: Autores

Tabla. 11

Datos para Cuantificación del índice de saponificación

ID Muestra	Masa de la muestra (g)	Volumen gastado de HCL 0,5M (mL)	IS (mg/g)
PE2	1,006	5,000	195,172347
PE5	1,013	5,075	191,727144
PE9	1,017	4,990	193,297259
Blanco		12,000	

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar el índice de saponificación:

$$IS = \frac{28.05 (B - S)}{g}$$

Donde:

IS: Índice de saponificación, en mg/g.

B: mL de HCl 0,5M (gastados en la titulación del blanco).

S: mL de HCl 0,5M (gastados en la titulación de la muestra).

g: Gramos de la muestra.

9.5. Proceso para la determinación de la densidad relativa (Imágenes y fórmula)

1. Acondicionamiento de la temperatura de la masa de agua.



2. Medición de la masa del picnómetro + masa de agua.



3. Acondicionamiento de la temperatura de la masa de prueba.



5. Medición de la masa del picnómetro + la masa de muestra.



Fuente: Propia

Tabla. 12

Datos para determinación de la densidad relativa

ID MUESTRA	Masa del Picnómetro (m_0)	Masa del Picnómetro + masa de agua (m_1)	Masa del Picnómetro + masa del aceite (m_2)	Densidad Relativa (ρ_{20})
1	29,12325	83,4938	78,7194	0,91218776
2	30,2140	83,3921	78,7186	0,91211608

Fuente: Propia

Fórmula para calcular la densidad relativa:

$$\rho_{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Donde:

ρ_{20} : Densidad relativa, a 20 °C.

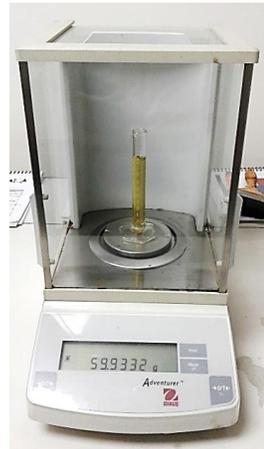
m_0 : Masa en gramos, del picnómetro vacío.

m_1 : Masa en gramos, del picnómetro lleno de agua.

m_2 : Masa en gramos, del picnómetro llene de muestra.

9.6. Procedimiento experimental en la determinación de la Densidad Aparente

1. Ajuste de la temperatura de muestra previo análisis.
2. Pesaje de la muestra.



Fuente: Autores

Tabla. 13

Datos para calcular densidad aparente (a 20 grados Celsius)

ID Muestra	Masa muestra (g)	Volumen de la muestra (mL)	Densidad (g/mL)
PE9	4,5616	5	0,9123
PE2	9,09875	10	0,9099
PE5	9,01875	10	0,9019

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar la densidad aparente:

$$d = \frac{m}{V}$$

Donde:

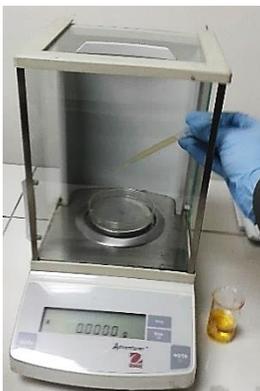
d: Densidad aparente, en g/mL.

m: Masa, en g.

V: Volumen, en mL.

9.7. Etapa experimental en la determinación de la Humedad y Materia Volátil (Imágenes y fórmula).

1. Medición de la masa.



Fuente: Propia

2. Calentamiento a 103 ± 2 °C.



3. Medición de la masa después del calentamiento.



Tabla. 14

Datos para la determinación de la Humedad y Materia Volátil

ID Muestra	Masa del cristalizador vacío (m)	Masa del mensurando	Masa del cristalizador más la masa de la muestra (m_1)	Masa del cristalizador más muestra seca (m_2)
PE5	42,9367	5,0003	47,9370	47,9353
PE2	43,4419	5,0022	48,4441	48,4411
PE9	42,1078	5,0035	47,1113	47,1064

Fuente: Propia

Fórmula para cuantificar la cantidad Humedad y materia volátil:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \times 100$$

Donde:

P: Perdida por calentamiento (Humedad y materia volátil), en (% m/m).

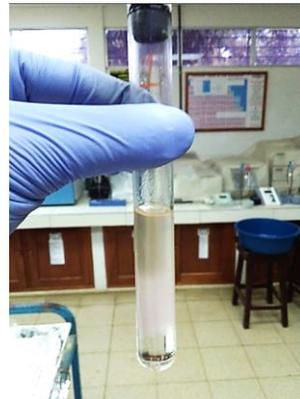
m: Masa de plato Petri, en g.

*m*₁: Masa del plato Petri y la muestra, en g.

*m*₂: Masa del plato Petri y la muestra después del calentamiento, en g.

9.8. Etapa experimental en la identificación la Rancidez (Imágenes y fórmula)

1. Muestra con + ácido clorhídrico.
2. Agitación de la muestra + HCl_(ac) + floroglucinol en vortex.
3. Después de 30 minutos de reposo.



Fuente: Propia

Identificación de la rancidez:

Si la capa acida presenta color rojo, el resultado debe reportarse como positivo, en caso contrario, si el color es amarillo, anaranjado o ligeramente rosado, debe reportarse como negativo.

Anexo 10 Valor de las condiciones operaciones por experimento y resultado del %R y % de AGL.

Tabla. 15

Resultados del diseño de experimento de Taguchi

Nº de pruebas	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Presiones (MPa)	%R	%AGL
PE ₁	23	15	4, 89	47,39	1,01
PE ₂	23	30	7, 32	53,83	0,62
PE ₃	50	15	4, 89	46,49	1,18
PE ₄	50	30	7, 32	56,84	0,96
PE ₅	100	15	7, 32	57,08	0,81
PE ₆	100	30	4, 89	46,52	1,16
PE ₇	150	15	7, 32	60,58	1,03
PE ₈	150	30	4, 89	41,22	1,06

Fuente: Propia

Resultados del análisis de Taguchi: %R vs. Temperatura, tiempo y presión

Tabla de respuesta para medias

Nivel	Temperatura	tiempo	Presión
1	50,61	52,95	45,41
2	51,66	49,60	57,15
3	51,80		
4	51,03		
Delta	1,19	3,35	11,74
Clasificar	3	2	1

Valores pronosticados

* NOTA * La respuesta con la etiqueta "Desv.Est." contiene todos los valores faltantes. No se calculará ni almacenará ninguna predicción para esta respuesta.

Media
59,345

Niveles de factores para predicciones

Temperatura Tiempo Presión
100 15 7

Resultados del análisis de Taguchi: AGL vs temperatura, tiempo; Presión

Tabla de respuesta para medias

Nivel	Temperatura	Tiempo	Presión
1	0,5880	1,0073	1,1015
2	1,0700	0,8355	0,7412
3	0,9820		
4	1,0455		
Delta	0,4820	0,1718	0,3602
Clasificar	1	3	2

Valores pronosticados

* NOTA * La respuesta con la etiqueta "Desv.Est." contiene todos los valores faltantes. No se calculará ni almacenará ninguna predicción para esta respuesta.

Media
0,716

Niveles de factores para predicciones

Temperatura Tiempo Presión
100 30

Anexo 11 Análisis de ANOVA

ANOVA unidireccional: Media vs. Muestras

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Muestras	3	PE2; PE5; PE9

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestras	2	0,067063	0,033531	132,29	0,001
Error	3	0,000760	0,000253		
Total	5	0,067823			

Resumen del modelo

S	R-cuad	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0159210	98,88%	98,13%	95,52%

Medias

Muestras	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
PE2	2	0,6199	0,0217	(0,5841; 0,6558)
PE5	2	0,806416	0,000081	(0,770588; 0,842243)
PE9	2	0,8688	0,0170	(0,8330; 0,9046)

Desv.Est. agrupada = 0,0159210

Si p es menor que alfa, se rechaza la hipótesis nula, que predice que todas las medias son iguales y se acepta la hipótesis alternativa que predice que al menos una de las medias es diferente, puesto que p (0,001) es menor que alfa (0,005), estadísticamente, se comprueba que al menos una de las medias es diferente.

Comparaciones en parejas de Fisher

Estas comparaciones se hacen con el fin de determinar cuáles son las muestras diferentemente significativas, en contenido de Ácidos Grasos Libres.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Muestras	N	Media	Agrupación
PE9	2	0,8688	A
PE5	2	0,806416	B
PE2	2	0,6199	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 12 Procedimiento de estimación de la incertidumbre en el análisis del contenido de ácidos grasos libres presentes en muestras de aceites de maní por volumetría acido-base.

Este anexo está orientado aquellos investigadores que estén interesados en el desarrollo de la metrología química, en lo que corresponde a validación de métodos analíticos según requisitos de la ISO/IEC 17025:2005, o su nueva versión ISO/IEC 17025:2017 esta norma específica que los laboratorios de ensayos (ej.: un laboratorio químico) deben mantener un procedimiento para estimar de la incertidumbre de la medición, siempre y cuando sea necesario.

En este caso, se describe el procedimiento para estimar la incertidumbre en la medición del mensurando % de AGL (Ácidos Grasos Libres) en muestras de aceites de maní. Este ejemplo, puede servir de ayuda para estimar la incertidumbre en análisis de otro tipo de aceites vegetales.

Nota: La fórmula para evaluar la incertidumbre, está basada en el método algebraico según lo establecido por la EURACHEM (2012).

Anexo 12.1 Modelo matemático

Para estimar la incertidumbre en la determinación del contenido en porcentaje de ácidos grasos libres en muestras de aceite de maní, es necesario que se incluyan cada una de sus fuentes de incertidumbres, ya sean de tipo A o tipo B que estén relacionadas a aquellas variables que influyen directamente en el resultado final de la medición.

A continuación, el modelo matemático:

$$\%A = \frac{PM \times V \times M_{NaOH}}{m} \times f_r \times 0,1 \quad (EC.1)$$

Donde:

%A: AGL del producto, en porcentaje de masa.

PM: Peso molecular del ácido oleico, en g/mol.

V: Volumen de la solución de Hidróxido de sodio empleado en la titulación (mL).

M_{NaOH} : Molaridad de la solución de NaOH.

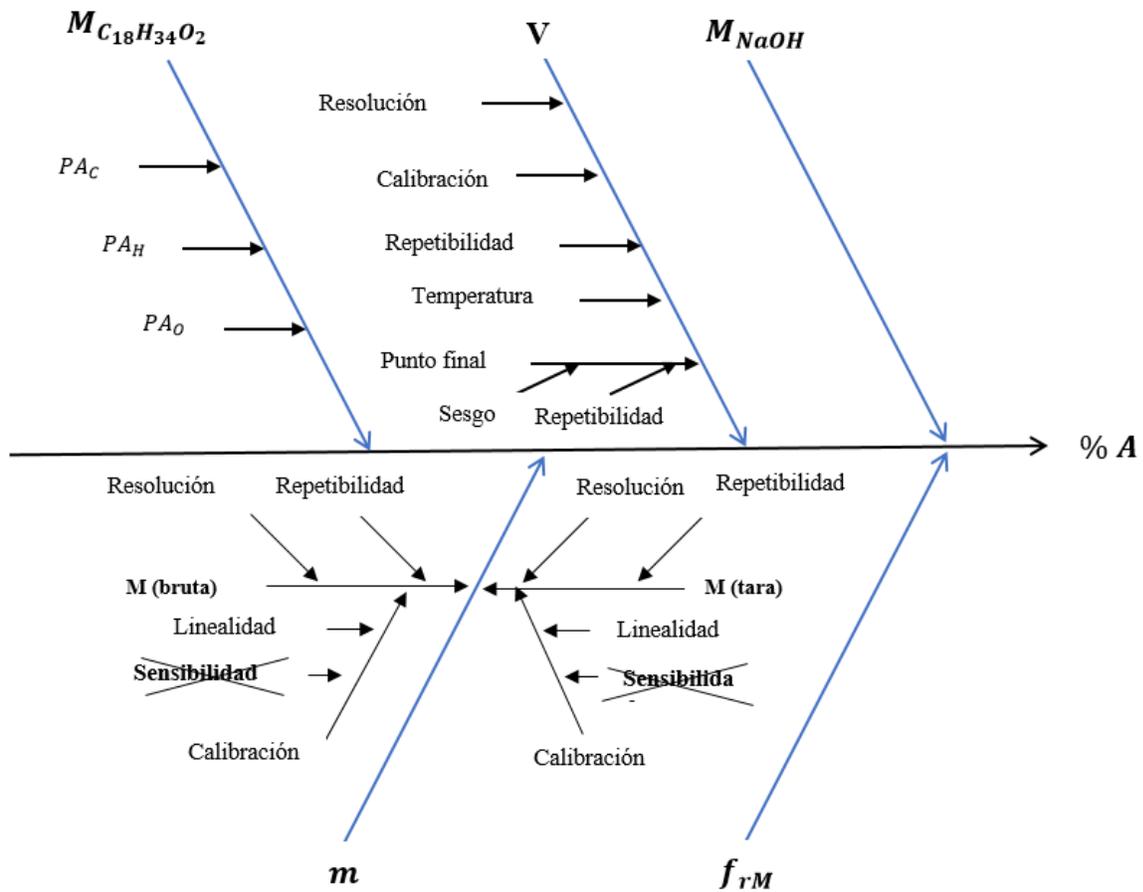
m: Masa de la muestra analizada, en g.

f_r : Factor de repetibilidad.

0,1: Es el cociente entre el factor de conversión a porcentaje en masa (100) y el factor de conversión de mL a L (1000).

Puesto que el dato 0,1 es un factor de conversión, no se ha incluido en el procedimiento para la estimación de la incertidumbre.

Anexo 12.2 Diagrama de causa y efecto, para la determinación del % de ácidos grasos libres presentes en la muestra de aceites vegetal.



Fuente: Propia

Anexo 12.3 Estimación de la incertidumbre, correspondiente al peso molecular del ácido oleico ($PM_{C_{18}H_{34}O_2}$).

A partir de tabla de la IUPAC publicada en el 2013, donde se reportan los datos de pesos atómicos y sus respectivas incertidumbres, se ha completado la Tabla. 16 para cada elemento químico, la incertidumbre estándar se obtiene considerando que la incertidumbre publicada por la IUPAC se ajusta una distribución rectangular, por lo cual, la incertidumbre estándar correspondiente para cada átomo, se obtiene dividiendo estos valores por la $\sqrt{3}$.

Nota: Las contribuciones individuales de cada átomo no son independientes. Por lo tanto, la incertidumbre debida a la contribución de cada átomo se calcula multiplicando la incertidumbre estándar del peso atómico por el número de átomos.

Tabla. 16

Incertidumbres estándar por componentes del ácido oleico.

Elementos	Peso atómico	Incertidumbre reportada	Incertidumbre estándar
C	12, 0106	$\pm 0, 000 027$	$1,558 845 727 \times 10^{-5}$
H	1,007 975	$\pm 0,000 000 05$	$2,886 751 346 \times 10^{-8}$
O	15,9994	$\pm 0,000 001$	$5,773 502 692 \times 10^{-7}$

Fuente: Propia

Por consiguiente: El peso molecular del ácido oleico ($PM_{C_{18}H_{34}O_2}$) y su respectiva incertidumbre estándar, son calculados de la siguiente manera:

$$PM_{C_{18}H_{34}O_2} = 18 \times 12,0106 + 34 \times 1,007 975 + 2 \times 15,9994 =$$

$$282,460\ 75 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$u (PM_{C_{18}H_{34}O_2})$$

$$= \sqrt{u^2(1,558\ 845\ 727 \times 10^{-5}) + u^2(2,886\ 751\ 346 \times 10^{-8}) + u^2(5,773\ 502\ 692 \times 10^{-7})}$$
$$= 1,559\ 917\ 199 * 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Anexo 12.4 Estimación de la incertidumbre por contribución del volumen (V).

En esta sección, se detalla el proceso de estimación de las fuentes de incertidumbre contribuidas por la bureta utilizada en la medición del NaOH gastado en la titulación.

Anexo 12.4.1 Resolución

Para la estimación de la incertidumbre por contribución de la resolución (**R**) de la bureta de 10 mL, se toma en cuenta su resolución (0,05 mL) y el cálculo se lleva a cabo asumiendo una distribución rectangular asimétrica. Por consiguiente:

$$u(Res) = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \frac{0,05}{2\sqrt{3}} = 0,014\ 434$$

Anexo 12.4.2 Calibración

Para cuantificar la incertidumbre por calibración, se toma en cuenta la tolerancia reportada por el fabricante de la bureta, considerando que la tolerancia para una bureta clase A de 10 mL, es de 0,02 mL, entonces:

$$u (Calibración) = u (Tol) = \frac{\text{tolerancia}}{\sqrt{6}} = \frac{0,02}{\sqrt{6}} = 0,008\ 165$$

Anexo 12.4.3 Repetibilidad (en el llenado de la bureta)

La contribución de la incertidumbre, debido a variaciones en el llenado de la bureta puede estimarse a partir de un experimento de repetibilidad, bajo una serie de diez repeticiones, basado en: el llenado de la bureta (a escala completa) con agua destilada, posterior desalojo del volumen de agua, pesado de dicho volumen, y posterior cuantificación del volumen de agua desalojado, mediante el uso de la tabla de densidades del agua a diferentes temperaturas (Anexo 1).

Lo expresado en el párrafo anterior, se realiza para calcular la desviación estándar de las diez repeticiones, para tal caso se asume una distribución rectangular uniforme, la cual es utilizada directamente como una incertidumbre estándar (Anexo 3), por consiguiente:

$$\mu(Rep) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,01034}{\sqrt{10}} = 0,003\ 27$$

Donde:

S: Es la desviación estándar de las repeticiones de llenado y pesaje.

n: Número de repeticiones experimentales.

Anexo 12.4.4 Temperatura

La incertidumbre debida a la diferencia de temperatura: entre, la temperatura de calibración especificada por el fabricante de la bureta (T_{esp}), y la temperatura del laboratorio (T_{Trab}), se calcula tomando en cuenta: el coeficiente de expansión del agua ($2,1 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$), el volumen de la bureta (V_B), y una distribución rectangular, para luego convertirla en una fuente de incertidumbre estándar. Por lo tanto:

$$\mu(Temp) = \frac{(V_B \times |T_{Trabajo} - T_{especificación}| \times 2,1 \times 10^{-4})}{\sqrt{3}} =$$

$$\mu(Temp) = \frac{(10 \times |22,6 - 20| \times 2,1 \times 10^{-4})}{\sqrt{3}} = 0,003\ 152$$

Anexo 12.4.5 Punto final

Esta fuente de incertidumbre está determinada por dos componentes, entre ellas:

Anexo 12.4.5.1 Sesgo

Si durante la determinación del % de ácidos grasos libres, no se utiliza un sistema de valoración automático para la obtención del punto de equivalencia mediante una curva de pH, y en cambio se ocupa fenolftaleína como indicador para detectar el punto final, el sesgo por efecto del cambio de color de transparente a rojo/purpura se calcula de la siguiente manera:

Según Williams y Ellison (2012), existen investigaciones que muestran que el exceso de volumen es de aproximadamente 0,05 mL con una incertidumbre estándar para la detección visual del punto final de aproximadamente 0,03 mL, entonces:

$$u(\text{sesgo}) = 0,03\ \text{mL}$$

Anexo 12.4.5.2 Repetibilidad (en el volumen desalojado para detectar el punto final)

Para estimar esta contribución, se evalúa la desviación estándar (S) de los volúmenes gastados en la cantidad de titulaciones (n), durante el ensayo, por consiguiente, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

En este caso, las desviaciones estándares para los procesos experimentales 2 (PE₂), 5 (PE₅) y 9 (PE₉) son: 0,021 213, 0 y 0,035 355 respectivamente.

PE₂

$$u(\text{rep}P_{\text{final}}) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,021\ 213}{\sqrt{2}} = 0,014\ 999$$

PE₅

$$u(\text{rep}P_{\text{final}}) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0}{\sqrt{2}} = 0$$

PE₉

$$u(\text{rep}P_{\text{final}}) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,035\ 355}{\sqrt{2}} = 0,024\ 999$$

Evaluando las contribuciones del sesgo y la repetibilidad, la incertidumbre por contribución del punto final, se calcula de la siguiente manera:

PE₂

$$u(P_{\text{final}}) = \sqrt{u^2(\text{Rep}) + u^2(\text{sesgo})} =$$
$$u(P_{\text{final}}) = \sqrt{(0,014\ 999)^2 + (0,03)^2} = 0,015\ 899$$

PE₅

$$u(P_{\text{final}}) = \sqrt{0^2 + (0,03)^2} = 0,0009$$

PE₉

$$u(P_{final}) = \sqrt{(0,024\ 999)^2 + (0,03)^2} = 0,025\ 899$$

Basado en las contribuciones anteriores, la incertidumbre por contribución del volumen (mL) de hidróxido de sodio gastado en la titulación de la muestra (V), se estima de la siguiente forma:

PE₂

$$u(V) = \sqrt{u^2(Res) + u^2(Cal) + u^2(Rep) + u^2(Temp) + u^2(P_{final})} =$$

$$u(V) = \sqrt{(0,014\ 434)^2 + (0,008\ 165)^2 + (0,003\ 27)^2 + (0,003\ 152)^2 + (0,015\ 899)^2} \\ = 0,023\ 418$$

PE₅

$$u(V) = \sqrt{(0,014\ 434)^2 + (0,008\ 165)^2 + (0,003\ 27)^2 + (0,003\ 152)^2 + (0,0009)^2} \\ = 0,017\ 218$$

PE₉

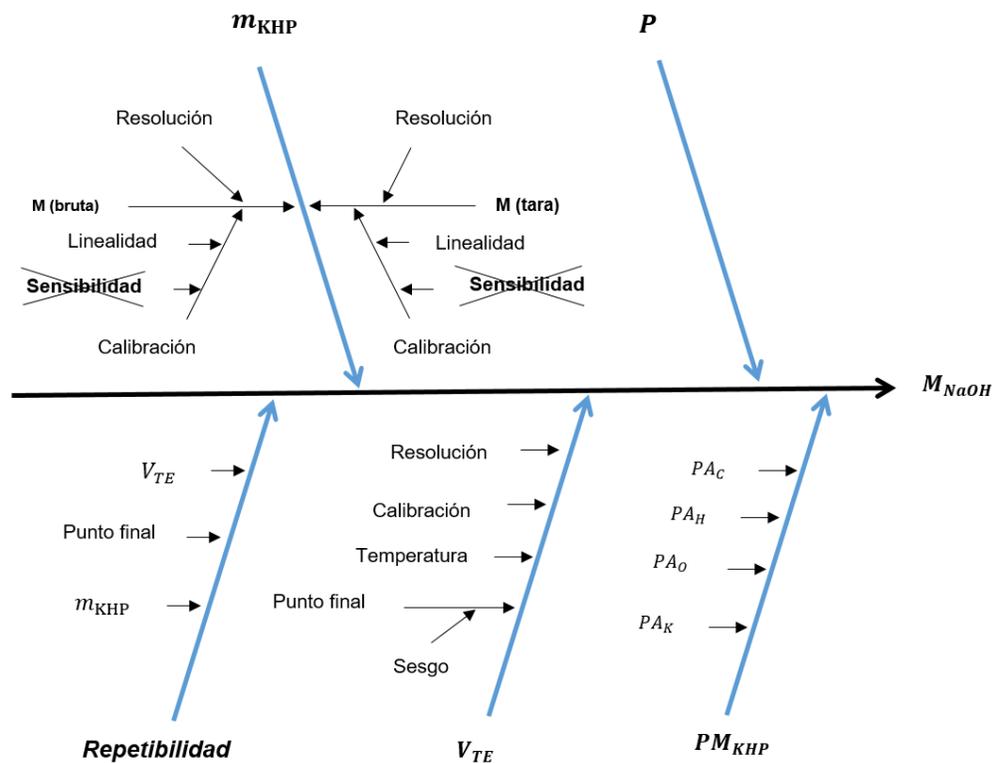
$$u(V) = \sqrt{(0,014\ 434)^2 + (0,008\ 165)^2 + (0,003\ 27)^2 + (0,003\ 152)^2 + (0,025\ 899)^2} \\ = 0,031\ 087$$

Anexo 12.5 Estimación de la incertidumbre por contribución de la Molaridad del hidróxido de sodio (M_{NaOH}).

Para la cuantificación de la acidez, se debe estar al tanto, que la concentración de la solución de hidróxido de sodio puede afectar el cálculo del mensurando, entonces, la verdadera concentración solo puede ser conocida bajo un ensayo de estandarización.

La estandarización aporta incertidumbre a la medición, y es necesario conocer tal valor, a continuación, se describe el procedimiento para la estimación de la incertidumbre en la estandarización de la solución NaOH frente al patrón primario ftalato ácido de potasio (KHP).

Anexo 12.5.1 Diagrama de causa y efecto, para la estandarización de la solución de NaOH.



Fuente: EURACHEM, 2012 (Modificado).

Donde:

V_{TE} : Volumen gastado de titulante en la estandarización.

PM_{KHP} : Peso molecular del ftalato ácido de potasio.

P : Pureza del KHP.

m_{KHP} : Masa del patrón primario (KHP).

Nota: El diagrama de causa y efecto para la estimación de la incertidumbre por contribución de normalidad del NaOH, es del tipo de diagrama que incluye las repetibilidades combinadas.

Anexo 12.5.2 Estimación de la incertidumbre por contribución de la masa del KHP

(m_{KHP}).

Componente de la incertidumbre por calibración de la *balanza analítica: Ohaus****Adventurer AR0640.***

La documentación del fabricante, identifica tres fuentes de incertidumbre para el peso neto: la repetibilidad, la resolución digital de la balanza y la contribución debida a la incertidumbre en la función de calibración de la escala. Esta función de calibración tiene dos fuentes de incertidumbre potenciales identificadas como la sensibilidad de la balanza y la linealidad (EURACHEM, 2012). Puesto que los análisis se llevan a cabo en una misma balanza, la sensibilidad puede despreciarse por que la masa se da por diferencia en un rango muy estrecho.

Anexo 12.5.2.1 Linealidad

En el manual de la balanza analítica, el fabricante declara un valor de linealidad de 0,0002 g, este valor representa la diferencia máxima entre la masa real en el platillo y la lectura de la escala. Para determinar la contribución de incertidumbre por linealidad, se asume que se ajusta a una distribución rectangular, y por consiguiente su incertidumbre estándar se estima utilizando la siguiente expresión:

$$u(Lin) = \frac{Linealidad}{\sqrt{3}} = \frac{0,0002}{\sqrt{3}} = 0,000\ 115$$

Esta contribución tiene que ser evaluada dos veces, una vez por la tara y otra vez por la masa bruta, ya que son observaciones independientes y los efectos de linealidad no están correlacionados. Entonces:

$$u(Lin) = \sqrt{2 u^2(Lin)} = \sqrt{2 (0,000\ 115)^2} = 0,000\ 163$$

Según lo escrito anteriormente, es válido decir que la estimación de la incertidumbre por el componente de calibración de la balanza, es igual a la incertidumbre por linealidad, entonces:

$$u(Cal) = u(Lin) = 0,000\ 163$$

Anexo 12.5.2.2 Resolución

Para esta estimación, es conveniente asumir una distribución rectangular asimétrica; la balanza analítica declara una resolución de 0,0001 por lo tanto:

$$u(Res) = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \frac{0,0001}{2\sqrt{3}} = 0,000\ 028$$

Al igual que la contribución por linealidad, la contribución por resolución tiene que ser estimada dos veces; entonces:

$$u(Res) = \sqrt{2 u^2(Res)} = \sqrt{2 (0,000\ 028)^2} = 0,000\ 039$$

Anexo 11.5.2.3 Repetibilidad

Para tal estimación, se le realiza a la balanza analítica una prueba de repetibilidad, en una región cercana a la masa medida para el posterior análisis, para tal efecto se realizan 10 mediciones (n), y de la cual se determina una desviación estándar que dividida por raíz de n mediciones (\sqrt{n}), es una fuente de incertidumbre estándar, por lo cual:

$$u_{repb} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,0001}{\sqrt{10}} = 0,000\ 032$$

Para la estimación de la incertidumbre estándar asociada a la masa del KHP $u_{(m_{KHP})}$, se utiliza la siguiente expresión:

$$u_{(m_{KHP})} = \sqrt{u^2(Cal) + u^2(Res)}$$
$$u_{(m_{KHP})} = \sqrt{(0,000\ 163)^2 + (0,000\ 039)^2} = 0,000168$$

Anexo 12.5.3 Estimación de la incertidumbre por contribución de la pureza del patrón primario (KHP).

Si en el frasco de fábrica del KHP o en su certificado de análisis no se reporta la incertidumbre, pero si el nivel de pureza, y este valor está comprendido dentro de los límites del 99,95 % y del 100,05 %, entonces, es válido asumir una incertidumbre de $\pm 0,0005$ y expresarla como una distribución rectangular, por consiguiente:

$$u(P) = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 2,886\ 751\ 346 \times 10^{-4}$$

Anexo 12.5.4 Estimación de la incertidumbre por contribución del volumen gastado de titulante en la estandarización (V_{TE}).

Anexo 12.5.4.1 Resolución

Para la estimación de la incertidumbre por contribución de la resolución (**R**) de la bureta de 50 mL, se toma en cuenta su resolución (0,1 mL) y el cálculo se lleva a cabo asumiendo una distribución rectangular asimétrica. Por consiguiente:

$$u(Res) = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} = 0,028\ 867$$

Anexo 12.5.4.2 Calibración

Para cuantificar la incertidumbre por calibración, se toma en cuenta la tolerancia reportada por el fabricante de la bureta, considerando que la tolerancia para una bureta clase A de 50 mL, es de 0,1 mL, entonces:

$$u(\text{Calibración}) = u(\text{Tol}) = \frac{\text{tolerancia}}{\sqrt{6}} = \frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,040\ 824$$

Anexo 12.5.4.3 Repetibilidad (en el llenado de la bureta)

El cálculo de la desviación estándar de las diez mediciones de la bureta de 50 mL, puede observarse en el Anexo 1, por consiguiente:

$$\mu(Rep) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,04088}{\sqrt{10}} = 0,012927$$

Anexo 12.5.4.4 Temperatura

La incertidumbre debida a la temperatura para la bureta de 50 mL se estima de la siguiente forma:

$$\mu(Temp) = \frac{(50)(|22,6 - 20|)(2,1 * 10^{-4})}{\sqrt{3}} = 0,015761$$

Anexo 12.5.4.4 Punto final

Esta fuente de incertidumbre está determinada por dos componentes, entre ellas:

Anexo 12.5.4.4.1 Sesgo

Esta fuente se calcula como en la sección de Anexo 11.4.5.1, entonces:

$$u(sesgo) = 0,03 \text{ mL}$$

Anexo 12.5.4.4.2 Repetibilidad (en el volumen desalojado para detectar el punto final de la estandarización)

Los volúmenes gastados en la estandarización de la solución de NaOH a 0,25 M, fueron 39,8 y 39,7 (corregidos con el volumen gastado en el blanco), su desviación estándares 0,070710.

$$u(repP_{final}) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,070710}{\sqrt{2}} = 0,0499995$$

Entonces: La incertidumbre en la detección del punto final de la estandarización es:

$$u(P_{final}) = \sqrt{u^2(Rep) + u^2(sesgo)} = \sqrt{(0,049\ 999\ 5)^2 + (0,03)^2} = 0,058\ 309$$

Para tal estimación, las contribuciones de incertidumbre por el componente V_{TE} , son debidos a la bureta utilizada en la estandarización.

Entonces, la incertidumbre por contribución del volumen (mL) de NaOH gastado en la titulación (V_{TE}), en la estandarización, se calcula de la siguiente manera:

$$u(V_{TE}) = \sqrt{u^2(Res) + u^2(Cal) + u^2(Temp) + u^2(P_{final})} =$$

$$\begin{aligned} u(V_{TE}) &= \sqrt{(0,000\ 028)^2 + (0,040\ 824)^2 + (0,015\ 761)^2 + (0,058\ 309)^2} \\ &= 0,072\ 903 \end{aligned}$$

Anexo 12.5.5 Estimación de la incertidumbre por contribución del peso molecular del estándar primario (KHP).

Según los datos de pesos atómicos y sus respectivas incertidumbres, publicados en el 2013 por la IUPAC, se ha completado la Tabla. 17, para tal caso se le aplica una distribución rectangular, por lo cual, la incertidumbre estándar correspondiente, se obtiene dividiendo la incertidumbre reportada para cada átomo por $\sqrt{3}$, y la incertidumbre total se obtiene multiplicando la incertidumbre estándar por el número de átomos de cada elemento que conforman al KHP.

Tabla. 17

Incertidumbres estándar de los componentes del KHP

Elementos	Átomos	Incertidumbre declarada (\pm)	Incertidumbre estándar	Incertidumbre estándar $/\sqrt{3}$
C	8	0,000 027	$1,35 \times 10^{-5}$	$7,794\ 228\ 634 \times 10^{-6}$
H	5	0,000 000 05	$2,5 \times 10^{-8}$	$1,443\ 375\ 637 \times 10^{-8}$
O	4	0,000 001	5×10^{-7}	$2,886\ 751\ 346 \times 10^{-7}$
K	1	0,0001	5×10^{-5}	$2,886\ 751\ 346 \times 10^{-5}$

Fuente: Propia

Cálculo del peso molecular del KHP.

$$PM_{KHP} = 12,0106 * 8 + 1,007\ 975 * 5 + 15,9994 * 4 + 39,0983 = 204,220\ 575 \frac{g}{mol}$$

Calculo de la incertidumbre por contribución del peso molecular.

$$u (PM_{KHP}) = \sqrt{u^2(C) + u^2(H) + u^2(O) + u^2(K)}$$

$$u (M_{KHP})$$

$$= \sqrt{u^2(6,235\ 382\ 907 \times 10^{-5}) + u^2(7,216\ 878\ 185 \times 10^{-8}) + u^2(1,1547 \times 10^{-6}) + u^2(2,886\ 751\ 346 \times 10^{-5})}$$

$$= 6,872\ 169 * 10^{-5} \frac{g}{mol}$$

Anexo 12.5.6 Estimación de la incertidumbre, correspondiente al factor de repetibilidad en la estandarización.

Para tal estimación se evalúa la desviación estándar obtenida en las dos corridas experimentales como DER, y esta se divide entre la raíz cuadrada de n. la desviación estándar es de 0,00087536 y el promedio de ambas replicas es 0,2515.

$$u(f_{rE}) = \frac{DER}{\sqrt{n}} = \frac{0,003\ 479}{\sqrt{2}} = 0,002\ 46$$

Donde:

DER: Es la desviación estándar relativa

n: Es el número de repeticiones.

La DER se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$DER = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{0,000\ 875}{0,2515} = 0,003\ 479$$

Donde:

S: Es la desviación estándar de los valores de concentración obtenidos en las dos titulaciones del KHP.

\bar{X} : Es la media de los valores de concentración obtenidos en las dos titulaciones del KHP.

Anexo 12.5.7 Estimación de la incertidumbre combina por contribución de la concentración del NaOH (M_{NaOH})

Para estimar la concentración de la solución del NaOH, se utiliza la ecuación 2, respectivamente, y está a la vez, se multiplica por la pureza del patrón primario para convertirla en un modelo matemático (Ecuación 3) que sirve para estimar la incertidumbre por contribución de la concentración de la solución de NaOH.

$$\bar{C}_{NaOH} = \frac{\bar{m}_{KHP}}{\bar{V}_{TE} \times M_{KHP_3}} \quad (Ec. 2)$$

$$\bar{C}_{NaOH} = \frac{\bar{m}_{KHP} \times P}{\bar{V}_{TE} \times M_{KHP_3}} \times f_r \quad (Ec. 3)$$

Con el fin de calcular la incertidumbre combinada para la ecuación (3), se le aplica la segunda regla del inciso 8.2.6 de la QUAM, para modelos matemáticos que involucran multiplicación y división o ambos, por consiguiente, la estimación de la incertidumbre combinada correspondiente a la concentración de hidróxido de sodio, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$u(\bar{M}_{NaOH}) = \bar{M}_{NaOH} * \sqrt{\left[\frac{u(\bar{m}_{KHP})}{\bar{m}_{KHP}}\right]^2 + \left[\frac{u(P)}{P}\right]^2 + \left[\frac{u(\bar{V}_{TE})}{(\bar{V}_{TE})}\right]^2 + \left[\frac{u(PM_{KHP})}{(PM_{KHP})}\right]^2 + \left[\frac{u(f_{rE})}{f_{rE}}\right]^2}$$

$$u(\bar{M}_{NaOH})$$

$$= 0,2515$$

$$* \sqrt{\left[\frac{(0,000168)}{2,0422}\right]^2 + \left[\frac{(2,886751 * 10^{-4})}{0,999}\right]^2 + \left[\frac{(0,072903)}{39,75}\right]^2 + \left[\frac{(6,872169 * 10^{-5})}{204,220}\right]^2 + \left[\frac{(0,00246)}{1}\right]^2}$$

$$= 0,004654$$

Anexo 12.6 Estimación de la incertidumbre por contribución de la masa (m) del aceite.

Esta forma de estimación sigue el mismo principio que en la sección del Anexo 12.5.2.

Anexo 12.6.1 Linealidad

$$u(Lin) = \frac{Linealidad}{\sqrt{3}} = \frac{0,0002}{\sqrt{3}} = 0,000\ 115$$

$$u(Lin) = \sqrt{2 u^2(Lin)} = \sqrt{2 (0,000\ 115)^2} = 0,000\ 163$$

$$u(Cal) = u(Lin) = 0,000\ 163$$

Anexo 12.6.2 Resolución

$$u(Res) = 0,000\ 028$$

$$u(Res) = \sqrt{2 u^2(Res)} = 0,000\ 039$$

Anexo 12.6.3 Repetibilidad

En este caso se utiliza la desviación estándar obtenida en el punto cercano a la masa del aceite (0,0001).

$$u_{rep} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,0001}{\sqrt{10}} = 0,000\ 032$$

Para la estimación de la incertidumbre estándar asociada a la masa del aceite se utiliza la siguiente expresión:

$$u_{(m)} = \sqrt{u^2(Cal) + u^2(Res) + u^2(Rep)}$$

$$u_{(m)} = \sqrt{(0,000\ 163)^2 + (0,000\ 039)^2 + (0,000\ 032)^2} = 0,000\ 17$$

El procedimiento para estimar esta contribución, es similar al descrito en el ítem

Pero se calcula otra vez, por efectos de la masa de las muestras.

Anexo 12.7 Estimación de la incertidumbre, por factor de repetibilidad del método (f_{rM}).

Para estimar la incertidumbre estándar por efecto de las dos determinaciones (n), no es conveniente utilizar la desviación estándar promedio, puesto que ya tienen una incertidumbre asociada, por lo cual se expresada según la DER, entonces:

$$u(f_{rM}) = \frac{DER}{\sqrt{n}}$$

Donde:

DER: Es la desviación estándar relativa

n: Es en número de mediciones en las muestras.

Para determinar la DER, se toma como referencia la desviación estándar real (S), obtenida en las dos determinaciones del mensurando. Por consiguiente:

$$DER = \frac{S}{\bar{X}}$$

Donde:

\bar{X} : Es la media de los valores de concentración obtenidos en las dos titulaciones de la muestra.

PE₂

$$DER = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{0,021\ 213}{0,615} = 0,034\ 492$$

$$u(f_{rM}) = \frac{0,034\ 492}{\sqrt{2}} = 0,017\ 246$$

PE₅

$$DER = \frac{0}{0,8} = 0$$

$$u(f_{rM}) = \frac{0}{\sqrt{2}} = 0$$

PE₉

$$DER = \frac{0,014\ 142}{0,86} = 0,016\ 444$$

$$u(f_{rM}) = \frac{0,016\ 444}{\sqrt{2}} = 0,011\ 627$$

Anexo 12.7 Estimación de la incertidumbre combinada

Con el fin de calcular la incertidumbre combinada para la ecuación (1), se le aplica la regla 2 del inciso 8.2.6 pág. 26 de la QUAM (2012), que aplica para modelos matemáticos que involucren un producto o un cociente o ambos.

Entonces:

PE₂

$$u(\%A) = \% \bar{A} \sqrt{\left[\frac{u(PM)}{M}\right]^2 + \left[\frac{u(\bar{V})}{\bar{V}}\right]^2 + \left[\frac{u(M_{NaOH})}{PM_{NaOH}}\right]^2 + \left[\frac{u(\bar{m})}{\bar{m}}\right]^2 + \left[\frac{u(f_{rM})}{f_{rM}}\right]^2} \quad (Ec. 4)$$

$u(\%A)$

$$= 0,615 \sqrt{\left[\frac{(1,559\ 917 * 10^{-5})}{282,461}\right]^2 + \left[\frac{(0,023\ 418)}{0,615}\right]^2 + \left[\frac{(0,004\ 654)}{0,2515}\right]^2 + \left[\frac{(0,000\ 17)}{7,0495}\right]^2 + \left[\frac{(0,017\ 246)}{1}\right]^2}$$
$$= 0,025\ 733$$

PE₅

$u(\%A)$

$$= 0,8 \sqrt{\left[\frac{(1,559\ 917 * 10^{-5})}{282,461}\right]^2 + \left[\frac{(0,017\ 218)}{0,8}\right]^2 + \left[\frac{(0,004\ 654)}{0,2515}\right]^2 + \left[\frac{(0,000\ 17)}{7,0495}\right]^2 + \left[\frac{0}{1}\right]^2}$$
$$= 0,022\ 707$$

PE₉

$u(\%A)$

$$= 0,86 \sqrt{\left[\frac{1,559\ 917 * 10^{-5}}{282,461}\right]^2 + \left[\frac{0,031087}{0,87}\right]^2 + \left[\frac{(0,004\ 654)}{0,2515}\right]^2 + \left[\frac{(0,000\ 17)}{7,0545}\right]^2 + \left[\frac{0,011\ 627}{1}\right]^2}$$
$$= 0,036\ 022$$

f_{RM}: tiene un valor de 1

% \bar{A} : Es el contenido promedio de ácidos grasos libres expresados en % masa.

Anexo 12.7 Incertidumbre expandida

Una vez determinada la incertidumbre combinada, la estimación de la incertidumbre expandida para las muestras de aceites, se efectúa, según la siguiente expresión:

$$U(\% \bar{A}) = u_c(\% \bar{A}) \times k \quad (\text{Ec. 5})$$

k : es el factor de cobertura equivalente a 2, asumiendo un nivel de confianza del 95%.

PE₂

$$U(\% \bar{A}) = 0,025\ 733 \times 2 = 0,05 \%$$

PE₅

$$U(\% \bar{A}) = 0,022\ 707 \times 2 = 0,04 \%$$

PE₉

$$U(\% \bar{A}) = 0,036\ 022 \times 2 = 0,07 \%$$

Anexo 12.8 Expresión final, en la cuantificación del mensurando.

$$\% \bar{A} = \% \bar{A} \pm U(\% \bar{A}) \quad (\text{Ec. 6})$$

PE₂

$$\% \bar{A} = 0,615 \pm 0,05 \%$$

PE₅

$$\% \bar{A} = 0,8 \pm 0,04 \%$$

PE₉

$$\% \bar{A} = 0,86 \pm 0,07 \%$$

FIN