

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE
SEMILLA DE MANGO A NIVEL LABORATORIO**

**MARÍA JOSÉ USAQUÉN RAMÍREZ
MARÍA ALEJANDRA ZAFRA AGUDELO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE
SEMILLA DE MANGO A NIVEL LABORATORIO**

**MARÍA JOSÉ USAQUÉN RAMÍREZ
MARÍA ALEJANDRA ZAFRA AGUDELO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Enero –Febrero de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi hermana y a mis padres, quienes incondicionalmente han estado a mi lado, siendo pacientes y sabios en su enseñar, apostándole todo a mi proyecto de vida. A Myriam Samacá, por ser un ejemplo de trabajo duro y orden, por creer en mí.

María José Usaquén Ramírez

Dedico este trabajo de grado a Dios, por siempre darme la fortaleza y la sabiduría para seguir cada día, a mi familia por apoyarme y permitirme la oportunidad de empezar mi proyecto de vida.

María Alejandra Zafra Agudelo

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras respectivas familias, por acompañarnos incesantemente durante el recorrido del camino que nos trajo hasta este momento de nuestra vida académica.

A la Universidad de América por brindarnos herramientas, buenos profesores y ponernos retos, lo cual sin lugar a duda nos ha hecho día a día profesionales capaces de afrontar grandes retos.

Gracias a nuestra asesora de trabajo de grado la Ing. Elizabeth Torres, quien encaminó este proyecto para que fuera exitoso, nos aconsejó y escuchó con paciencia. A la Ing. Martha Acosta, quien nos acompañó durante el desarrollo de este proyecto y quien nos guio durante él.

Nuestro agradecimiento también va dirigido al Tecnoparque del SENA, quien creyó en nuestra idea y gracias a sus asesores e instalaciones pudimos llevar a cabo este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
1. GENERALIDADES	22
1.1 EL MANGO	22
1.1.1 Características botánicas	22
1.1.2 El fruto de mango.	24
1.1.3 Variedades de mango.	27
1.1.3.1 Variedades según su lugar de origen.	27
1.1.3.2 Variedades en Colombia.	27
1.1.4. Mercado del mango.	28
1.1.5 Usos.	30
1.2 ACEITES ESENCIALES	30
1.2.1 Características físicas y químicas.	31
1.2.2 Clasificación de los aceites esenciales.	31
1.3 TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS	32
1.3.1 Métodos directos.	32
1.3.2 Destilación.	33
1.3.3 Extracción con solventes.	33
1.4 GENERALIDADES DE CARACTERIZACIÓN DE UN ACEITE	34
1.4.1 Procesos de calidad.	34
2. MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1 MATERIALES	37
2.1.1 Semilla de mango.	37
2.1.2 Solventes.	38
2.2 EQUIPOS	39
2.2.1 Hidrodestilación asistida por microondas.	39
2.2.3 Arrastre por vapor.	40
2.2.4 Extracción por solventes (Soxhlet).	40
2.2.5 Equipos.	41
2.3 MÉTODOS	44

2.3.1 Etapa 1.	45
2.3.2 Etapa 2.	47
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	52
2.4.1 Objetivo de experimentación.	52
2.4.2 Variable respuesta.	52
2.4.3 Variables y niveles de influencia	53
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	54
3.1 ETAPA 1	54
3.1.1 Recolección de las semillas de mango.	54
3.1.2 Tamaño y peso.	54
3.1.3 Secado.	57
3.2 ETAPA 2	59
3.2.1 Arrastre por vapor.	60
3.2.2 Hidrodestilación asistida por microondas.	61
3.2.3 Extracción Soxhlet.	62
3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA	63
3.4 EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS DE LOS METODOS DE EXTRACCION UTILIZADOS	65
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE EXTRAÍDO	66
3.5.1 Propiedades organolépticas.	67
3.5.2 Propiedades físicas.	68
3.5.3 Propiedades químicas	69
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	73
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	73
4.1.1 Acondicionamiento de la semilla de mango	74
4.1.2 Extracción.	74
4.1.3 Separación del producto.	74
4.1.4 Recuperación del solvente.	74
4.2 BALANCE DE MASA	74
4.2.1 Acondicionamiento de la materia prima.	74
4.2.2 Extracción	76
4.2.3 Separación del producto	77

4.2.4 Recuperación del solvente	78
4.3 EQUIPOS	79
4.3.1 Equipos de secado.	79
4.1.2 Molienda.	80
4.1.3 Extracción.	80
4.1.4 Enfriamiento.	81
4.1.5 Filtración.	82
5. ANÁLISIS COSTOS DE PRODUCCIÓN	84
5.1 COTIZACIÓN DE EQUIPOS	84
5.1 GASTO ENERGÉTICO	85
5.2 OTROS GASTOS DE OPERACIÓN	87
5.3 COSTO DE UN MES DE OPERACIÓN	89
6. CONCLUSIONES	90
7. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Árbol de mango.	23
Figura 2. Hojas del árbol de mango	23
Figura 3. Flores del árbol de mango	24
Figura 4. Fruto de mango	25
Figura 5. Partes de la semilla de mango	26
Figura 6. Análisis proximal de la almendra de semilla de mango	27
Figura 7. Evolución de la producción mundial de mango del año 2.000 al 2.013 en toneladas.	29
Figura 8. Área cosechada de mango vs. Producción en toneladas	30
Figura 9. Montaje para la extracción por hidrodestilación	39
Figura 10. Montaje de la extracción por arrastre a vapor.	40
Figura 11. Montaje de la extracción por método Soxhlet	41
Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología a seguir.	45
Figura 13. Metodología de la Etapa 2.	48
Figura 14. a) Producto durante baño frío b) Producto en dos fases después de baño frío	59
Figura 15. Proceso de separación por filtración del aceite obtenido.	60
Figura 16. Productos de la extracción por medio de arrastre de vapor.a) Mezcla solvente-aceite obtenida b) aceite después de la separación	61
Figura 17. Producto de la extracción por medio de hidrodestilación	61
Figura 18. Aspecto de la trampa Clevenger luego de la extracción	62
Figura 19. Aceite de semilla de mango obtenido en pruebas con acetona.	63
Figura 20. Diagrama general del proceso	73
Figura 21. Diagrama de del balance de masa en el secado	75
Figura 22. Diagrama de del balance de masa en la molienda	76
Figura 23. Diagrama de del balance de masa en el proceso de extracción	77
Figura 24. Diagrama de del balance de masa en el proceso de filtración	78
Figura 25. Diagrama de del balance de masa en el proceso de mezclado	79
Figura 26. Horno deshidratador	79
Figura 27. Molino de martillos	80
Figura 28. Extractor por arrastre de vapor	81
Figura 29. Chiller para enfriamiento.	82
Figura 30. Filtro de bolsa	83

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición del mango (x100 g)	24
Tabla 2. Determinación de cáscara y semilla en gramos de pepa de mango	55
Tabla 3. Porcentaje de los componentes de la pepa de mango	55
Tabla 4. Densidad de la semilla de mango como partícula	56
Tabla 5. Determinación de la higroscopicidad	57
Tabla 6. Humedad de la semillas de mango respecto al tiempo de secado.	58
Tabla 7. Características de la semilla de mango	59
Tabla 8. Cantidad de producto obtenido durante la Fase 2.	60
Tabla 9. Rendimiento de cada una de las pruebas.	62
Tabla 10. Análisis de varianza	63
Tabla 11. Costos extracción Soxhlet	65
Tabla 12. Costos extracción arrastre por vapor	66
Tabla 13. Densidad obtenida para el aceite de semilla de mango.	68
Tabla 14. Punto de fusión obtenido para el aceite de semilla de mango	69
Tabla 15. Obtención de la humedad contenida en el aceite de semilla de mango.	69
Tabla 16. Datos obtenidos de pH de aceite de semilla de mango	70
Tabla 17. Datos obtenidos para el índice de acidez del aceite de semilla de mango.	70
Tabla 18. Resultados del índice de yodo para aceite de semilla de mango	71
Tabla 19. Resultados para el cálculo del índice de peróxido del aceite de semilla de mango	71
Tabla 20. Resultados para el cálculo del índice de saponificación del aceite de semilla de mango.	72
Tabla 21. Balance de materia para el proceso de secado	74
Tabla 22. Balance de materia para el proceso de molienda	75
Tabla 23. Balance de materia para el proceso de extracción	76
Tabla 24. Balance de materia para el proceso de Filtración	77
Tabla 25. Balance de materia para el proceso de mezclado	78
Tabla 26. Equipos internacionales	84
Tabla 27. Equipos nacionales	84
Tabla 28. Tabla costo materia prima	85
Tabla 29. Gastos de mano de obra mensual	88
Tabla 30. Gastos mensuales de operación para una planta de extracción de aceite de semilla de mango.	89

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Porcentaje de cada componente de la pepa de mango	55
Gráfica 2. Dimensiones de un grupo de semillas de mango	56
Gráfica 3. Curva de humedad residual de las semillas de mango a 110°C	58
Gráfica 4. Gráfica de línea ajustada análisis de varianza	64

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Porcentaje rendimiento de la extracción	52
Ecuación 2. Densidad del aceite obtenido	52
Ecuación 3. Ecuación de diseño	53
Ecuación 4. Ecuación de diseño del rendimiento para el modelo lineal	64

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del mango	22
Cuadro 2. Variedades colombianas de mango criollo.	28
Cuadro 3. Parámetros analíticos en uso de normas de calidad.	34
Cuadro 4. Equipos comunes a todas las extracciones y procedimientos.	42
Cuadro 5. Equipos específicos utilizados en cada procedimiento.	42
Cuadro 6. Codificación de las pruebas a llevar a cabo	49
Cuadro 7. Condiciones de operación pruebas con arrastre de vapor	49
Cuadro 8. Condiciones de operación de las pruebas por medio de hidrodestilación asistida por microondas	50
Cuadro 9. Condiciones de operación de las pruebas por medio de extracción con Soxhlet.	51
Cuadro 10. Recolección de semilla de mango	54
Cuadro 11. Capacidad de absorción de agua para diferentes granos	57
Cuadro 12. Parámetros de calidad para algunos aceites vegetales	67
Cuadro 13. Caracterización organoléptica del aceite extraído	67

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Selección de los solventes para la experimentación, matriz de comparación	99
Anexo B. Datos de masa de la cáscara de la semilla de mango y porcentaje	103
Anexo C. Dimensiones promedio de las semillas de mango	104
Anexo D. Resultados extracción del aceite	105
Anexo E. Formato de evaluación organoléptica del aceite	107
Anexo F. Cálculo de la densidad del aceite	108
Anexo G. Punto de fusión	109
Anexo H. Índice de Acidez	110
Anexo I. Índice de Yodo	111
Anexo J. Índice de peróxido	114
Anexo K. Índice de saponificación	116

LISTA DE ABREVIATURAS

C: grados Centígrados

mL: mililitro

L: litro

cm: centímetro

m: metro

mm: milímetros

s: segundo

min: minutos

h: hora

kg: kilogramo

HP: horsepower

W: vatios

Kw: kilovatios

N: normalidad

%v/v: porcentaje volumen a volumen

M: molaridad

meq: miliequivalente

COP: pesos colombianos

GLOSARIO

ACEITE ESENCIAL: sustancia aromática responsable del olor característico de vegetales, frutas y flores. Como característica particular, son altamente volátiles, poco densos y no grasos.

DESTILACIÓN: proceso de separación el cual está basado en la diferencia de puntos de ebullición de dos sustancias líquidas coexistiendo en una mezcla homogénea. Este proceso requiere una primera etapa de inyección de calor controlado, el cual hará pasar a estado de vapor uno de los componentes (el más volátil) y una segunda etapa en donde por medio de condensación ésta sustancia regresará a estado líquido, pero esta vez ya dejará de hacer parte de la mezcla.

EXTRACCIÓN: proceso mediante el cual se separa el aceite esencial de la materia prima.

MANGO: fruto ampliamente consumido en el mundo, excelente fuente de vitaminas, minerales y fibra; cuenta con un muy agradable aroma y sabor.

RENDIMIENTO: Cantidad de producto obtenido en relación con la cantidad de materia vegetal empleada durante dicha extracción.

SOLVENTE: sustancia orgánica capaz de permitir que otra sustancia se disperse en ella misma.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito llevar a cabo la evaluación del proceso de obtención del aceite esencial de semilla de mango a nivel laboratorio, el cual se llevó a cabo bajo la dirección del Tecnoparque del SENA.

Los aceites de origen vegetal son ampliamente utilizados en la industria como fuente nutricional y como valor agregado de muchos productos tradicionales, ya sea alimenticios o para el cuidado corporal. El mango es un alimento altamente consumido en Colombia y el mundo, por las atractivas propiedades de su pulpa, su olor y dulce sabor; sin embargo la pepa del fruto es desechada completamente y genera contaminación, por este motivo se propone el desarrollo de un diseño de experimentos que permita determinar la viabilidad del aprovechamiento de este desecho industrial, empezando por evaluar varios tipos de extracción y solventes, siguiendo con la caracterización fisicoquímica del aceite obtenido y terminando con una evaluación técnica y de costos, con el fin de conocer las posibilidades de extrapolar los resultados obtenidos en la práctica a escala laboratorio a nivel industrial. La recolección de las pepas de mango se hace en despulpadoras de fruta en donde previamente se ha aprovechado la pulpa, posteriormente se extrae la materia prima (semilla de mango) del proceso con ayuda de un molino manual, para pasar a ser secadas y molidas. Para conocer qué proceso es el más adecuado para la extracción del aceite de semilla de mango se analizaron dos variables: la metodología de extracción y el solvente; se analizaron tres metodologías de extracción (hidrodestilación, arrastre a vapor y extracción Soxhlet) y dos solventes (etanol y acetona), pruebas mediante las cuales se alcanzó un máximo rendimiento del 19,47% en aceite extraído. Posteriormente éste aceite fue sometido a caracterización para conocer su calidad en comparación a normas y estudios hechos anteriormente. Para terminar, se hizo una evaluación técnica la cual incluyó la diagramación del proceso a escala industrial para el supuesto de una tonelada semilla procesada, los respectivos balances de masa y la cotización de los equipos adecuados para la misma, finalizando con

un análisis de costos que permite conocer la viabilidad de la implementación de éste proceso y su productividad.

Palabras Clave: mango, semilla de mango, aceite esencial, rendimiento, extracto.

INTRODUCCIÓN

El mango es un fruto producido ampliamente en Colombia a lo largo de todo el territorio nacional, actualmente se cultiva en 11 departamentos, pero dicha producción se concentra mayoritariamente en Cundinamarca y Tolima y según el Ministerio de Agricultura colombiano su producción es de 273.000 toneladas anuales. El mango además de ser consumido en su estado fresco también hace parte de los frutos más utilizados en la industria de alimentos, en donde se aprovecha su pulpa y se desecha tanto cáscara como semilla, los cuales constituyen un 33% en peso del fruto. La semilla del mango se encuentra en medio del fruto, rodeada por pulpa y a su vez protegida por un endocarpio fibroso, ésta tiene color hueso a amarillo y se ha encontrado que ha de ser fuente potencial de aceite.

Los aceites contenidos en material vegetal son compuestos químicos de naturaleza orgánica y suelen ser muy volátiles. Estas sustancias son altamente apetecidas en la industria cosmética y alimenticia por sus propiedades únicas y por el bajo costo de su extracción, ya que estas presentan facilidades técnicas para ser llevadas a cabo, pero depende de la naturaleza y propiedades de la materia vegetal qué método se utiliza. La hidrodestilación, la destilación por arrastre de vapor y la extracción con solventes volátiles parecen adaptarse a las características de la semilla de mango.

Se propone evaluar tres métodos de extracción usando dos solventes diferentes, con el fin de encontrar el método con mayor rendimiento durante la tarea de extraer el aceite y así reutilizar la semilla de mango residuo de la actividad industrial de una empresa procesadora de pulpas de fruta, para luego establecer las especificaciones técnicas del método elegido y evaluar viabilidad financiera de dicho proceso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de extracción de semilla de mango a nivel laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el acondicionamiento de las materias primas.
- Seleccionar el método de extracción más eficiente para la obtención de aceite de semilla de mango a nivel laboratorio.
- Establecer las especificaciones técnicas de proceso seleccionado.
- Evaluar viabilidad financiera del proceso seleccionado en la obtención del aceite de semilla de mango.

1. GENERALIDADES

A lo largo de este capítulo se reconoce el fruto de mango, sus partes y características, las especies y características sobresalientes de éstas, el árbol en el que nace el fruto y las condiciones óptimas que requiere para ser cultivado. Así como las especificaciones de lo que se conoce como un aceite esencial y los métodos de extracción más utilizados a nivel laboratorio y la caracterización de los mismos.

1.1 EL MANGO

El mango (*Mangifera indica* L.) es un fruto originario del sudeste Asia y la India, el cual se introdujo al continente americano en la llegada de los españoles durante la época de la colonia en el siglo XVII¹ es una especie de frutícola tropical, pertenece a la familia botánica de las anacardiáceas, se cultiva desde el nivel de mar, este se adapta con facilidad lo que ha provocado la existencia del mango criollo y se han generado más de 200 subpoblaciones diferentes por la genética.²

1.1.1 Características botánicas. Es un árbol de mediano a grande (10 a 20 m de altura), como se muestra en la Figura 1, presenta simetría y es de copa redondeada, la longitud de las raíces oscilan entre 6 y 8 metros de profundidad, aunque su vigor le permite desarrollarse en suelos poco profundos y relativamente pobres. Conocido por tener savia irritante y tóxica que puede causar lesiones en la piel³. El árbol de mango es altamente susceptible al frío, por lo que su cultivo se limita a zonas del trópico, siendo 22°C a 27°C la temperatura de cosecha óptima. La taxonomía del árbol de mango se encuentra descrita en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del mango

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiineae
Familia	Anacardineae
Género	Mangifera
Especie	Indica

Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-mango.pdf

¹ WALL-MEDRANO, Abraham, OLIVAS, Francisco J., VALDERRAIN, Gustavo R. El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. 2015. Revista Nutrición Hospitalaria. pg. 67-75

² Vilela, C., Santos, S.A.O., Oliveira, L., Camacho, J.F., Cordeiro, N., Freire, C.S. y Silvestre, A.J.D. The ripe pulp of *Mangifera indica* L., A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. Food Res Int. 2013; 54(2), 1535–1540

³ MORA, Juan., GAMBOA P., Jimmy., ELIZONDO M., Ricardo. Guía para el cultivo de mango. San José, Costa Rica. 2002. pg. 11

Figura 1. Árbol de mango.



Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en <https://www.jardineriaon.com/cosas-a-tener-en-cuenta-a-la-hora-de-plantar-un-mango.html>

Las hojas pueden ser de 15 a 40 cm de largo y de 2 a 10 cm de ancho. Al inicio del crecimiento presentan coloración rojiza y al alcanzar la madurez pasan a ser de color verde. Como se muestra en la Figura 2. La floración de los árboles está influenciada por el clima, por ejemplo la sequía la estimula mientras la lluvia la reduce⁴, las flores nacen en panículas terminales ramificadas y en un árbol puede haber de 2.000 a 4.000 de éstas, las cuales a su vez tienen de 400 a 5.000 flores cada una⁵, las flores tienen coloración roja/amarillenta, como se ve en la Figura 3.

Figura 2. Hojas del árbol de mango



Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en <http://www.sabelotodo.org/agricultura/frutales/mangoampliado.html>

⁴ Mango. Sabelotodo.org. [En línea]. Disponible en: http://www.sabelotodo.org/agricultura/frutales/mangoampliado.html#Floraci%F3n_y_Polinizaci%F3n_ [Consultado el 24 de septiembre de 2017].

⁵ MORA, Juan., GAMBOA P., Jimmy., ELIZONDO M., Ricardo. Guía para el cultivo de mango. San José, Costa Rica. 2002. pg. 4

Figura 3. Flores del árbol de mango



Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en <http://www.sabelotodo.org/agricultura/frutales/mangoampliado.html>

1.1.2 El fruto de mango. El fruto de mango es una drupa, es decir, contienen abundante pulpa que rodea un único endocarpo (tejido interno duro), como se ve en la Figura 4. el cual cumple con la función de proteger la semilla que se encuentra alrededor. El tamaño del fruto es variable, puede pesar menos de 50 g hasta más 2 kg⁶. Al igual que el tamaño, la coloración también depende de la variedad (rojo, verde, amarillo o morado) y éste fruto tarda hasta 120 días de floración a cosecha. Es ampliamente consumido en los países productores en la modalidad de fruto fresco, partido en trozos o para preparaciones caseras por su sabor y su aroma, aunque también gran porcentaje de la producción es dirigido hacia la industria alimenticia, éste es un fruto atractivo por su contenido de nutrientes, vitaminas y alto contenido de fibra, como se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del mango (x100 g)

MACRONUTRIENTES		MINERALES	
Agua	83,5 g	Ca	11 mg
Proteína	0,8 g	Fe	0,16 mg
Grasa	0,4 g	Mg	10 mg
CHOS	15 g	P	14 mg
Fibra	1,6 g	K	168 mg
Azúcares	13,7 g	Na	1 mg
Energía	60 kcal	Zn	0,09 mg
VITAMINAS			
C		36,4 mg	
Tiamina		0,03 mg	

⁶ GARCÍA, L., Jairo, FLORIANO, Q., Johanna. CORREDOR, Jenny. Descripción de las variedades de mango criollo colombiano. 2009. Fedemango. Tolima, Colombia. pg.15

Tabla 2. (Continuación)

Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,67 mg
B6	0,12 mg
Folatos(μ g)	43 mg
A (EqR)	54 mg
A (IU)	1082 mg
E	0,9 mg
K (μ g)	4,2 mg
Desechos (cáscara y hueso)	28-38 %

Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en https://www.researchgate.net/publication/273955439_EL_MANGO_ASPECTOS_AGROINDUSTRIALES_VALOR_NUTRICIONAL_FUNCIONAL_Y_EFECTOS_EN_LA_SALUD

Figura 4. Fruto de mango



Fuente. Consultado 12 de agosto de 2017 en <http://playfm.cl/playfm/cafe-play/planta-un-mango-usando-la-semilla-que-trae-en-su-interior/2016-01-29/173552.html>

1.1.2.1 La semilla de mango. Las semillas pueden provenir del embrión resultante del proceso sexual a través de la unión de espermatozoides con un huevo o de dos a cinco (o más) embriones, uno de los cuales es producido sexualmente y los otros se desarrollan de tejido del núcleo⁷. El fruto de mango contiene una sola semilla de forma ovoide, la cual está rodeada por el endocarpo fibroso, que a su vez está unido a la parte fibrosa de la fruta.

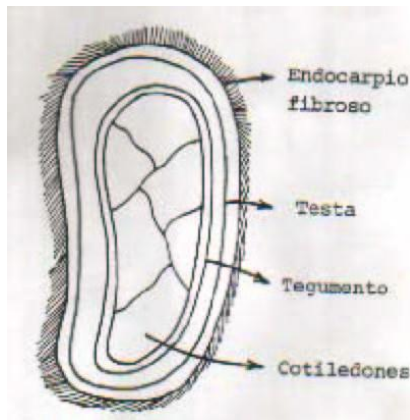
Las semillas de mango están constituidas por varias partes, como la Figura 5 lo indica. En donde:

- **Endocarpo fibroso:** es la parte más externa de esta y presenta fibras longitudinales que se extienden hacia la pulpa de la fruta.

⁷ JIMÉNEZ, D., José A., MORA, M., Juan. El cultivo del mango. Universidad Earth. 2003.

- **Testa:** es un tejido coriáceo y delgado que está adherido a la parte interna del endocarpo.
- **Tegumento:** es un tejido más grueso que la testa y envuelve los cotiledones.
- **Cotiledones:** es la parte de la semilla, se encuentra dividida en secciones y allí se encuentra el embrión sexual del fruto y los embriones nucleares.

Figura 5. Partes de la semilla de mango



Fuente. Consultado 15 de agosto de 2017
<http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/Mango/mango.htm>

Durante el desarrollo del artículo con fines científicos publicado en la Revista Ciencia y Desarrollo Vol. 6 pg. 67-75, por S.P Chaparro Acuña y A.E Lara Sandoval titulado “Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Manguifera indica L*)” se llegó a un análisis proximal de la semilla de mango, haciendo la comparación con otras dos fuentes bibliográficas (evidenciado en la Figura 6), se concluye que la semilla de mango es de gran interés en la industria de alimentos, pues la harina de ésta tiene gran capacidad emulsificante, buena capacidad de absorción de agua y lípidos y es una fuente de grasa cruda, entre otros; hecho que podría aportar a la reducción de desechos industriales por parte de industrias dedicadas al procesamiento de dicho fruto y que no tengan en su currículum de actividades el aprovechamiento de los residuos del mismo.

Figura 6. Análisis proximal de la almendra de semilla de mango

Análisis	Valores obtenidos ^a	Chansgo, 2008	Nzikou <i>et al.</i> , 2010
Humedad (%)	44,85 ± 0,24	40,5	45,2
Proteína cruda ^b (%)	6,39 ± 0,28	1,43	6,36
Grasa cruda (%)	10,70 ± 0,12	4,92	13,0
Fibra cruda (%)	2,38 ± 0,14	3,96	2,02
Cenizas (%)	2,46 ± 0,16	0,83	3,2
Carbohidratos totales ^c (%)	33	48,19	32,24

^aMedia ± desviación estándar.

^bProteína cruda = %N × 6,25.

^cLos carbohidratos fueron estimados mediante diferencia.

Fuente. Revista ciencia en Desarrollo Vol.6, 2015.

1.1.3 Variedades de mango. El mango ha sido clasificado según el lugar de origen a nivel mundial, pero en Colombia Fedemango (Federación Colombiana de Productores de Mango) efectuó un sistema de clasificación para los mangos criollos.

1.1.3.1 Variedades según su lugar de origen.

- **Procedentes de la India.** Presentan forma redondeada, sabor agrdulce y fuertemente aromatizado. No son altamente comercializados por ser de baja calidad y su alta presencia de fibra, se han usado históricamente como material parental de otras variedades en el continente Americano. Ejemplo de este grupo son: Mulgoba, Alphonso y Sufiada⁸
- **Procedentes de Indochina y Filipinas.** Presentan forma puntiaguda y oblicua, no son frutos particularmente aromatizados pero poseen sabor dulce (ligeramente ácido). No poseen alto contenido fibroso y colores llamativos, por lo que su comercialización y consumo es mayor. Algunos ejemplos son la Manila cultivada en México, Cécil cultivada en Cuba y la Cambodiana⁸
- **Procedentes de Sudamérica.** Presentan alto contenido de fibra y tementina. Algunos ejemplos son: Julie cultivada en Trinidad y la Itamarca cultivada en Brasil.
- **Procedentes de la Florida.** Son la variedad más cultivada en el mundo, fueron desarrolladas a partir de variedades prodecentes de la India. Algunos ejemplos son: Ellas son Keitt, Edward, Tommy, Atkins, Kent, Irwin, Palmer y Haden.

1.1.3.2 Variedades en Colombia. Estas variedades se han denominado criollas y son producto del cruce (ya sea natural o artificial) entre dos razas del género M.

⁸ MANGO (Manguífera indica L.). [En línea]. Disponible en: <http://www.empresario.com.co/recursos/page_flip/MEGA/mega_mango/files/ficha%20mango.pdf> [Consultado el 24 de septiembre de 2017].

indica⁹. Se destaca la presencia de tres grandes grupos, que aunque son de características ampliamente heterogéneas entre sí, tienden a agruparse en cuanto a tamaño, contenido de fibra y grado de poliembrionia de la semilla, la clasificación se encuentra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. **Variedades colombianas de mango criollo.**

Mango criollo colombiano						
Grupo	Características				Subgrupos	
	Tamaño	Contenido de fibra	Color	Grado de poliembrionia	No	Variedad
Criollo de tamaño y forma variable	<250 g	Alto a medio	Verde a amarillo	Alto	1	Anón, NN, No.11, Pecho Paloma, Mango Rojo.
					2	Azúcar, Azucarado, Corazón, Pico de loro, Ñame, Pajarito, Penca, Mandarino, Perfumado, Candela y Cubano.
					3	Hilacha, Güevetoro, Chancleto de la región centro, Calidad, Costeño, Mamey, Mango Macho, Aceite, Ácido, Caucho, Chupa, Liso, Piña, Morado, Nariz y Lorito.
Criollo de tamaño mediano	300 g	Medio	Rojo	Variable	4	Manzano, Cereza, Chancleto región Caribe, Bocao, Pomorrosa y Vallenato.
					5	Canela, Monrey y Chancleto Gigante.
Criollo de tamaño grande	>300 g	Bajo	Rojo a amarillo	Monoembriónico	6	Reina, Zapote, Picuda, Filipino, Guarapo, Mariquiteño, Aguacate, Narizón, Papaya y Pico de boba.

Fuente. Fedemango, consultado 16 de agosto de 2017 en: <http://www.fedemango.com.co/pdf/variedade-de-mango.pdf>

1.1.4. Mercado del mango. A nivel mundial el mango es valorado por ser una fruta rica en fibra, vitaminas, provitaminas y minerales, también por su sabor dulce y su especial aroma. Existen aproximadamente 160 variedades de mango en los más de 90 países cultivadores del fruto, las más conocidas y consumidas son

⁹ GARCÍA, L., Jairo, FLORIANO, Q., Johanna. CORREDOR, Jenny. Descripción de las variedades de mango criollo colombiano. 2009. Fedemango. Tolima, Colombia. pg.16

Keitt, Ken y Tommy Atkins¹⁰. Estados Unidos se consolidó como el mayor importador de mangos en el mundo (30% del mercado). Mientras que Asia abarca el 72% de la producción mundial total, África el 17% y América Latina el 10%¹¹

El mango es el octavo fruto más producido en el mundo (43 millones de toneladas anuales) y como se evidencia en la Figura 7. su producción aumentó un 75% entre los años 2.000 y 2.013

Figura 7. Evolución de la producción mundial de mango del año 2.000 al 2.013 en toneladas.



Fuente. FAOSTAT

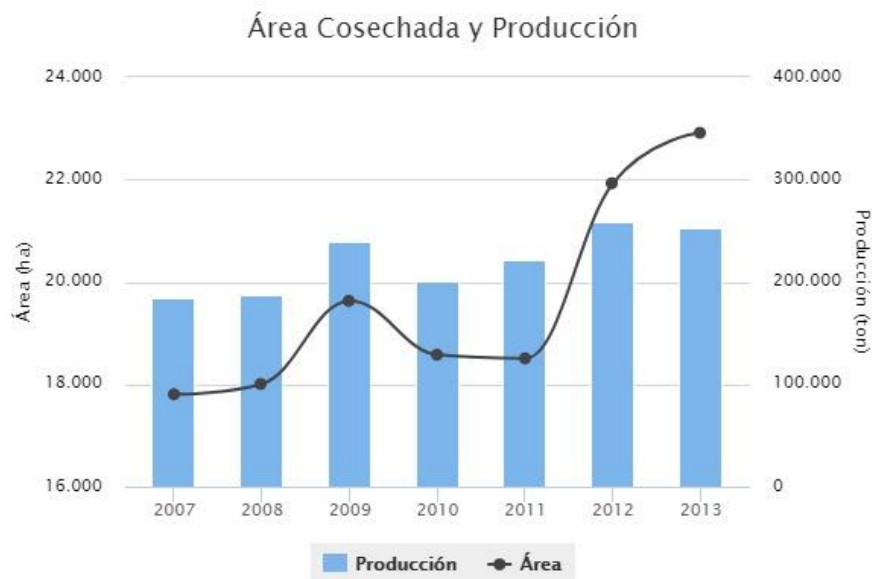
Por su parte, Colombia cuenta con 454 productores, 8 agroindustrias y 10 entidades de apoyo, las cuales están divididas en 11 departamentos del país; concentrando el 60% de la producción en el centro del país (Cundinamarca y Tolima). Según el Ministerio de Agricultura Colombiano y según la Figura 8, tanto el área sembrada como la producción de mango han aumentado desde al año 2011, alcanzando la cifra de 273.000 toneladas anuales de mango producido. Según Fedemango, la mayoría de mango producido en el país es de variedad criollo (39%) seguido por la variedad Tommy Atkins (20%). Actualmente en Colombia y gracias a los tratados de libre comercio, TLC, firmados por el gobierno, se han empezado a implementar procesos sostenibles para aumentar las exportaciones de fruto fresco a estos países, el cual incluye establecer un programa de control y erradicación de plagas y enfermedades del cultivo, reactivar gremios y fortalecer organizaciones regionales, fomentar siembra de nuevas áreas para el cultivo de mango teniendo en cuenta las fortalezas arogeológicas y climáticas de regiones no cultivadoras y desarrollar paquetes tecnológicos que

¹⁰ PROSPECTIVA 2020, Memeber of GBD Network. 2015. [En línea]. <http://www.prospectiva2020.com/sites/default/files/report/files/re_-_mango_-_mar_20152.pdf> [Citado el: 29 de septiembre de 2017].

¹¹ FAOSTAT. [En línea]. <<http://www.fao.org/faostat/en/#search/mango>> [Citado el: 29 de septiembre de 2017].

permitan la tecnificación de los cultivos, junto a capacitación e información a cultivadores.

Figura 8. Área cosechada de mango vs. Producción en toneladas



Fuente. Agronet, Ministerio de Agricultura Colombiano.

1.1.5 Usos. En los países productores del fruto se consume en forma fresca, pero un porcentaje del total de éste se transforma en zumos, conservas, puré, pulpa congelada y para la fabricación de otros productos como yogures y helados. Además también se deshidrata o confita, para ser utilizado como aperitivos¹² La madera del mango no suele ser utilizada como material estructural, por el contrario se utiliza como fuente de energía (leña), mientras que los residuos son utilizados para fermentación y así producir biogás, paralelamente se ha descubierto que la extracción del aceite de la semilla de mango puede tener usos en la industria cosmética y alimenticia.

1.2 ACEITES ESENCIALES

Compuestos químicos constituidos por una mezcla de sustancias de naturaleza alifática (de bajo peso molecular) que también puede contener terpenos,

¹² CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE COMERCIO Y DESARROOLLO. Perfil de INFOCOMM, fondo de la UNCTAD para la información sobre los mercados de productos básicos agrícolas. [En línea]. <http://unctad.org/es/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp07_Mango_es.pdf> [Citado el: 29 de septiembre de 2017].

sesquiterpenos y fenilpropanos, entre otros¹³. Dichas sustancias se encuentran contenidas en semillas, glándulas, pelos glandulares, sacos o venas de las plantas¹⁴ y son responsables en gran medida del aroma de éstas. Debido a su naturaleza química (altamente volátiles e insolubles en agua), es posible su extracción e implementación en diversas industrias como la cosmética, farmacéutica o de alimentos.

1.2.1 Características físicas y químicas. Los aceites esenciales se caracterizan por ser altamente volátiles, solubles en solventes volátiles como lo son el alcohol etílico, acetona, éter de petróleo y demás solventes orgánicos. Son de aspecto oleoso y tienden a ser muy inflamables.

La composición química de un aceite depende del tipo de planta, su variedad, condiciones agro-ecológicas y del lugar del cultivo, tratamientos post-cosecha, del tipo y duración del proceso de extracción¹². Se han identificado alrededor de cuatrocientos componentes químicos constituyentes de los aceites esenciales. La mezcla compleja que integra los aceites esenciales pertenecen de manera casi exclusiva a grupos característicos distintos: el grupo de los terpenos, el grupo de los compuestos derivados del fenilpropano, los terpenos y sesquiterpenos, son terpenos de 10 y 15 átomos de carbonos. De acuerdo con su estructura se les clasifica según el número de ciclos como acíclicos, monocíclicos, como por ejemplo: monoterpenos acíclicos: linalol, nerol, geraniol, monoterpenos monocíclicos: p-mentano, 1,4-Cineol, 1,8-Cineol, Ascaridol, monoterpenoides bicíclicos: carano, cis-carano y trans-carano, sesquiterpenos: Farnesol, nerolidol.¹³

1.2.2 Clasificación de los aceites esenciales. Los aceites esenciales pueden ser clasificados mediante tres criterios diferentes: consistencia, origen y naturaleza química de sus componentes más abundantes.

1.2.2.1 Clasificación según su consistencia.

- **Esencias fluidas:** sustancias líquidas cuya volatilidad a temperatura ambiente es muy alta.
- **Bálsamos:** A diferencia de las esencias fluidas los bálsamos son poco volátiles y de consistencia más espesa. Altamente proclives a la polimerización¹⁴.
- **Oleorresinas:** se caracterizan por ser sustancias en estado semisólido o líquidos pero con alta viscosidad y por poseer aromas altamente concentrados en sí.

¹³ MARTÍNEZ, Alejandro. Aceites Esenciales. 2003. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia. pg.1

¹⁴ RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, M.; ALCARÁZ-MELÉNDEZ, L. y REAL-COSÍO, S. Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. En: Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, SC La Paz, Baja California Sur, México. p. 24-29. [En línea]. <<http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/manual-aceites-esenciales.pdf>> [Citado el: 19 de Septiembre de 2017]

- **Concretos:** son extraídos por medio de solventes no polares de plantas aromáticas, luego de dicha extracción éstos tienen apariencia semi-sólida y están libres del solvente.
- **Absolutos:** debido a la no polaridad de los aceites concretos, es necesario convertirlos a aceites absolutos con el fin de que su solubilidad en bases polares aumente. Así que son extraídos con ayuda de etanol absoluto, para luego refrigerarlos a bajas temperaturas (-5 a -1 °C) y generar una precipitación de las ceras, lo que facilitará la separación por filtración.

1.2.2.2 Clasificación según su origen.

- **Naturales:** Después de su extracción directa de la planta, no son sometidos a ningún tipo de tratamiento que altere su composición física o química.
- **Artificiales:** Son obtenidos mediante la mezcla de dos o más esencias naturales provenientes de distintas plantas o por enriquecimiento de una esencia con uno de sus mismos compuestos.
- **Sintéticos:** varios productos obtenidos mediante procesos químicos son mezclados con el fin de obtener sustancias saborizantes y aromatizantes a un precio más bajo.

1.2.2.3 Clasificación según su naturaleza química.

- **Monoterpenoides:** (linalool, nerol, 1-8 cineol, geraniol)
- **Sesquiterpenoides:** (farnesol, nerolidol)
- **Compuestos oxigenados:** (alcoholes, aldehdos, cetonas)¹⁵

1.3 TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS

Debido a las múltiples aplicaciones y el gran interés que generan los extractos de fuentes vegetales, en la industria se han empleado diversos mecanismos de extracción, los cuales pueden ser físicos o químicos; la aplicación de cada uno de los métodos depende estrictamente del tipo de material vegetal, de la estabilidad del aceite contenido en ella y de las facilidades operacionales con las cuales se cuentan; a continuación se presentan los tipos de extracción más comúnmente usados:

1.3.1 Métodos directos. Son métodos usados para aceites presentes en las cáscaras de fruta, con baja estabilidad térmica y de fácil extracción por medio de la aplicación de fuerza mecánica. Por lo general estas características las presentan aceites de cítricos, tales como la naranja o limón.

¹⁵ JIMÉNEZ, Iván G., SÁNCHEZ, María J., Evaluación de la extracción a nivel laboratorio, de aceite de semilla de guanábana (*Annona Muricata*) aplicando tratamiento enzimático. Bogotá, Colombia. 2016. Fundación Universidad de América. pg.25

1.3.2 Destilación. Método ampliamente usado para la separación de los compuestos de una mezcla homogénea mediante la aplicación de calor y tomando como base la diferencia entre los puntos de ebullición de dichos compuestos. Por lo general, los montajes requeridos para dichos procedimientos son sencillos y solo requieren: una fuente de energía, un destilador y un intercambiador de calor.

1.3.2.1 Destilación por arrastre de vapor. Las moléculas de agua tienen la particularidad de que pueden asociarse con las moléculas de aceite en estado vapor, aprovechando esta propiedad, la extracción tiene lugar cuando el material vegetal entra en contacto con el vapor y haciendo que los aceites se difundan de las membranas hacia afuera, generando una mezcla de vapores que posteriormente se condensa, generando una diferenciación entre las dos fases, lo cual permite una fácil extracción por medio de separación física (decantación).

1.3.2.2. Hidrodestilación. Consiste en llevar al agua hasta su punto de ebullición mientras está en contacto directo con el material vegetal, durante este proceso de calentamiento se genera una mezcla homogénea la cual es dirigida a un sistema de condensación, en donde pasan a ser separados por diferencia de densidad.

1.3.2.3 Destilación al vacío. Método de destilación comúnmente utilizado cuando el punto de ebullición de un compuesto supera la temperatura a la cual éste se descompone químicamente.

1.3.3 Extracción con solventes. Técnica en la cual se emplea un disolvente afín a la sustancia de interés con el fin de que ésta sea retirada o apartada de otras no afines a este.

1.3.3.1 Extracción con solventes volátiles. Ésta es la técnica más empleada debido a que los solventes orgánicos tienen la particularidad de que penetran fácilmente materiales vegetales y gracias a su naturaleza química y polaridad, son capaces de disolver los aceites volátiles allí contenidos. La ventaja de emplear este método es que es de alta facilidad técnica, actualmente se emplea tanto a nivel laboratorio como a nivel industrial.

1.3.3.3 Extracción con fluidos supercríticos. Este método también es conocido como (EFS) y requiere condiciones de temperatura y presión específicas. El material vegetal y el líquido supercrítico hacen contacto en una cámara de acero, por donde fluye éste último solubilizando en él el aceite contenido. La solución líquido-aceite se descomprime progresivamente para obtener un aceite puro.

1.3.3.4 Enfloración. Esta práctica es ampliamente usada cuando la materia vegetal fuente del producto e interés es muy costosa y sensible a altas temperaturas, el método consiste en poner en contacto el material vegetal con una delgada capa de grasa, haciendo que la esencia de éste se absorba, toma mucho tiempo y es muy costoso.

1.4 GENERALIDADES DE CARACTERIZACIÓN DE UN ACEITE

Todos los aceites poseen características y propiedades que los hacen singulares y los diferencian entre sí, de allí parte el interés en la industria y sus múltiples aplicaciones. Para el proceso de caracterización es fundamental tener en cuenta la calidad del aceite vegetal.

1.4.1 Procesos de calidad. Debido a que los aceites de alta calidad suelen tener mayor valor agregado y poseen más amplias aplicaciones, los procesos de calidad constituyen una parte muy importante para asegurar que el producto sea usado en industrias como la alimenticia, farmacéutica y cosmética. En general, se requiere practicar tres controles básicos:¹⁶

- Control de la materia vegetal: la cual pretende asegurar que la materia prima a extraer se encuentre en estado óptimo y que sus componentes estén sin alteración alguna.
- Control del proceso de extracción: controlar las condiciones de operación asegurará en parte la calidad del aceite extraído, sus propiedades organolépticas y características físicas.
- Control del aceite esencial extraído: por medio de controles organolépticos y fisicoquímicos se verifica la utilidad del mismo

Para dicha tarea, existen federaciones internacionales que velan por un oportuno monitoreo del nivel de calidad de estos productos, fijando estándares y normas de calidad, los cuales deben ser cumplidos por todos los aceites. Entre éstos se encuentra la Organización Panamericana de la Salud y el Instituto Internacional de Selección de Calidad Monde Selection, entre otros. En el Cuadro 3 se enuncian algunos parámetros de calidad aplicados para diferentes aceites vegetales

Cuadro 3. Parámetros analíticos en uso de normas de calidad.

PARÁMETROS ANALÍTICOS EN UN CONTROL DE CALIDAD	
<i>Análisis De calidad</i>	<i>Parámetro</i>
Características organolépticas	Olor
	Apariencia
	Color
Determinaciones físicas	Densidad
	Poder rotatorio
	Índice de refracción
	Miscibilidad en etanol
	Punto de congelación
	Punto de inflamación

¹⁶ SEGURA, Adriana R. Fundación Universidad de América. EVALUACION DE PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE DE SEMILLAS DE AHUYAMA (Cucúrbita máxima) A ESCALA LABORATORIO PARA UNA POSIBLE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.2013. Bogotá, Colombia. pg.43

Cuadro 4.(Continuación)

	Rango de destilación
Índices químicos	Índice de acidez
	Índice de éster
	Índice de saponificación
	Índice de acetilo
	Índice de fenoles
Características cromatográficas	Perfil cromatográfico por CG
	Cuantificación principales componentes
Otros	Pesticidas
	Metales pesados

Fuente. Biocomercio Sostenible: Bandoni 200 Consultado 17 de agosto de 2017 en: <<http://www.humboldt.org.co/biocomercio/>>

La caracterización se lleva a cabo en tres etapas:

4.1.1.1 Análisis organoléptico. Se pretende determinar de manera cualitativa el producto obtenido con el fin de caracterizar su sabor, textura, apariencia y olor; con lo que se busca darle propiedades únicas.

4.1.1.2 Análisis físico. Por medio de éste tipo de análisis se procede a determinar las características que determinan el comportamiento específico de un aceite

- **Densidad:** Se determina por medio de un picnómetro y está definida como la relación entre el volumen y la masa. La densidad depende de la presión y de la temperatura a las que esté sometida la muestra al momento de la prueba¹⁷.
- **Punto de fusión:** representa la temperatura en la que la fase sólida y la líquida están en equilibrio y se presenta como un intervalo de temperaturas. La primera temperatura se toma cuando aparece la primera gota de líquido y la segunda es cuando el cambio de estado está completo.¹⁸
- **Humedad:** ésta prueba se basa en la pérdida de peso que experimenta la muestra de aceite después de ser sometida a un proceso de secado.

¹⁷ Norma Colombiana ICONTEC N. 336. Grasa y Aceites. Método de determinación de la densidad. Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Santafé de Bogotá 1999.

¹⁸ Universidad de Antioquia. Práctica 6, Determinación del punto de ebullición. [En línea]. Disponible en: <<http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslaboratorio/02practicas/practica06.htm>> [Consultado el 15 de Octubre de 2017].

- **Punto de ebullición:** Es una temperatura a la cual la presión a vapor de un líquido aumenta de tal manera que se forman burbujas dentro del cuerpo líquido hasta que éste empieza a hervir.¹⁹

4.1.1.3 Análisis químico. Mediante métodos experimentales se pretende determinar la composición química de un aceite extraído.

- **Índice de acidez:** experimentalmente se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.²⁰ La acidez es un factor importante para determinar la calidad de la grasa, puesto que en estado fresco éstas no tienen (o tienen en un bajo porcentaje) ácidos grasos libres y a su vez éstas son considerados como impurezas del aceite.
- **Índice de Yodo:** Experimentalmente se define como los gramos de halógeno calculados en yodo que pueden fijar bajo ciertas condiciones 100 gramos de grasa.²⁰ La importancia de esta medida es que cuantifica la insaturaciones presentes en una muestra grasa, está directamente relacionado con el punto de fusión y la densidad de la misma.²¹
- **Índice de peróxido:** experimentalmente se define como miliequivalente de peróxido por kg de grasa²² Importante porque define la rancidez oxidativa del aceite.
- **Índice de saponificación:** Experimentalmente se define como el peso (dado en mg) de hidróxido potásico necesario para saponificar 1 g de grasa²³

¹⁹ O.A. Jaramillo. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigación en Energía. 2007. [En línea]. Disponible en: <<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Liquid3/liquid3pdf.pdf>> [Consultado el 17 de Octubre de 2017].

²⁰ MEDINA, M. Gilma Beatriz. Aceites y grasas comestibles. Universidad de Antioquia. Departamento de Farmacia. [En línea]. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/424/Gilma_Medina/Grasasyaceites/Documento_Grasas_y_aceites.pdf> [Consultado el 19 de Octubre de 2017].

²¹ GROSSO A.L. cp. Cambios en los parámetros Químicos de la calidad del maní al almacenado en caja durante 24 meses. Facultad de ciencia agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

²² Universidad Central de Venezuela. Práctica 13. Análisis de grasas y aceite: índice de refracción, yodo, saponificación y peróxido. [En línea]. Disponible en: <<http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/mmedina/archivos/Practica13.pdf>> [Consultado el 19 de Octubre de 2017].

²³ Universidad de Santiago de Compostela. [En línea]. Disponible en: <<http://www.usc.es/caa/MetAnálisisStgo1/4%20GRASAS%2059%20PARAMETROS.pdf>> [Consultado el 19 de Octubre de 2017].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se detallarán los materiales necesarios para el desarrollo del presente proyecto, describiendo equipos implementados y metodología utilizada para llevar a cabo la extracción del aceite esencial de semilla de mango.

2.1 MATERIALES

Antes de empezar es necesario identificar el tipo de materia prima a utilizar y la fuente de la misma. Colombia es un país productor de mango gracias a su posición geoespacial en el trópico, ya que el fruto de mango se desarrolla óptimamente en climas cálidos y se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas²⁴, de esta manera las industrias que utilizan este fruto en sus procesos productivos pueden abastecerse con facilidad durante todo el año, existen múltiples variedades del fruto y algunas características tienden a variar de especie a especie, razón por la cual es un requerimiento conocer la especie a usar y sus características específicas. Se buscó una pequeña industria la cual, a partir de su actividad económica tenga como residuo pepa de mango, pues de esta se obtendrá la semilla de mango, materia prima de este proyecto. Como requerimiento principal de dicha industria se planteó que sus desechos fuesen bajos, pues a nivel laboratorio no es posible procesar gran cantidad y de lo contrario se presentarían dificultades técnicas como la poca disponibilidad de mano de obra y equipos técnicos.

2.1.1 Semilla de mango. Las semillas de mango son provenientes de la actividad industrial de Alic Alimentos, una empresa procesadora de pulpas de fruta y alimentos en conservas ubicada en la Calle 64f #98-23, Bogotá, Cundinamarca. Allí retiran la fibra del mango para procesarla, congelarla y posteriormente ser distribuida de manera local. De dicha actividad, se desecha por completo la pepa y cáscaras del fruto. Alic Alimentos utiliza dos especies de mango para su actividad: mango dulce y común en una proporción 50/50. La pepa es recibida en bolsas de basura y es trasladada desde Alic Alimentos hasta los laboratorios del Tecnoparque SENA, en donde se retira manualmente residuos de pulpa, cáscaras y demás suciedad. Posteriormente se procede a la extracción de la pepa por medio de un molino manual, en el que se fractura el endocarpio fibroso parte más externa de la semilla con el fin de extraer la semilla (cotileidones), estas partes se aprecian en la Figura 5.

2.1.1.1 Caracterización física de la semilla de mango. El tamaño de los mangos varía de especie a especie y como el tamaño de la pepa está estrictamente relacionada con el tamaño del fruto es necesario conocer las especies a trabajar durante la experimentación, pero como se dijo anteriormente se maneja una proporción 50/50 de mango común y mango dulce. Por medio de la correcta

²⁴ GARCÍA, L., Jairo, FLORIANO, Q., Johanna. CORREDOR, Jenny. Descripción de las variedades de mango criollo colombiano. 2009. Fedemango. Tolima, Colombia. pg.3

caracterización de la pepa y semilla de mango se determinarán variables del proceso de extracción y la manipulación que se le debe dar a esta a lo largo de los procesos.

- **Densidad:** La densidad de las semillas de mango se hace por medio de la medición del volumen desplazado por éstas dentro de un volumen dado. Por lo que se procede a pesar una semilla escogida aleatoriamente y se introduce dentro de una probeta con un volumen determinado de agua, al introducir la semilla dentro de la probeta ésta tendrá un nuevo volumen ocupado por el sistema agua-semilla. Se mide ese nuevo volumen y se determina la diferencia entre el volumen inicial y el final, dando así el volumen desplazado.
- **Tamaño:** el tamaño de las semillas se determinó midiendo el largo, ancho y espesor de las semillas con ayuda de un calibrador Vernier; promediando los resultados de varias mediciones a diferentes semillas para finalizar.
- **Peso:** con ayuda de una balanza analítica de precisión se pesan varias semillas una por una, finalmente se saca el promedio del resultado de estas mediciones.
- **Higroscopicidad:** para determinar el porcentaje de humedad absorbida por la semilla de mango es necesario pesarla y posteriormente dejarla reposar por una hora en un recipiente lleno de agua, para luego tomar su peso final y hacer una comparación entre ambos datos.
- **Humedad:** El método tradicional para determinar la humedad de un material es secándolo en horno y se expresa relacionando el peso inicial de la semilla con el peso de ésta después del proceso de secado.

2.1.2 Solventes. Se estudiaron las propiedades físicas de varios solventes con el fin de escoger aquellos que contaran con baja toxicidad, punto de ebullición que brindara facilidades operacionales, baja inflamabilidad, fácil recuperación y costos accesibles. El proceso de selección se muestra de manera más clara en el Anexo A, a partir de dicha comparación se decide trabajar con dos solventes: etanol y acetona.

2.1.2.1 Etanol. También conocido como alcohol etílico, es una sustancia incolora que a condiciones normales de temperatura y presión tiene un punto de ebullición de 78,4°C, haciéndola una sustancia inflamable. El etanol es polar (menos que el agua) y es el solvente más utilizado a nivel laboratorio, ya que es de fácil recuperación y solubiliza la esencia, pero también otras sustancias presentes en frutos o plantas tales como aceites esenciales y ceras.

2.1.2.2 Acetona. Sustancia orgánica, perteneciente al grupo funcional de las cetonas, líquido incoloro y de olor particular. Su punto de ebullición a condiciones normales es 56°C. Es un solvente ampliamente utilizado a nivel tanto industrial como laboratorio, es un solvente intermedio entre los muy polares y los

completamente apolares, por lo que sirve por lo general para potencializar otros solventes y para generar extracción de sustancias tanto polares como no polares.

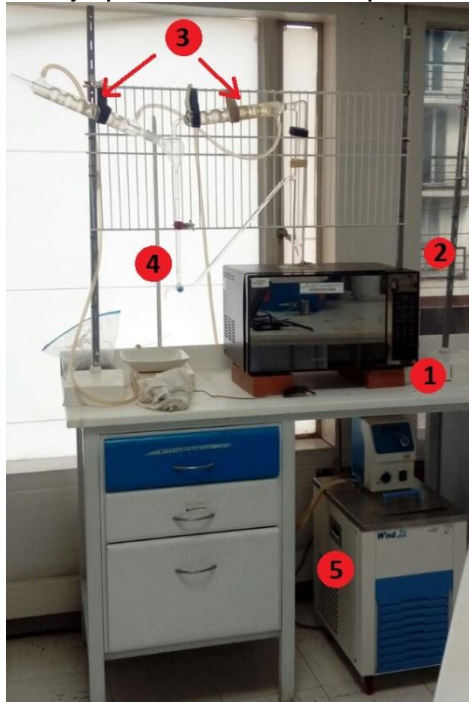
2.2 EQUIPOS

Durante el desarrollo del proyecto se pusieron en práctica tres métodos de extracción: arrastre con vapor, hidrodestilación asistida por microondas y extracción con solventes volátiles (también conocida como extracción Soxhlet). Aunque existen equipos comunes a todos los procedimientos y tipos de extracción utilizados, cada método requiere equipos particulares y materiales particulares, a continuación se describen los montajes.

Los equipos requeridos para el desarrollo del este proyecto fueron facilitados por el Tecnoparque del SENA.

2.2.1 Hidrodestilación asistida por microondas. El montaje de esta metodología de extracción consta de un microondas Samsung un hidrodestilador con una trampa tipo Clevenger, un condensador de bolas y un balón de 2000 mL, se muestra montaje en la Figura 9.

Figura 9. Montaje para la extracción por hidrodestilación



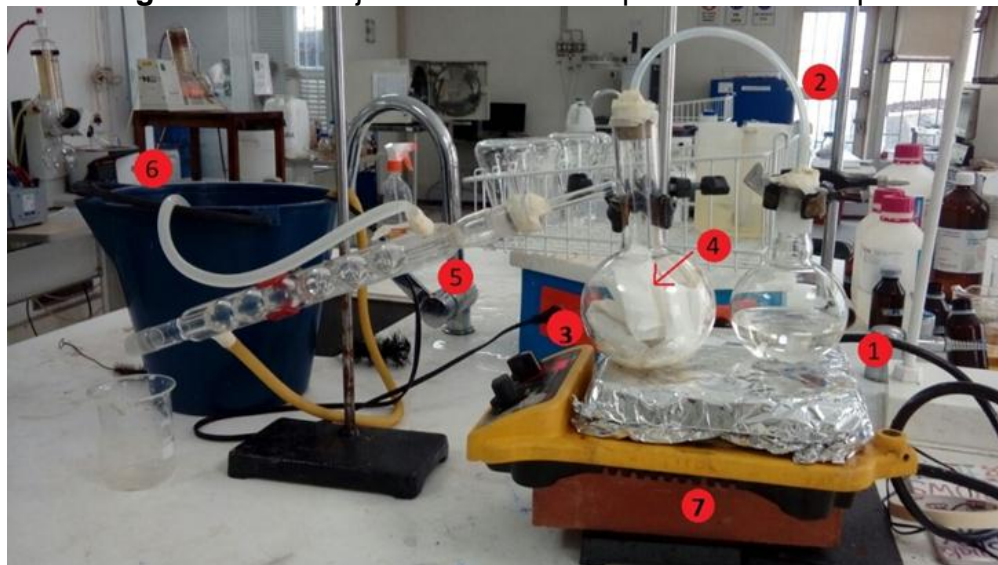
Dónde:

1. Microondas Samsung
2. Cámara de extracción, (contiene balón de 2.000 mL)
3. Condensadores de bolas

4. Trampa tipo Clevenger
5. Refrigerador de recirculación.

2.2.3 Arrastre por vapor. Este montaje consta de dos matraces de 250 mL, uno de ellos con desprendimiento lateral, un tapón hermético, un condensador de bolas, y una plancha de calentamiento como fuente de energía calórica, en la Figura 10 se muestra el montaje.

Figura 10. Montaje de la extracción por arrastre a vapor.



En dónde:

1. Matraz con solvente, generador de vapor.
2. Entrada de vapor.
3. Matraz de destilación.
4. Materia vegetal, semilla de mango.
5. Condensador de bolas
6. Bomba de reflujo, agua de refrigeración.
7. Plancha de calentamiento.

2.2.4 Extracción por solventes (Soxhlet). El montaje se compone de una plancha de calentamiento, un balón aforado de fondo plano de 250 mL, un digestor Soxhlet de 100 mL, un condensador de bolas y una bomba de reflujo, que alimenta el condensador, como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Montaje de la extracción por método Soxhlet





En dónde:


1. Condensador de bolas
2. Extractor Soxhlet/ digestor
3. Matraz aforado
4. Plancha de calentamiento
5. Bomba de reflujo.

2.2.5 Equipos. A continuación, se encuentran las especificaciones y uso de los equipos requeridos a lo largo del desarrollo del proyecto, se dividieron en dos categorías; en la primera se encuentran los equipos comunes a todas las prácticas (Cuadro 4) y en la segunda se especifica algunos equipos específicos a cada una de las prácticas (Cuadro 5)

Cuadro 5. Equipos comunes a todas las extracciones y procedimientos.

Equipo	Marca	Función	Imagen
Refrigerador de circulación	Wisd Laboratory Instruments	Generar temperaturas menores a los 0°C y recircular agua de refrigeración al montaje de extracción por hidrodestilación.	
Rotaevaporador	Heidolph	Recuperar los solventes implementados en las extracciones para reutilizarlos posteriormente en otras extracciones	

Cuadro 6. Equipos específicos utilizados en cada procedimiento.

Equipo	Marca	Función	Imagen
Microondas	Samsung	Imprimir energía calórica al sistema por medio de la generación de ondas microondas.	

Cuadro 7. (Continuación)

Extracción por medio de arrastre con vapor

Este tipo de extracción no requiere equipos especiales, los materiales específicos se mencionan en la Sección 2.2.3

Extracción por solventes, Soxhlet.

Digestor Soxhlet Schott Duran

Da espacio a la interacción entre el solvente y la materia vegetal, generando un sifón que devuelve el solvente al balón de calentamiento.



Caracterización del aceite

Cromatógrafo de gases. Shimadzu. Ref. GC-2014

Analiza compuestos volátiles, lo cual ayudará a caracterizar el producto obtenido.



Cuadro 8. (Continuación)

pH-metro	Jenway.	Gracias a este equipo se puede conocer el pH del aceite obtenido.
----------	---------	---

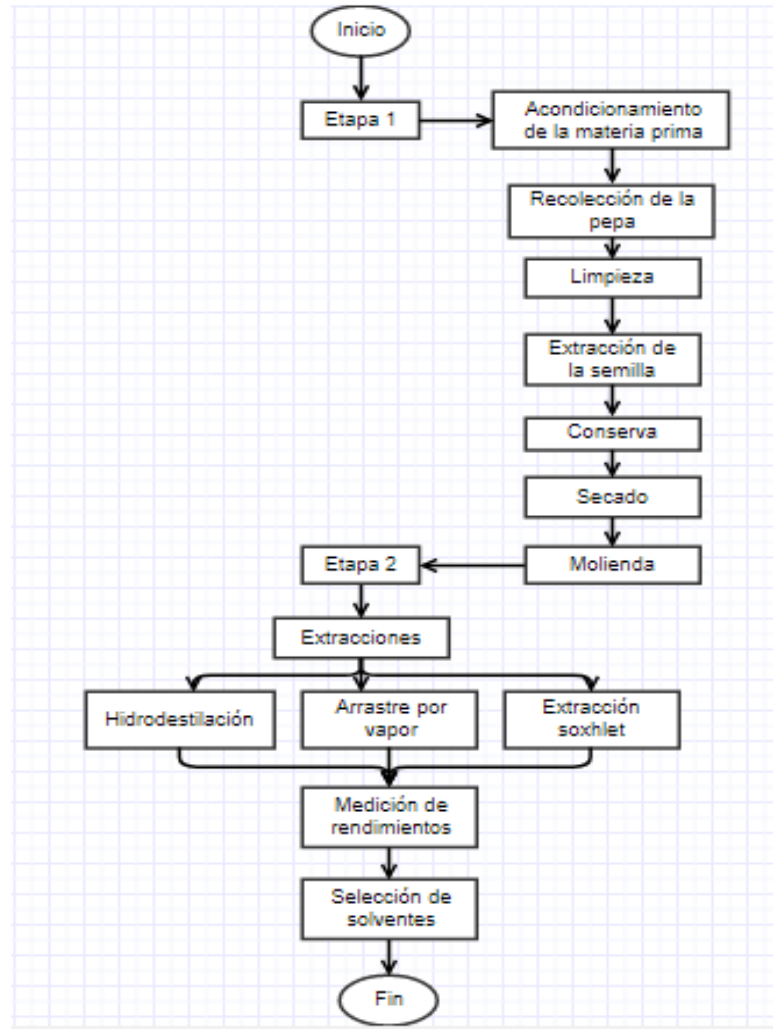


2.3 MÉTODOS

La metodología para el desarrollo del proceso está dividida en dos etapas, la Etapa 1 será el acondicionamiento de la materia prima, que en este caso es la semilla de mango y la cual tendrá como fin determinar las condiciones óptimas de la materia prima para una extracción eficiente y con alto rendimiento. Durante la Etapa 2 se llevarán a cabo extracciones del aceite esencial de la semilla de mango mediante las diferentes metodologías y con diferentes solventes, etapa que permitirá la selección del mejor solvente y la medición de los rendimientos durante cada extracción con el fin de encontrar la metodología de extracción más eficiente para esta materia prima.

Lo anteriormente mencionado se encuentra ilustrado en la Figura 12, diagrama de flujo que permite visualizar el método del proceso.

Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología a seguir.



2.3.1 Etapa 1. Con el propósito de encontrar las condiciones más apropiadas para la correcta utilización de la materia prima y evitar contaminación o degradación del producto de interés contenido allí, se llevan a cabo los siguientes pasos, sustentados y acompañados de revisión bibliográfica.

2.3.1.1 Recolección. Para recolectar la muestra se hace una búsqueda de pequeñas industrias procesadoras de frutas y verduras, las cuales se puedan obtener desechos orgánicos de sus procesos. Alic Alimentos y Conservas es una industria dirigida a procesar y distribuir pulpas de fruta congelada y algunas otras hortalizas en conserva. Allí se procesa mensualmente 200 kg de mango aproximadamente, de los cuales el 33% son de desechos (entre cáscaras y hueso), desperdicios que son dirigidos hacia rellenos sanitarios locales en su totalidad.

2.3.1.2 Limpieza y extracción de la semilla. Las pepas recolectadas producto de la actividad industrial de Alic Alimentos no vienen completamente limpias o preparadas para la extracción de la semilla, por lo que posterior a estos es necesario retirar los restos de pulpa de fruta, cáscaras y fluidos propios del fruto. Todos estos residuos deben ser retirados de la pepa pues pueden dificultar el proceso de extracción de la semilla y contaminarla. La cáscara de la pepa de mango es muy flexible y dificulta la extracción manual de la semilla, por este motivo, se dispone de un molino manual, en donde se introducen las pepas de mango y se quiebra su carcaza por el efecto de la fuerza mecánica de las aspas que éste tiene en su interior.

2.3.1.3 Acondicionamiento. Las semillas de mango anteriormente extraídas requieren de un tratamiento especial para conservar sus características físicas y químicas previas a la extracción de su aceite esencial. Para lo anterior es necesario seguir las siguientes etapas:

- **Conserva.** Las frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas son tejido cortado, que experimenta el ablandamiento y encafecimiento o decoloración en la superficie. La intensidad de la respuesta a la herida se ve afectada por varios factores, que incluyen la especie, variedad, concentración de oxígeno y dióxido de carbono, presión del vapor de agua y la presencia de inhibidores²⁵. La semilla del mango se encuentra recubierta por el endocarpio fibroso, de esta manera aun cuando la pulpa del mango es retirada, la semilla no se encuentra expuesta a la oxidación, pero una vez es extraída de allí sí lo está.

Por este motivo es necesario introducir las semillas en una solución, la cual se prepara haciendo disolución de ácido cítrico y agua al 1%, la cual además de proteger las semillas de la oxidación natural a la que se exponen también ayuda a liberarlas de posibles contaminantes que hayan adquirido durante el proceso de extracción.

A su vez es importante no dejar por un largo periodo las semillas sumergidas en esta disolución ya que el ácido cítrico solo puede cumplir por poco tiempo con la tarea de mantenerlas frescas y libres de bacterias que la descompongan, también se corre el riesgo de que una larga exposición al ácido desnaturalice los aceites y componentes naturales propios de la semilla.

- **Secado.** Como parte de la experimentación se plantea hacer extracciones con la semilla fresca y con semilla seca, esto con el fin de definir cuál es el estado de la materia prima que hará de este un proceso más eficiente. Así que una parte se procesará directamente y otra se llevará durante 24 horas a un horno

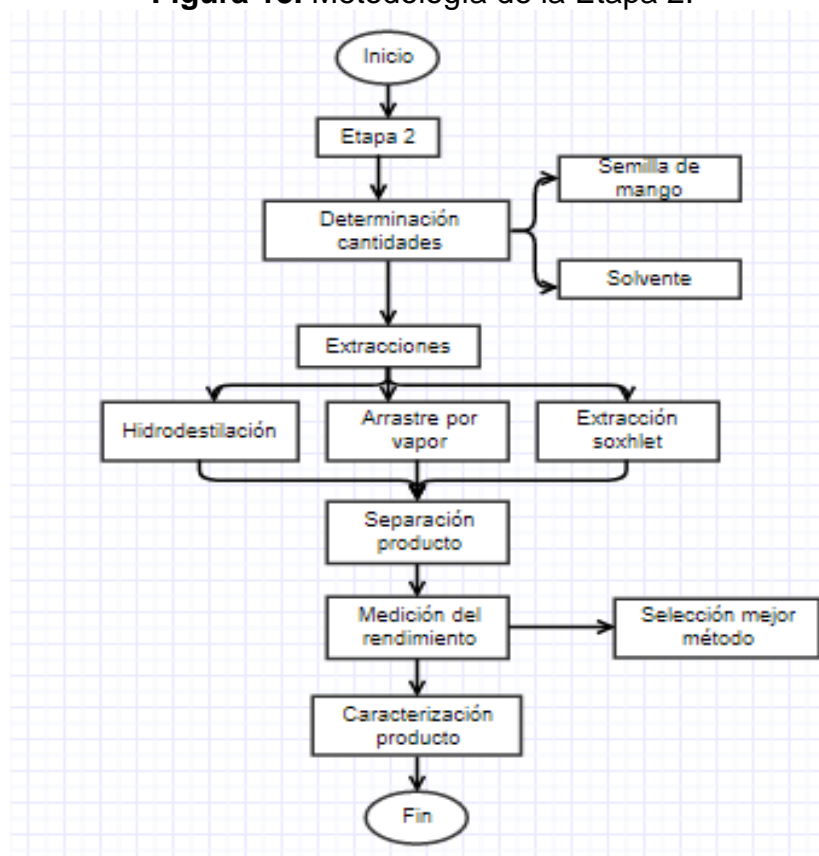
²⁵ RUELAS, Xochitl, REYES, María de la Luz, VALDIVIA, Blanca, CONTRERAS, Juan Carlos, MONTAÑEZ, Julio César. Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas y Mínimamente Procesadas con Recubrimientos Comestibles. 2013. Universidad Autónoma de Coahuila. pg.1

de secado o mufla a 60°C, temperatura establecida con el objetivo de evitar que los aceites esenciales contenidos en la semilla se degraden o se evaporen.

- **Molienda.** Con el fin de aumentar el área de contacto entre el vapor, agua o solvente de los diferentes tipos de extracción es necesario someter a la semilla seca a una reducción de partícula. La semilla libre de humedad se somete a molienda en un molino manual de acero, del cual se extrae un polvo de pequeño diámetro de partícula color café oscuro.
- **Almacenamiento.** La harina de semilla de mango, producto de la molienda se almacena en bolsas plásticas dispuestas con un cierre hermético que evita la proliferación de vida bacteriana u otros microorganismos, la protege de la humedad y de otros factores que alteren su naturaleza.

2.3.2 Etapa 2. Para determinar el proceso de extracción más adecuado se procede a evaluar cada metodología de extracción con diferentes solventes. Previamente se realizó una retroalimentación bibliográfica en donde se encontró datos experimentales de rangos de variables independientes en cada proceso a llevar a cabo, así que las pruebas también se hacen con el fin de verificar y ajustar dichas variables teóricas que fueron encontradas. Se pretende seleccionar una vía de extracción de facilidad operacional, flexible, económica, amigable con el ambiente y eficiente, de la cual se pueda obtener aceite de alta calidad, para lo anterior se implementarán tres tipos diferentes de extracciones: hidrodestilación, extracción por solventes y extracción por arrastre de vapor, mediante la medición del rendimiento se escogerá el mejor método. En la Figura 13 se encuentra ilustrada la metodología ampliada de la segunda etapa.

Figura 13. Metodología de la Etapa 2.



2.3.2.1 Determinación de cantidades (solvente y semilla de mango). La cantidad de muestra a utilizar depende del tipo de extracción que vaya a ser implementada, hay que tener en cuenta la capacidad de los equipos y las restricciones de cada uno. Para medir la cantidad de muestra sólida se utiliza una balanza analítica Nimbus marca Adam Equipment y para medir la cantidad de solvente se utiliza una probeta de vidrio de 100 mL.

2.3.2.2 Metodologías de extracción. El principio básico de todos los diferentes métodos de extracción es la destilación, por medio del cual se separan diferentes sustancias que conforman una mezcla mediante la inyección de energía calórica controlada y teniendo en cuenta los puntos de ebullición de cada sustancia. A continuación se especifica cada una de las metodologías utilizadas para el desarrollo del proyecto. Con el fin de facilitar el entendimiento de los procedimientos a tener en cuenta se codificaron las pruebas como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 9. Codificación de las pruebas a llevar a cabo

Pruebas experimentales		
Solvente	Metodología de extracción	Codificación
Etanol	Arrastre por vapor	Prueba A
	Hidrodestilación	Prueba B
	Extracción Soxhlet	Prueba C
Acetona	Arrastre por vapor	Prueba D
	Hidrodestilación	Prueba E
	Extracción Soxhlet	Prueba F

- **Arrastre con vapor.** Se disponen 250 mL de solvente y 50 g de semilla de mango seca y molida. El método consiste en la generación de vapor de un solvente por medio de la inyección de energía calórica, con una plancha de calentamiento a temperaturas por debajo del punto de ebullición de cada solvente 78 y 56°C para el etanol y la acetona, respectivamente, vapor que es posteriormente dirigido hacia el material orgánico dispuesto en el segundo matraz del montaje, allí mientras están en contacto, el solvente crea una mezcla homogénea con el aceite y cuando las presiones a vapor combinadas de los dos componentes de la mezcla alcanzan la presión del balón, la mezcla hierve²⁶. El aceite y el solvente son condensados durante su paso por un condensador de bolas y esta mezcla resultante entre grasa y solvente se somete a separación.

Cuadro 10. Condiciones de operación pruebas con arrastre de vapor.

Condiciones de operación	Prueba A	Prueba D
Temperatura de operación (°C)	78	56
Cantidad de materia vegetal (g)	50	50
Cantidad de solvente (mL)	250	250
Variable de respuesta (g)	Cantidad de extracto	Cantidad de extracto

- **Hidrodestilación asistida por microondas.** El método de hidrodestilación regular es generalmente muy dispendioso de tiempo, por ese motivo se asiste con microondas. Se agrega al matraz 300 mL de solvente y 50 g de semilla seca y molida, de tal manera que la muestra sólida quede cubierta por el solvente mínimo en un 70%, una vez el matraz esté lleno, los condensadores

²⁶ CERUTTI, Mariano, NEUMAYER, Fernando. Introducción a la obtención de aceite esencial de limón. Junio, 2004. INVENIO. pg.1

con buen reflujo y el agua a baja temperatura se fijan dos variables: el tiempo de extracción, con el fin de evitar sobrecalentamiento de la muestra y la potencia del microondas; tres intervalos de 20 minutos cada uno y 60 W de potencia, respectivamente²⁷. Debido a que la muestra vegetal y el solvente están en continuo contacto, existe mayor superficie de acción del solvente sobre las partículas vegetales, cuando la temperatura del sistema se eleva por acción de las ondas microondas del equipo, esta mezcla llega a su punto de ebullición. El vapor generado es conducido por un sistema de condensadores que lo hacen pasar a estado líquido de nuevo, es importante tener en cuenta que el agua de recirculación debe ser considerablemente baja para evitar pérdidas por evaporación ya que dentro del microondas se generan altas temperaturas que no pueden ser controladas durante el proceso. La mezcla solvente líquido es depositada en una trampa tipo Clevenger, la cual consta de una bureta en la cual se irá acumulando el aceite extraído; el aceite es menos denso que el solvente, por lo cual quedará en la parte superior del producto destilado y se separará naturalmente. El solvente regresará al balón para generar más extracción.

Cuadro 11. Condiciones de operación de las pruebas por medio de hidrodestilación asistida por microondas

Condiciones de operación	Prueba B	Prueba E
Temperatura de operación (°C)	78	56
Cantidad de materia vegetal (g)	50	50
Cantidad de solvente (mL)	300	300
Variable de respuesta (g)	Cantidad de extracto	Cantidad de extracto

- **Extracción con solventes volátiles, Soxhlet.** La semilla de mango seca y molida se pesa y se introducen 50 g dentro de un cartucho cilíndrico hecho de papel filtro, el cual se alojará en la cavidad superior del digestor Soxhlet de tal manera que no obstaculice el flujo apropiado del vapor que sube desde el matraz, el goteo desde el condensador o el tubo capilar que permite el reflujo. Por su parte, en el matraz se dispondrán 150 mL de solvente²⁸, los cuales serán calentados hasta temperaturas menores al punto de ebullición,

²⁷ PINEDA. B. William. [William Pineda Bolivar]. (2013, mayo 21). Hidrodestilación. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=TAc9OdKDv2Q>

²⁸ ROJAS, Angel y Marín, Luisana y Oropeza, Yolfre. Extracción Del Aceite De Semilla De Mango Utilizando Solventes Orgánicos. EL TIGRE, ESTADO ANZOATEGUI.: MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN, 2010.

dependiendo del solvente a emplear. La extracción demora de 4-6 horas para completarse, por lo que se decidió dejarlo 4 horas después del primer reflujo y evitar degradación del producto de interés. El solvente llega a su punto de ebullición, el vapor producto del aumento de la temperatura sube por los capilares del digestor Soxhlet y llega hasta el condensador, en donde tiene lugar una condensación, por efecto de la gravedad el solvente cae sobre la muestra generando superficie de contacto entre el material vegetal y el solvente, el tubo capilar se empieza a llenar conforme las gotas de solvente caen al digestor, finalmente se genera un sifón el cual devuelve el solvente con extracto al balón de calentamiento para volver a empezar el proceso de extracción de manera repetitiva. Una vez el tiempo estipulado se ha finalizado la mezcla generada entre el solvente y el aceite extraído, se lleva a un proceso de separación.

Cuadro 12. Condiciones de operación de las pruebas por medio de extracción Soxhlet.

Condiciones de operación	Prueba C	Prueba F
Temperatura de operación (°C)	78	56
Cantidad de materia vegetal (g)	50	50
Cantidad de solvente (mL)	150	150
Variable de respuesta (g)	Cantidad de extracto	Cantidad de extracto

2.3.2.3 Separación del producto. La solución solvente-aceite aún caliente después del proceso de extracción se recoge en un vaso de precipitado y se lleva a un baño frío a -11°C aproximadamente, temperatura a la cual se solidificará el aceite y por efecto de la diferencia de densidad se precipitará; esta temperatura se alcanza por medio de un refrigerador de recirculación Wisd Laboratory Instruments. El aceite sólido se retirará con ayuda de una espátula y la solución que quede se filtrará. Por medio de la filtración, se separará otra parte del aceite presente en solución son el solvente.

2.3.2.4 Rendimiento. Teniendo en cuenta el trabajo de grado Segura. A (2013) Evaluación de proceso de extracción de aceite de semillas de ahuyama (Cucúrbita máxima) a escala laboratorio para una posible aplicación en la industria de alimentos. Universidad América., se evalúa el rendimiento en %m/m. El peso del aceite obtenido durante cada una de las extracciones fue obtenido por medio de la balanza analítica de precisión. El cálculo de dicho dato se hace por medio de la Ecuación 1.

Ecuación 1. Porcentaje rendimiento de la extracción

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Masa de aceite extraído}}{\text{Masa del lote}} * 100$$

Una vez se obtienen los datos, se procede a hacer una comparación con los datos teóricos obtenidos de M. Tapia, B. Pérez, J. Cavazos, Y. Moreno (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*Mangifera indica* L.) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. XVII, núm. 32, enero-junio, 2013, pp. 258-266., artículo en el cual se encontró que el rendimiento es de aproximadamente un 5,5%.

2.3.2.5 Caracterización. Con el fin de conocer las particularidades fisicoquímicas del aceite extraído, se proceden a evaluar ciertas características:

- **pH:** el pH es un factor importante a conocer puesto que gracias a éste se conoce si una sustancia es ácida o alcalina.
- **Densidad:** se requiere saber la relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa en el espacio, para esto se emplea un picnómetro y una balanza analítica, los resultados se reportan gracias a la Ecuación 2.

Ecuación 2. Densidad del aceite obtenido.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

2.3.2.6 Cromatografía de gases. Éste es un análisis cuantitativo que por lo general se aplica a mezclas de múltiples componentes orgánicos y volátiles. Durante la cromatografía de gases, la muestra de aceite de semilla de mango se volatiliza y es inyectada en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte, por lo que no habrá lugar a interacción con las moléculas del aceite a analizar, su función es únicamente transportarlo a través de la columna. El analito, se distribuye entre la fase móvil gaseosa y una líquida que yace inmóvil sobre la superficie de una superficie sólida (inerte también).

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizará un diseño en el cual se utilizaran dos factores.

2.4.1 Objetivo de experimentación. Maximizar el rendimiento del aceite extraído.

2.4.2 Variable respuesta. Rendimiento del aceite extraído en gramos.

2.4.3 Variables y niveles de influencia. Se tiene dos variables que se realizara la hipótesis de cómo afectan al rendimiento del aceite extraído, estas son el tipo de solvente y el método de extracción a utilizar.

2.4.3.1 Factor A. Tipo de solvente.

- **Ho $\alpha=0$:** No hay efecto del cambio de tipo de solvente en el rendimiento del aceite extraído.
- **H1 $\alpha\neq 0$:** Hay efecto del cambio de tipo de solvente en el rendimiento del aceite extraído.

2.4.3.2 Factor B. Tipo de extracción.

- **Ho $\beta=0$:** No hay efecto del tipo de extracción en el rendimiento del aceite extraído.
- **H1 $\neq 0$:** Hay efecto del tipo de extracción en el rendimiento del aceite extraído.

2.4.3.3 Interacción de AB

- **Ho $\alpha \beta=0$:** No hay efecto en la interacción entre el tipo de solvente y el tipo de extracción en el rendimiento del aceite extraído.
- **H1 $\alpha \beta \neq 0$:** Hay efecto en la interacción entre el tipo de solvente y el tipo de extracción en el rendimiento del aceite extraído.

Ecuación 3. Ecuación de diseño

$$Vrta = \alpha Xa + \beta Xb + \alpha \beta Xab$$

Dónde:

β = Coeficiente de regresión

X= Interacciones entre las variables

Vrta= Rendimiento

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

A lo largo de este capítulo se desarrollaron las diversas fases del proyecto experimentalmente. Empezando por el acondicionamiento de la semilla y su caracterización como partícula, siguiendo con la determinación de condiciones y variables de operación de cada una de las metodologías planteadas y sus rendimientos respectivos y finalizando con la caracterización cualitativa y cuantitativa del producto obtenido.

3.1 ETAPA 1

Se propone realizar una serie de procesos analíticos mediante los cuales se llegue al correcto acondicionamiento de la semilla de mango con el fin de llevar a cabo los procedimientos de extracción de su aceite esencial aumentando el área de contacto materia vegetal-solvente y buscando rendimientos que permitan el correcto análisis de los resultados, tal como fue explicado en la Sección 2.3.1.

3.1.1 Recolección de las semillas de mango. Las pepas de mango fueron entregadas en las instalaciones de Alic Alimentos ubicada en el sur occidente de la ciudad de Bogotá, en la localidad de Engativá; las cuales tienen menos de 6 horas de estar fuera del fruto, lo que asegura que no haya empezado proceso de fermentación y descomposición de la materia orgánica. Son trasladadas hasta las instalaciones del Tecnoparque en la localidad de Chapinero. La recolección total se hace en dos tandas, para un total de 24, 25 kg de pepa de mango, como se evidencia en el Cuadro 10.

Cuadro 13. Recolección de semilla de mango

Fecha	Cantidad de recolección (kg)
Abril 15 de 2017	10,01
Julio 23 de 2017	14,12
TOTAL	24,25

3.1.2 Tamaño y peso. Con el fin de determinar el porcentaje de cada componente de la pepa se procede a extraer la semilla de mango de la pepa, tal como se describe en la Sección 2.3.1.2. Para ello se tomó una muestra aleatoria de 20 pepas del lote completo y se pesó la cáscara de ésta misma y la semilla extraída. En el Anexo B se encuentran tabulados los pesos de cada una de las pepas analizadas y su porcentaje correspondiente, a partir del cual se generan la Tabla 2 y Tabla 3, en donde se presentan los valores promedio.

Tabla 3. Determinación de cáscara y semilla en gramos de pepa de mango.

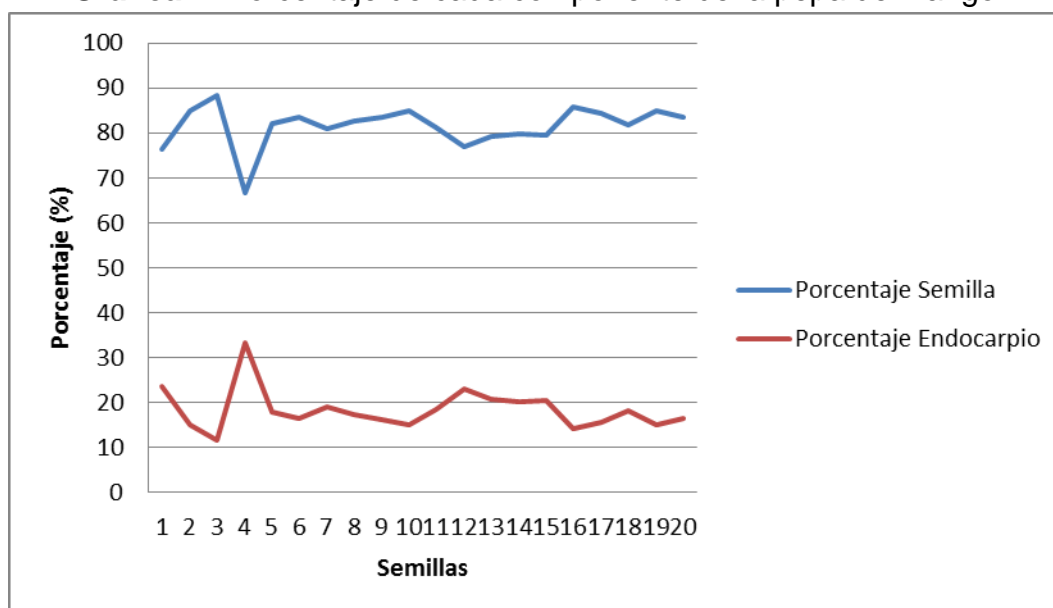
Muestra	Masa de pepa (g)	Masa semilla(g)	Masa de endocarpio (g)
Promedio de muestras	11,31	9,27	2,036

Tabla 4. Porcentaje de los componentes de la pepa de mango

Componente de la pepa	Porcentaje promedio (%)
Semilla	81,55
Endocarpio	18,45
Total	100

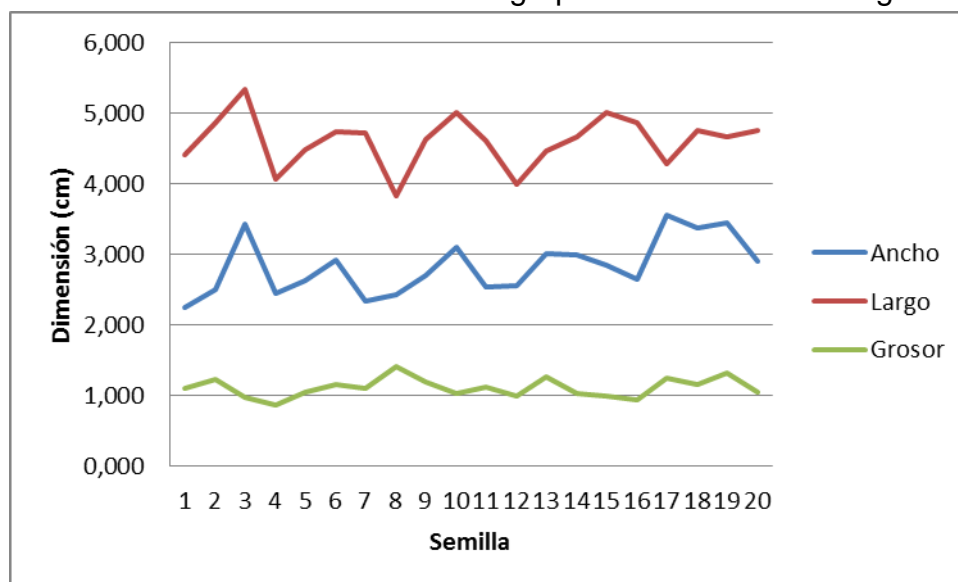
A partir de los datos tabulados en el Anexo B, se genera la Gráfica 1 de los porcentajes de composición de la semilla y el endocarpio dentro de la pepa de mango. Se observan picos irregulares dentro de la gráfica los cuales responden a la inexactitud al momento de conocer la variedad exacta de los mangos recolectados, puesto que como se observa en la Sección 1.1.3.2 en Colombia existen múltiples variedades de mango criollo, los cuales varían en sus tamaños, también a que las pepas fueron elegidas aleatoriamente y de las dos tandas de recolección, las cuales se hicieron en diferentes épocas del año, lo que pudo haber generado desviación por estacionalidad en la cosecha.

Gráfica 1. Porcentaje de cada componente de la pepa de mango.



En la Anexo C se muestran los resultados del análisis de las dimensiones de 20 semillas de mango seleccionadas de manera aleatoria, es importante recordar que las especies son: común y criollo. Las medidas promedio obtenidas fueron 4,6; 2,83 y 1,11 cm de largo, ancho y grueso respectivamente. La semilla de mango se caracteriza por ser más larga que ancha y presenta muy poco espesor en comparación a estas otras dos dimensiones. En la Gráfica 1 se evidencia también que la pepa de mango está constituida mayoritariamente por la semilla.

Gráfica 2. Dimensiones de un grupo de semillas de mango



La Gráfica 2 se genera a partir de los datos tabulados en el Anexo C, de donde se puede definir que la semilla de mango es una partícula irregular, la cual tiende a ser más larga que ancha y que su dimensión menor es el espesor.

3.1.3 Densidad.

Tabla 5. Densidad de la semilla de mango como partícula en un volumen de agua de 50mL

No. Semilla	Peso semilla (g)	Densidad		
		Volumen desplazado (mL)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)
1	8,467	56	6	1,411
2	10,468	60	10	1,046
3	11,478	61	11	1,043
4	5,024	54	4	1,256
5	7,392	57	7	1,056
Densidad promedio				1,162

En la Tabla 4 se observan los resultados de la densidad de la semilla de mango obtenidos de forma experimental corresponden a 1,162 g/mL, dato importante a

tener en cuenta al momento de seleccionar una semilla y llevar a cabo una extracción de ella, pues se ha estipulado que las semillas usadas en proceso de extracción deben tener valores de densidad entre 0,9 y 1,3 g/mL²⁹, lo cual reafirma que la semilla de mango es apta para este tipo de extracciones.

3.1.4 Absorción de agua.

Tabla 6. Determinación de la higroscopicidad

Higroscopicidad				
No. Semilla	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de peso (g)	% Absorción
1	8,467	8,747	0,280	3,307
2	10,468	10,766	0,298	2,847
3	11,478	12,013	0,535	4,661
4	5,024	5,1302	0,106	2,114
5	7,392	7,551	0,159	2,151
Promedio				3,016

La higroscopicidad representa la cantidad de agua que puede retener un material y se indica en porcentaje, para el caso de la semilla de mango el porcentaje higroscopicidad de agua es 3,016% lo cual se comprara con la información de granos vegetales presentados en el Cuadro 11. Se observa que la semilla analizada presenta un porcentaje de absorción de agua mucho menor que el de los granos analizados, esto significa que la semilla de mango tiene baja tendencia a la aglomeración.

Cuadro 14. Capacidad de absorción de humedad para diferentes granos

Grano	%Absorción de humedad
Lenteja	50,25
Arveja	31,81
Frijol	28,51
Maíz	37,04

Fuente. Diana Reyes³⁰

3.1.3 Secado. Se requiere eliminar la humedad, con el fin de lograr tener una materia prima sólida y seca. Dicha humedad se encuentra dentro del sólido, es

²⁹ OSPINA Julio Ernesto. Propiedades Físicas y mecánicas de granos tropicales. Revista Internacional Granos. 1999. pg. 3

³⁰ REYES Diana. Diseño básico a nivel planta piloto para extracción de aceite de semilla de arazá. Pg 64. Universidad de América. 2008.

decir, dentro de la microestructura de éste y por medio de la implementación de un horno de secado (mufla) se determina el porcentaje de humedad contenido y una curva de humedad residual para el material vegetal. Los resultados de esta práctica se encuentran tabulados en la Tabla 6, a partir de la segunda hora las masas iniciales se toman como el peso anteriormente obtenido, para poder calcular el cambio de masa.

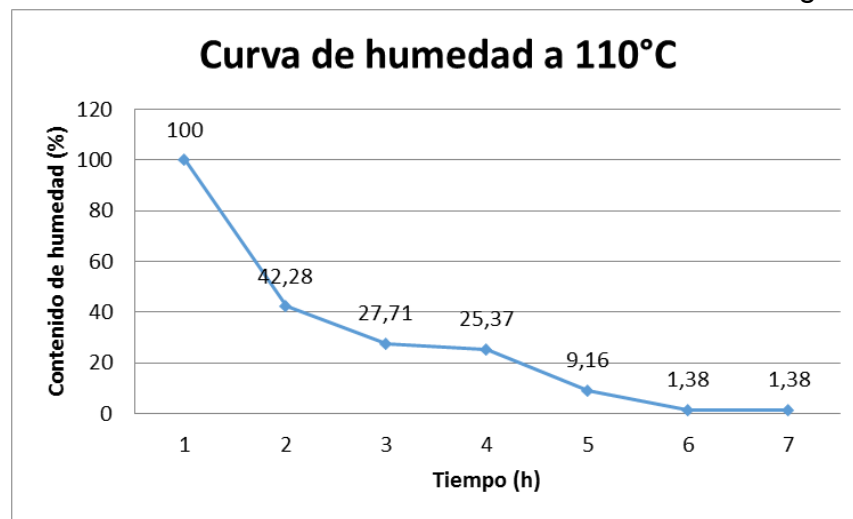
Tabla 7. Humedad de la semillas de mango respecto al tiempo de secado.

Tiempo (h)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Humedad (%)
0	10,3727	10,3727	0	100
1	10,3727	7,2902	3,0825	42,28
2	7,2902	5,7086	1,5816	27,71
3	5,7086	4,5535	1,1551	25,37
4	4,5535	4,1713	0,3822	9,16
5	4,1713	4,1145	0,0568	1,38
6	4,1145	4,1145	0	1,38

La humedad residual de la semilla de mango es el 1,38% dato que es congruente con los datos obtenidos en las pruebas de absorción de agua presentadas anteriormente, ya que también es muy baja en comparación con otras semillas. Lo que quiere decir que la semilla de mango tiene baja capacidad para retener la humedad dentro de ella.

A continuación en la Gráfica 3 se presenta la curva de humedad residual para la semilla de mango.

Gráfica 3. Curva de humedad residual de las semillas de mango a 110°C



Una vez finalizadas las pruebas de caracterización de la semilla de mango como partícula se tabulan en la Tabla 7.

Tabla 8. Características de la semilla de mango

Densidad	1,162 g/mL
Ancho	2,829 cm
Espesor	1,109 cm
Largo	4,600 cm
Peso	11.31 g
Forma	Casi regular
Higroscopicidad	3,016 %
Humedad	1,38%

3.2 ETAPA 2

Durante el desarrollo de la segunda etapa se realiza el análisis de resultados del diseño experimental en términos de rendimiento, pero a la vez también se hace una evaluación cualitativa del extracto, dado que así el solvente y el método presenten alto rendimiento las características del aceite pueden no ser las mejores. Después de finalizadas cada una de las pruebas, se obtiene una mezcla solvente-aceite homogénea, la cual se lleva a un baño frío a -11°C durante 30 min, como se muestra en la Figura 14.a, del cual se obtienen dos fases como se observa en la Figura 14.b, para finalizar se realiza una filtración simple (Figura 15), el producto de la filtración se deja aproximadamente 24 h en el desecador para que los posibles residuos de solvente se volatilicen.

Figura 14. a) Producto durante baño frío b) Producto en dos fases después de baño frío

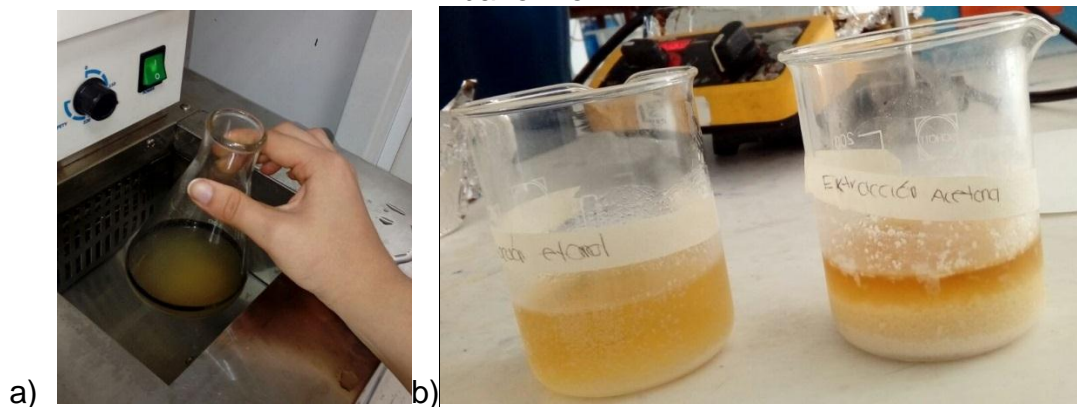
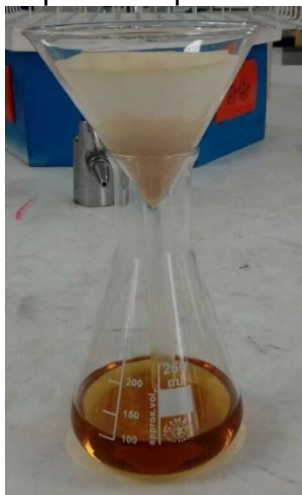


Figura 15. Proceso de separación por filtración del aceite obtenido.



Posteriormente, se pesa el producto obtenido en cada prueba. En la Tabla 8 se tabula la masa en gramos del producto obtenido (Ver Cuadro 5).

Tabla 9. Cantidad de producto obtenido durante la Fase 2.

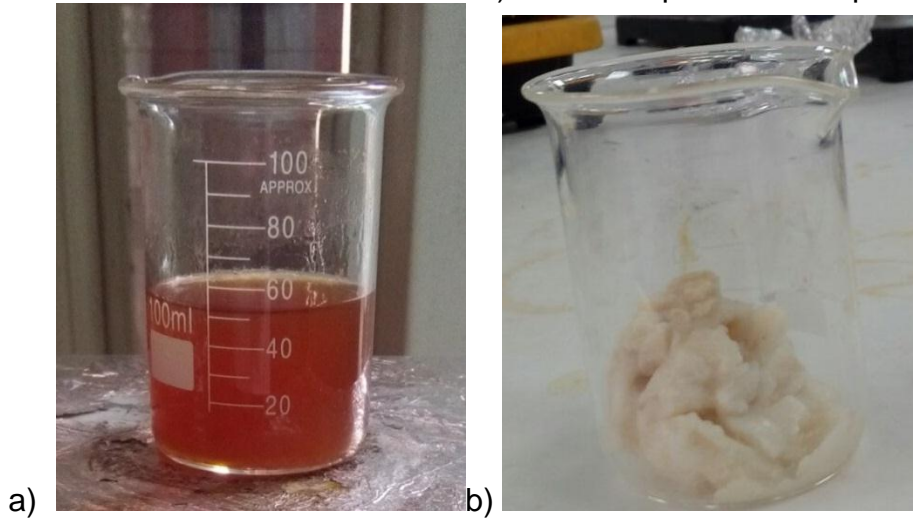
Repetición	Extracción producto de interés (g)						
	Prueba	A	B	C	D	E	F
1		5,3035	0,3976	5,6964	7,8094	0,1577	4,8996
2		6,7704	0,4576	7,7766	6,0873	0,2611	5,5336
3		9,7350	0,3683	6,0354	6,9013	0,1903	7,0694

Posterior a la extracción y a la separación del producto, los solventes empleados se recuperan en el rotaevaporador para ser reutilizados en extracciones posteriores.

3.2.1 Arrastre por vapor. Durante la extracción por este método se observó que a las temperaturas preestablecidas el método estaba limitándose a destilar el solvente, no se da el fenómeno de la condensación sobre las semillas, creando una película que impide que el vapor entre en contacto con la materia vegetal y arrastre el extracto.³¹ Debido a esta preocupación, se modifica el montaje para generar un reflujo dentro del mismo mecanismo de extracción. Posterior al proceso de extracción, la mezcla solvente/aceite luce como se muestra en la Figura 16.a, coloración que permaneció constante a lo largo de todas las extracciones.

³¹ RÍOS, Luis. LOPERA, Guillermo. CAICEDO, Rosario. GRANADA, Fidel. Extracción y caracterización de aceite de cardamomo. Medellín, Colombia. Dyna, Año 74, Nro. 151, pp. 47-52.

Figura 16. Productos de la extracción por medio de arrastre de vapor. a) Mezcla solvente-aceite obtenida b) aceite después de la separación



El aceite obtenido por este método es un aceite de coloración blanquecina, en estado semisólido a temperatura ambiente, como se observa en la Figura 16.b

3.2.2 Hidrodestilación asistida por microondas. Durante la extracción por este método se obtuvo baja cantidad de producto de interés (Tabla 8), esto se debe a que dentro del microondas no es posible controlar la temperatura de operación y las cuales son muy altas, por este motivo y por las ondas microondas que maneja el equipo es posible que haya existido una desnaturalización del aceite contenido en la semilla.

Aparte de esto, después de la extracción la mezcla solvente- materia vegetal mostró una coloración café como se evidencia en la Figura 17, la cual no corresponde al color regular que presentado durante otras extracciones.

Figura 17. Producto de la extracción por medio de hidrodestilación



En la trampa Clevenger se evidenció la baja cantidad de aceite extraído, como se evidencia en la Figura 18.

Figura 18. Aspecto de la trampa Clevenger luego de la extracción



Presencia casi
inexistente de la fase de
aceite extraído.

3.2.3 Extracción Soxhlet. Durante el proceso de extracción por métodos Soxhlet se observó que la manera que más facilita la extracción era cuando la materia vegetal no esté en contacto directo con el solvente, es decir, cuando se encontraba dentro de un cartucho de papel, pues agiliza la separación del solvente y el aceite.

La coloración de la mezcla solvente-aceite fue del mismo color que muestra la Figura 16.a.

Los rendimientos de cada una de las pruebas fueron calculado con los datos presentados en la Tabla 8 y por medio de la Ecuación 1. Los resultados son presentados en la Tabla 9.

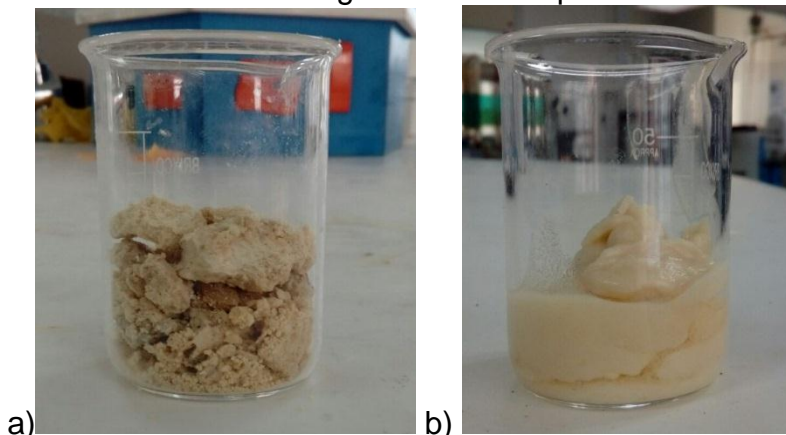
Tabla 10. Rendimiento de cada una de las pruebas.

Repetición	Rendimiento de cada una de las pruebas (%)					
Prueba	A	B	C	D	E	F
1	10,61	0,795	11,393	15,62	0,315	9,799
2	13,54	0,915	15,553	12,17	0,522	11,06
3	19,47	0,737	12,071	13,80	0,3801	14,14
Promedio	14,540	0,816	13,006	13,863	0,406	11,666

En la Tabla 9 se evidencia que la prueba que mayor rendimiento presentó fue la prueba A, prueba que se llevó a cabo por medio de arrastre de vapor y usando como solvente etanol. En general, las pruebas que mayor rendimiento presentaron fueron aquellas realizadas por medio de etanol y aunque los rendimientos con

respecto a las pruebas hechas con acetona fueron ligeramente más altos, el aceite extraído por medio de las pruebas D, E y F, se obtuvo con características organolépticas de menor calidad, como se observa en la Figura 19.a, pues este aceite presenta color más amarillo (posiblemente por la oxidación de los compuestos del aceite) y una textura arenosa, que al tacto no tiene sensación grasa, mientras que en la Figura 19.b se observa que el producto de las extracciones con etanol tienen una textura más cremosa y grasa, el color es mucho más claro comparativamente.

Figura 19. Aceite de semilla de mango obtenido en pruebas con acetona y etanol.



3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

En análisis de varianza presentado en la Tabla 10, fue calculado utilizando el programa Microsoft Excel 2010.

Tabla 11. Análisis de varianza

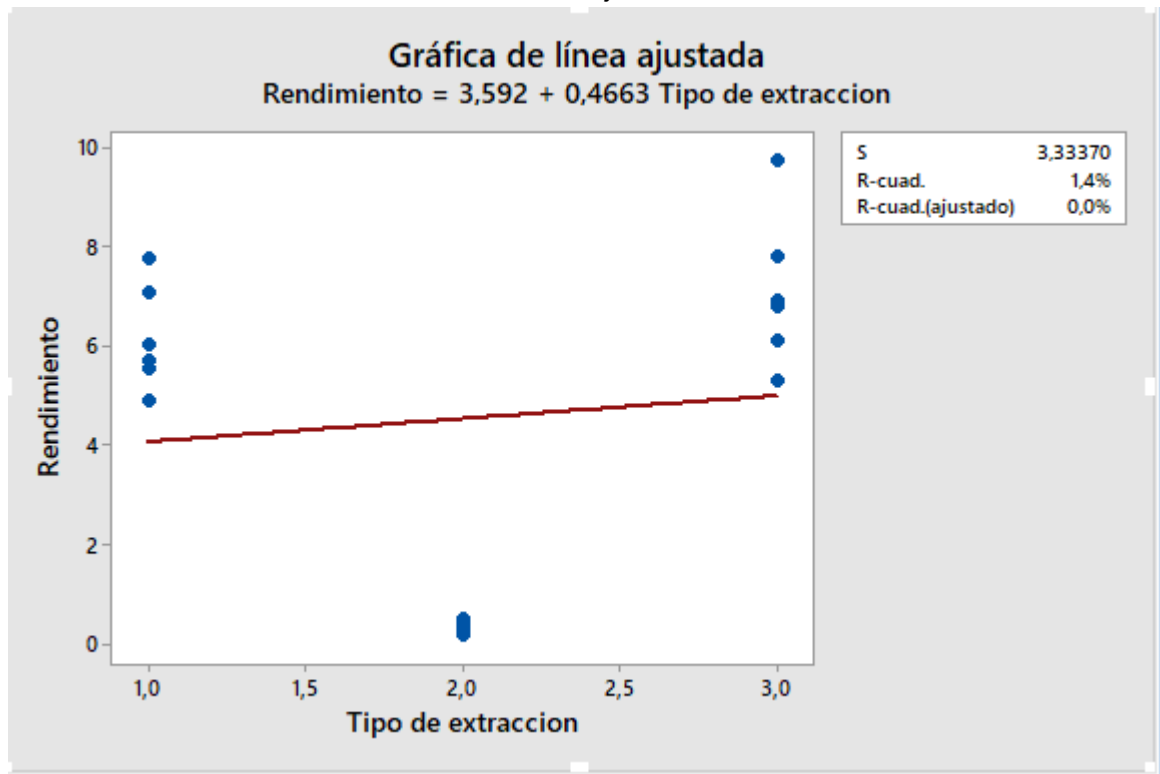
Fuente de variación	SC	GL	CM	F	F Tablas	Respuesta Ho
Entre tipo de solventes	0,73249373	1	0,73249373	0,52735846	4,75	Acepto
Entre tipo de extracción	162,854304	2	81,4271518	58,6234326	3,89	Rechazo
interacción	0,17127957	2	0,08563978	0,06165631	3,89	Acepto
Dentro de tratamiento	16,667837	12	1,38898642			
Total	180,425914	17	10,6132891			

Al realizar la comparación de las F calculadas con la de las tablas de distribución normal, se puede observar que el tipo de solvente y la interacción entre tipo de

solvente y tipo de extracción, no causan efecto en el rendimiento del aceite extraído, ya que estas tienen una F menor a la de las tablas, a diferencia del tipo de extracción la cual, si va a afectar al rendimiento del aceite extraído, ya que su F es mayor a la de las tablas.

Se trabajó un modelo de dos factores, por lo cual se realiza una regresión lineal para la descripción del proceso, obteniendo la siguiente ecuación, con su respectiva gráfica:

Gráfica 4. Gráfica de línea ajustada análisis de varianza



Por medio de la Gráfica 4 se obtiene una ecuación que representa el rendimiento de la extracción

Ecuación 4. Ecuación de diseño del rendimiento para el modelo lineal

$$y = 3,592 + 0,4663Xa$$

Siendo:

γ = rendimiento

Xa = tipo de extracción

La selección de un método de extracción depende de la finalidad del producto, de³² las necesidades que desea suplir y la pureza que se requiera del mismo. En este caso se requiere un aceite con buenas propiedades organolépticas y de calidad, ya que esto permitirá la correcta caracterización, por este motivo se selecciona como solvente el etanol.

3.4 EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS DE LOS METODOS DE EXTRACCION UTILIZADOS

Debido a que los rendimientos de las extracciones por medio de los métodos Soxhlet y arrastre de vapor son similares, al igual que las características sensoriales del aceite extraído por medio de los dos procesos, se hace una evaluación económica simple para cada técnica, la cual tiene en cuenta los costos operativos más importantes involucrados. En la Tabla 11 y 12 se presentan los criterios a evaluar.

Tabla 12. Costos extracción Soxhlet

Extracción por Soxhlet					
Equipo	Potencia (kW)	Recurso energético		Costo (COP/kWh)	Costo total(COP)
		Tipo de uso (h)	Energía total (kWh)		
Plancha de Calentamiento Wisd Laboratory Instruments	0,85	5	4,25	\$483,2*	\$2.053,6
Bomba de reflujo	0,026	5	0,13	\$483,2*	\$62,82
Materias primas					
Solvente	Consumo (L)	Costo por litro (COP/L)		Costo total (COP)	
Etanol	0,25	4.221,63		\$1.055,41	
Acetona	0,25	106.700		\$26.680	
Costo total de extracción por medio de arrastre de vapor (COP)			\$29.851,823		

*Valor para sectores industrial y comercial el Bogotá, para el año de 2016. CODENSA

³² PEREDO, Luna. Aceites esenciales: métodos de extracción. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla. Revista Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 3. Vol.1. 2009. San Andrés Cholula, Pue. México. pg 24-32

Tabla 13. Costos extracción arrastre por vapor

Extracción por arrastre de vapor					
Recurso energético					
Equipo	Potencia (kW)	Tipo de uso (h)	Energía total (kWh)	Costo (COP/kWh)	Costo total (COP)
Plancha de Calentamiento Wisd Laboratory Instruments	0,85	4	3,4	\$483,2*	\$1.642,88
Bomba de reflujo	0,026	4	0,104	\$483,2	\$50,25
Materias primas					
Solvente	Consumo (L)	Costo por litro (COP/L)		Costo total (COP)	
Etanol	0,25	4.221,63		\$1.055,41	
Acetona	0,25	106.700		\$26.680	
Costo total de extracción por medio de arrastre de vapor (COP)			\$29.428,54		

*Valor para sectores industrial y comercial el Bogotá, para el año de 2016. CODENSA

Después del análisis presentado anteriormente se selecciona como método de extracción el arrastre por vapor usando como solvente etanol. La técnica de arrastre a vapor presenta cierta ventaja sobre otros métodos (hidrodestilación y extracción soxhlet) cuando existe un tamaño de partículas pequeño, puesto que deteriora menos la materia vegetal.

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE EXTRAÍDO

La caracterización del aceite extraído se hace con el fin de saber si el aceite es de calidad o no, conocer sus características específicas y las propiedades que éste posee, para de esta manera conocer su posible aplicación en la industria. Para la caracterización se tendrán en cuenta los parámetros obtenidos para otros aceites vegetales, expuestos en el Cuadro 12.

Cuadro 15. Parámetros de calidad para algunos aceites vegetales

Parámetros de calidad	Aceite de oliva	aceite de girasol	aceite de soja	aceite de maní	aceite de olvida
Densidad (g/mL)	0,89 - 0,91	0,90 - 0,92	0,91 - 0,92	0,91	0,91 - 0,92
Punto de fusión (°C)	-5	-3	-4	-3	-4
Humedad (%)	0,42 - 0,55	0,24 - 0,36	0,20 - 0,33	0,21 - 0,31	0,20 - 0,30
Acidez (% ácidos grasos)	1,5 - 2,8	0,5 - 1	0,6 - 1,5	0,4 - 0,8	0,8 - 1,8
Índice de yodo(g/g)	50 -55	120 - 140	125 - 140	111 - 131	75 - 95
Índice de peróxido (meq. Oxígeno peróxido/g)	2 - 5	5 - 10	5 - 10	4 - 8	8 - 12

Fuente. Adriana Rocío Segura, Universidad de América 2013³³

3.5.1 Propiedades organolépticas. Como parte del análisis organoléptico se procede a determinar las características físicas que la muestra posee, es decir, este análisis es netamente cualitativo. Para llevar a cabo esta tarea se planteó un formato expuesto en el Anexo E y se escogió un grupo de personas, las cuales tienen conocimiento en el área, para que caracterizaran el producto y el error producido por la percepción propia de las autoras disminuyera. En el Cuadro 13 se expone el conglomerado final obtenido de las características del aceite extraído.

Cuadro 16. Caracterización organoléptica del aceite extraído.

Muestra de aceite de semilla de mango				
<i>Evaluación olfativa</i>			<i>Evaluación visual</i>	
Olor comparable a:	Manteca de cacao		Textura	Semisólido, cremoso
Presencia olor a solvente	Sí X No			
Encuentra el olor agradable	Sí No X		Color	Blanco amarilloso.

En conclusión, el aceite parece no tener un olor muy agradable según las personas encuestadas, dado que este tiene fuerte presencia de olor vegetal y

³³ SEGURA, B. Adriana R. Evaluación de proceso de extracción de aceite de semillas de Ahuyama (Cucúrbita máxima) a escala laboratorio para una posible aplicación en la industria de alimentos. Universidad de América. Bogotá, Colombia. 2013.pg 44.

trazas del solvente empleado para la extracción. Por otro lado la apariencia sí parece ser atractiva, dado que tiene aspecto cremoso y color blanquecino. En cuanto a la textura, es suave y fácil de esparcir.

3.5.2 Propiedades físicas. Son determinadas mediante metodologías anteriormente establecidas.

Densidad. La densidad es un factor el cual depende de la temperatura a la cual se encuentre el analito, por lo que se requiere conocer la temperatura durante la realización del procedimiento y reportar el resultado especificándola. Durante el método se utiliza un picnómetro de 25 mL y en contacto con un termómetro a 18,4°C. Si la densidad del aceite resulta ser mayor que la densidad del agua significa que posee alteraciones por algún componente externo.³⁴ La metodología y cálculos correspondientes están disponibles en el Anexo F.

Tabla 14. Densidad obtenida para el aceite de semilla de mango.

Ensayo	Densidad (g/mL)
1	0,923
2	0,925
3	0,919
Promedio	0,922

Según los datos presentados en la Tabla 13, la densidad del aceite de semilla de mango es menor a la densidad del agua, lo que significa que no tiene alteraciones por algún componente externo. Se encuentra que la densidad del aceite está dentro del rango esperado que se observó en la tabulación de las propiedades de otros aceites (Cuadro 12).

Punto de Fusión. El método utilizado se conoce como capilares de congelación. Los tubos capilares se sumergen en el aceite fundido hasta que éste penetre a una altura de 8 mm aproximadamente, la parte inferior de tubo se sella hasta que el aceite esté solidificado. Éstos se llevan a un baño caliente y se anota la temperatura a la cual cada columna vuelve a estado líquido. Este método y sus resultados se encuentran expuestos en el Anexo G y los resultados se presentan en la Tabla 14.

³⁴ LUI, Daniel. Emulsiones. Departamento Académico de Farmacotecnia y Administración Farmacéutica. [En línea]. Disponible en: <http://www.digemid.minsa.gob.pe/Upload/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM_Marzo_2009/5_DL_EMULSIONES.pdf> [Consultado el 20 de noviembre de 2017].

Tabla 15. Punto de fusión obtenido para el aceite de semilla de mango.

Ensayo	Punto de fusión (°C)
1	15
2	14,5
3	15
4	14,9
Promedio	14,85

Según los datos tabulados en el Cuadro 12, el punto de fusión obtenido para el aceite (Tabla 14) de semilla de mango se encuentra entre los rangos allí expuestos. Debido a la presencia de solvente, el punto de fusión no fue el esperado, ya que en estudios ya realizados el punto de fusión se encuentra alrededor de 15 °C.³⁵

Humedad. Según la reglamentación de la norma NTC 287, la humedad de un aceite no debe ser ya que esto puede significar la presencia de residuos de agua u otras impurezas, las cuales disminuirán la calidad de la muestra.³⁶

Tabla 16. Obtención de la humedad contenida en el aceite de semilla de mango.

Tiempo (h)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Humedad (%)
0	24.8181	24.352	0.4661	1.878

La norma NTC 278 especifica el contenido de humedad y materia volátil para grasas y aceites, tanto animales como vegetales: allí se estipula que los aceites no deben de tener una humedad superior al 0,3% de humedad. La humedad para el aceite esencial de semilla de mango resultó ser del 1,87%, según lo tabulado en la Tabla 15, lo cual quiere decir que el aceite puede tener residuos de solvente el él, impurezas o contenido de agua; teniendo en cuenta la evaluación organoléptica realizada anteriormente, es posible que esta incongruencia en el resultado esté dada por la presencia de etanol en el aceite muestra.

3.5.3 Propiedades químicas. Las propiedades acá halladas, se obtuvieron por medio de metodologías estandarizadas en cada uno de los casos.

pH. El pH de una sustancia habla de su composición, por lo cual es necesario obtener el dato de éste para el aceite de semilla de mango, procedimiento que se lleva a cabo mediante la implementación de un pHmetro (Cuadro 4), se toman varias medidas y se hace un promedio de éstas.

³⁵ PASCUAL-BUSTAMANTE,S., et al. Caracterización del Aceite Obtenido de Almendras de Diferentes Variedades de Mango y su Aplicación como Sustituto de Manteca de Cacao en Rellenos y Coberturas de Chocolate.

³⁶ SEGURA, B. Adriana R. Evaluación de proceso de extracción de aceite de semillas de Ahuyama (Cucúrbita máxima) a escala laboratorio para una posible aplicación en la industria de alimentos. Universidad de América. Bogotá, Colombia. 2013. pg. 92

Tabla 17. pH obtenido del aceite de semilla de mago.

Ensayo	pH
1	4,85
2	4,88
3	4,79
Promedio	4,84

La composición de las grasas y aceites es en su mayoría ácidos grasos, y por este motivo es esperable que el pH se encuentre en el rango ácido, según resultados expuestos en Tabla 16.

Acidez. Por medio de la titulación de NaOH sobre la muestra de aceite de semilla se obtiene éste parámetro, la metodología a seguir y los cálculos elaborados se presentan en el Anexo H.

Tabla 18. Índice de acidez del aceite de semilla de mango.

Ensayo	% Ácidos grasos
1	1,251
2	1,322
3	1,410
Promedio	1,328

El porcentaje de ácidos grasos obtenido para una muestra de aceite de semilla de mango dio en promedio (Tabla 17) 1,328%, según la norma NTC 574 (2.008), la cual establece los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir la manteca de cacao y como el aceite obtenido de semilla de mango es ampliamente usado como sustituto de manteca de cacao³⁷, se pretende comparar los rangos estipulados en la norma NTC, la cual dice que el máximo permitido para el porcentaje de acidez es 1.75 %. El porcentaje encontrado para el aceite de semilla de mango es menor a este valor, así que se puede concluir que es un aceite de buena calidad.

Índice de Yodo. Se titula tiosulfato de sodio, ya que por medio de esta práctica se analiza qué tantas insaturaciones puede llegar a tener un aceite extraído. El procedimiento y los cálculos correspondientes se encuentran adjuntos en el Anexo I.

³⁷ PASCUAL B, S. VILCHIS M,G. Caracterización de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de Cacao en rellenos de coberturas de chocolate.Unversidad Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Coyoacán, México. Pg. 7

Tabla 19. Índice de yodo para aceite de semilla de mango.

Ensayo	Índice Yodo
1	23,442
2	25,395
3	25,396
Promedio	24,744

Los valores reportados en la norma NTC 574 para la manteca de cacao están entre el rango de 32 a 41 g de I₂/100g de grasa, el aceite de semilla de mango presenta un índice menor al parámetro establecido al de manteca de cacao, sin embargo no puede tomarse como un resultado negativo, puesto que de acuerdo a una caracterización hecha específicamente para el aceite extraído de varias variedades de mango, se obtiene que el índice de yodo oscila de 22,94 a 35,52 g de I₂/100 g de grasa³⁸, congruente a lo encontrado durante el desarrollo de éste proyecto. De manera comparativa con los datos presentados en el Cuadro 12, el valor del índice de yodo es bajo con respecto a los demás, lo que quiere decir que éste posee menor cantidad de ácidos grasos saturados, según los datos obtenidos en la Tabla 18.

Índice de peróxido. Este parámetro se define técnicamente como los miligramos de oxígeno necesarios para oxidar 1 gramo de grasa. Representa la rancidez oxidativa de una muestra y se halla por medio del procedimiento enmarcado en el Anexo J.

Tabla 20. Cálculo del índice de peróxido del aceite de semilla de mango.

Ensayo	Índice próxido
1	16,037
2	15,094
3	17,924
Promedio	16,352

Según el Cuadro 12 el rango de valores de otros aceites de origen vegetal está de 2 a 12 meq.óxígeno peróxido/kg, además de esto según la norma CODEX STAN 19-1981 del Codelx Alimentarius específico para grasas y aceites aptos para el consumo humano, se establece que el valor máximo de peróxido permitido es de 15 m.eq O₂/kg grasa³⁹. De manera comparativa se encuentra que el valor

³⁸ LÓPEZ, Martha del Pilar. SANDOVAL, Angélica P. Valecia, Jorge Alberto. Características de la grasa de semilla de mango de veiente cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. 2016, Mayo. Bogotá, Colombia. pg. 12

³⁹ Norma CODEX STAN 19-1981. Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. [En línea]. Disponible en:

obtenido para el aceite de semilla de mango es mayor al de los parámetros y reportado en la Tabla 19, lo que puede significar que el aceite sea de mala calidad, pero se encuentra que los valores estándar del índice de peróxido para el aceite de semilla de mango están entre 0.76 meq O₂/kg grasa y 3.19 meq O₂/kg grasa⁴⁰, lo que significa que particularmente la muestra analizada pasó mucho tiempo expuesta al aire y a la contaminación circundante antes de ser llevado a cabo el análisis.

Índice de saponificación. Cantidad de hidróxido de potasio necesario para saponificar un compuesto graso, el resultará ser un dato cercano a el peso molecular del analito. La metodología requerida para encontrar los datos está narrada en el Anexo K.

Tabla 21. Cálculo del índice de saponificación del aceite de semilla de mango.

Ensayo	Índice saponificación
1	196,35
2	200,55
3	192,14
Promedio	196,35

Datos teóricos sobre la extracción de aceite de semilla de mango arrojaron datos para el índice de saponificación 121.77 mg de KOH/g grasa a 233.88 mg de KOH/g grasa.³⁸ El índice obtenido está entre el rango. Según la Norma NTC 335 “Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de saponificación” el índice de saponificación saludable para un aceite crudo vegetal es 116.21 mg de KOH/g grasa a 206.0 mg de KOH/g grasa, el resultado obtenido para el aceite de semilla de mango se encuentra dentro del rango permitido.

<www.fao.org/input/download/standards/74/CXS_019s_2015.pdf> [Consultado el 20 de noviembre de 2017].

⁴⁰ LÓPEZ, Martha del Pilar. SANDOVAL, Angélica P. Valecia, Jorge Alberto. Características de la grasa de semilla de mango de veiente cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. 2016, Mayo. Bogotá, Colombia. pg. 9

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

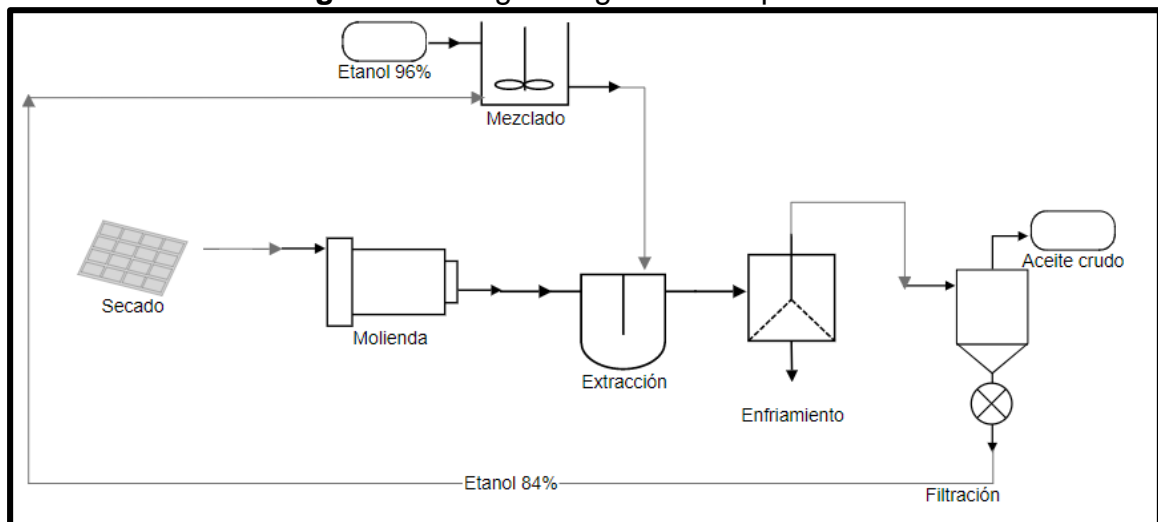
En este capítulo se tendrán en cuenta los equipos que pueden ser utilizados en la extracción de aceite de semilla de mango a nivel industrial, teniendo en cuenta que se usará una capacidad basada en los desperdicios que se producen en Alic alimentos al momento de despulpar la fruta (200 kg/semana), además de esto se asume que se recolectará la misma cantidad de otras 5 empresas dedicadas a la misma actividad industrial, ya que la semilla de mango para éstas es un desperdicio y no le encuentran valor agregado. Se propone un diagrama general del proceso teniendo en cuenta el proceso de extracción seleccionado en el Capítulo 3 y las condiciones allí establecidas, además se desarrollará un balance de masa, el cual proporcionará las capacidades requeridas de los equipos a emplear.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Con base en los resultados de laboratorio por el método elegido de extracción de aceite de semilla de mango, se requieren las siguientes etapas:

1. Acondicionamiento de la semilla de mango
 - 1.1 Secado
 - 1.2 Molienda
2. Extracción del aceite de semilla de mango
3. Separación del producto
 - 3.1 Proceso de enfriamiento
 - 3.2 Filtración
4. Recuperación del solvente

Figura 20. Diagrama general del proceso



En la Figura 20, se evidencia el proceso general de extracción planteado, a continuación se describe cada una de las etapas.

4.1.1 Acondicionamiento de la semilla de mango. Esta etapa consta de dos sub etapas; secado y molienda. El objetivo final es preparar la materia vegetal para el proceso de extracción, secándola para retirar la humedad y evitar la proliferación de vida microbiana y moliéndola para aumentar la superficie de contacto con el solvente.

4.1.2 Extracción. Una vez la materia prima ya está correctamente acondicionada, se procede a someterla a extracción, proceso el cual requiere etanol (96%) como solvente.

4.1.3 Separación del producto. Como resultado de la extracción se obtendrá una mezcla homogénea de etanol y aceite de semilla de mango, el cual se someterá a un proceso de separación el cual consiste en primera instancia de un baño frío el cual hará que sean evidentes dos fases: la fase solvente (líquida) y la fase aceite extraído (sólida), las cuales se separarán por medio de una filtración simple.

4.1.4 Recuperación del solvente. Esta etapa del proceso se incluye ya que se requiere utilizar el solvente, generando una mezcla 50/50 del solvente reutilizado y solvente nuevo de pureza 96%

4.2 BALANCE DE MASA

A continuación, se procede a hacer un balance de masa en cada una de las operaciones llevadas a cabo en el proceso.

4.2.1 Acondicionamiento de la materia prima.

4.2.1.1 Secado

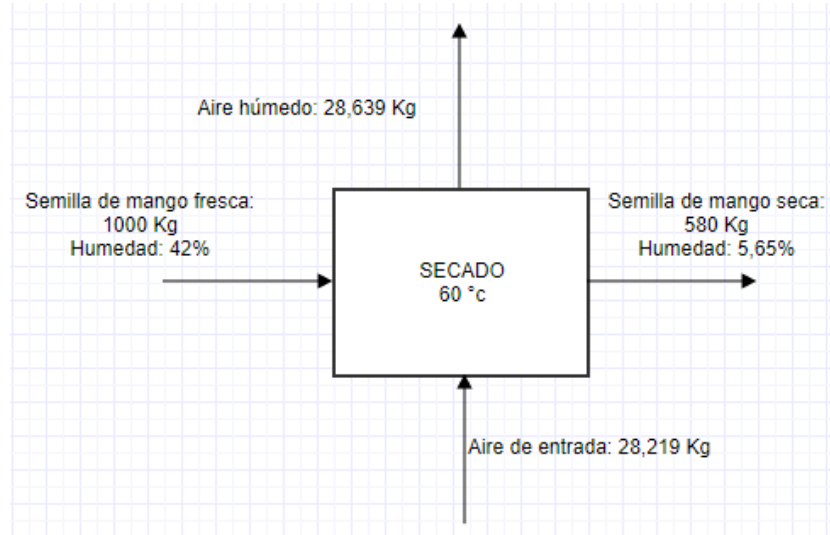
Tabla 22. Balance de materia para el proceso de secado.

Secado		
Corriente 1	Agua1(Kg)	420
	Semillas (Kg)	580
	Masa total 1(Kg)	1.000
Corriente 2	Aire Seco (Kg)	27,908591
	Agua 2 (Kg)	0,310409
	Masa total 2 (Kg)	28,219
Corriente 3	Aire(Kg)	27,908591
	Agua1 +agua 2(Kg)	420,310409
	Masa total 3 (Kg)	448,219

Tabla 23. (Continuación)

Corriente 4	Semillas (Kg)	580
	agua (Kg)	5,65
	Masa total 4 (Kg)	585,65

Figura 21. Diagrama del balance de masa en el secado



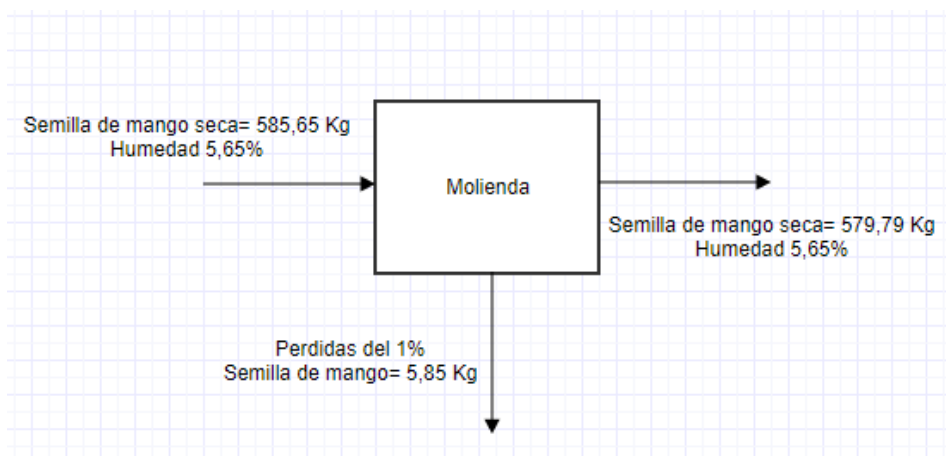
NOTA: en la entrada de aire seco se tuvo en cuenta la humedad relativa en Bogotá, con una temperatura de 18 °C, se utilizó la carta psicométrica.

4.2.1.2 Molienda.

Tabla 24. Balance de masa para el proceso de molienda

Molienda		
Corriente 4	Agua (Kg)	5,65
	Semilla (Kg)	580
	Masa total 4 (Kg)	585,65
Corriente 5	Agua (Kg)	0,0565
	Semilla (Kg)	5,8
	Masa total 5 (Kg)	5,8565
Corriente 6	Agua (Kg)	5,5935
	Semilla (Kg)	574,2
	Masa total 6 (Kg)	579,7935

Figura 22. Diagrama de del balance de masa en la molienda

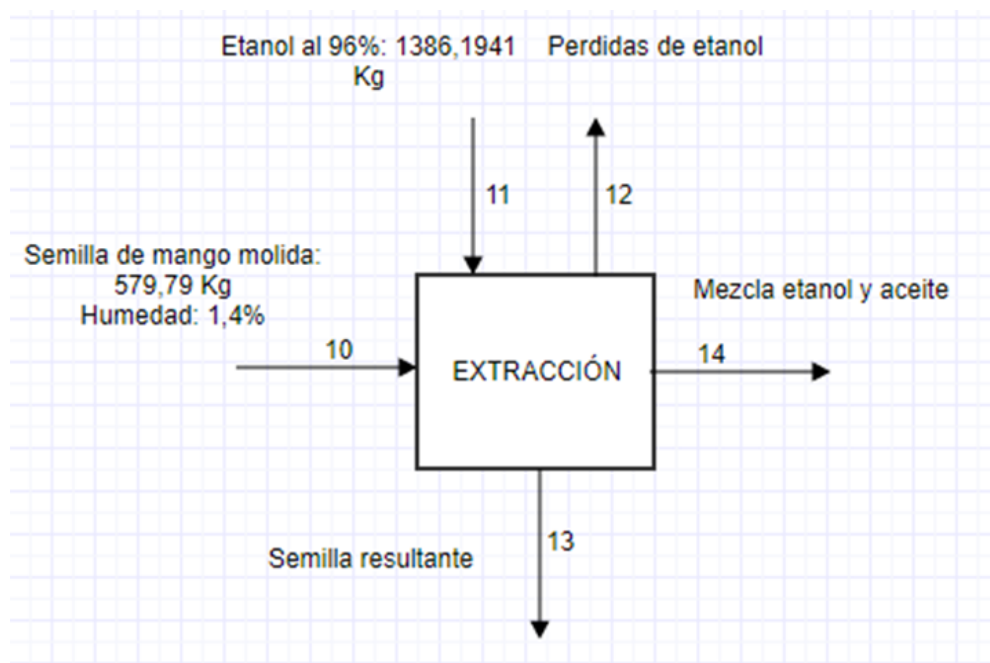


4.2.2 Extracción

Tabla 25. Balance de masa para el proceso de extracción

Extracción		
Corriente 10	Semilla (Kg)	512,7606
	Aceite(kg)	61,4394
	Agua(kg)	5,5935
	Masa total 10 (Kg)	579,7935
	Etanol (Kg)	1330,74634
Corriente 11	Agua(kg)	55,447764
	Masa total 11 (Kg)	1386,1941
Corriente 12	Etanol (Kg)	44,5800023
Corriente 13	Semilla (Kg)	512,189578
	Aceite(kg)	52,7540934
	Agua(kg)	33,6778979
	Etanol (Kg)	41,6154032
	Masa total 13 (kg)	640,236972
Corriente 14	Etanol (Kg)	999,313088
	Agua(kg)	273,172231
	Aceite(kg)	8,68530663
	Masa total 14 (Kg)	1281,17063

Figura 23. Diagrama de del balance de masa en el proceso de extracción



NOTA:

- Se realizará una suposición de pérdidas de etanol del 3,35%
- El porcentaje de aceite en la semilla de mango teóricamente es del 10,70%⁴¹.
- Para el aceite de salida se tuvo en cuenta el rendimiento calculado en la experimentación.

4.2.3 Separación del producto

Tabla 26. Balance de materia para el proceso de Filtración

Filtración		
Corriente 15	Etanol (Kg)	896,819438
	Agua (Kg)	375,665881
	Aceite (Kg)	8,68530663
	Masa total 15 (Kg)	1281,17063

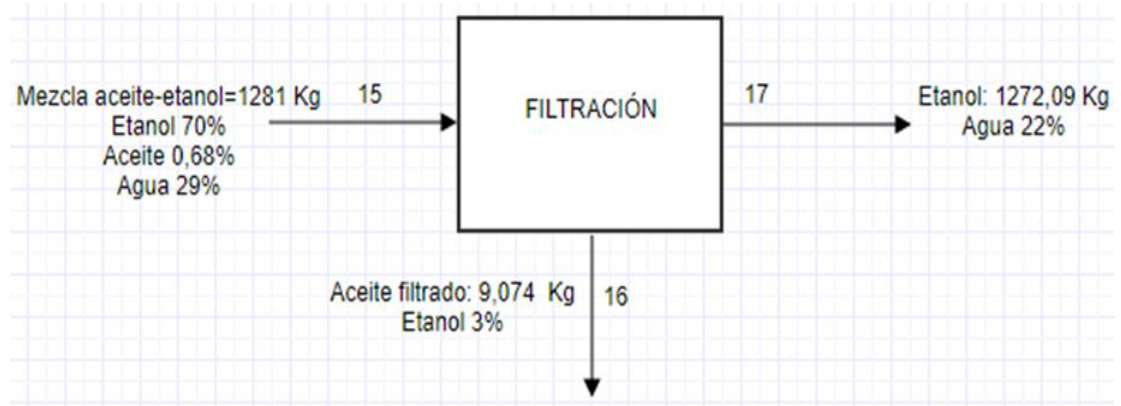
⁴¹ López Hernández, Martha del Pilar.; Sandoval Aldana, Angélica piedad y Valencia Montoya, Jorge Alberto. **CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA GRASA DE SEMILLA DE VEINTE CULTIVARES DE MANGO (Mangifera indica L.) EN COLOMBIA.**

Tabla 27. (Continuación)

Corriente 16	Aceite (Kg)	8,68530663
	Etanol (Kg)	0,27224876
	Agua (Kg)	0,11740321
	Masa total 16 (Kg)	9,0749586
Corriente 17	Etanol (Kg)	992,23462
	Agua (Kg)	279,861047
	Masa total 17(Kg)	1272,09567

NOTA: Se supuso que no existen pérdidas en la filtración

Figura 24. Diagrama de del balance de masa en el proceso de filtración



4.2.4 Recuperación del solvente

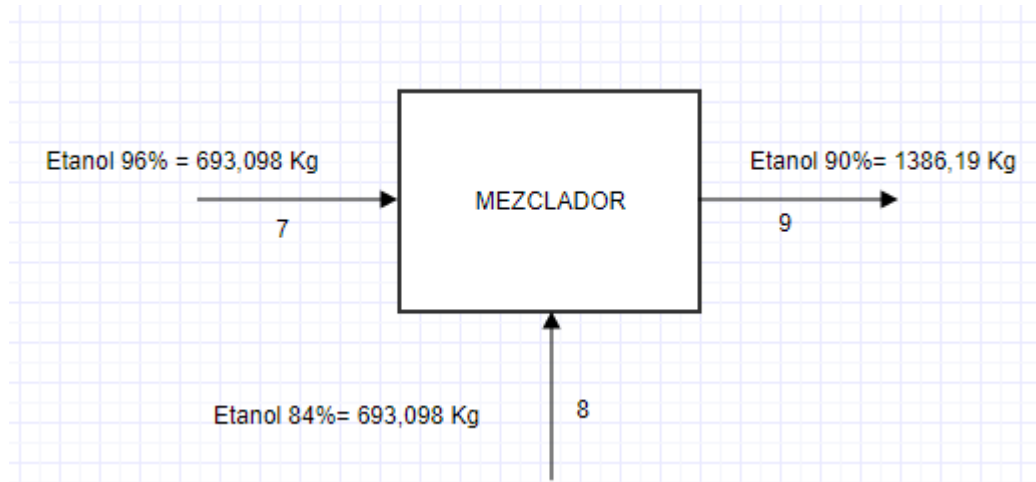
4.2.4.1 Mezclador

Tabla 28. Balance de masa para el proceso de mezclado

Corriente 7 (Kg)	Etanol 96%	693,09705
Corriente 8 (Kg)	Etanol 84%	693,09705
Corriente 9 (Kg)	Etanol 90%	1386,1941

NOTA: Se va tomar una base con relación del 50/50 para el etanol del 96% que entra y con el etanol del 84% que proviene del proceso de filtración.

Figura 25. Diagrama de del balance de masa en el proceso de mezclado



4.3 EQUIPOS

Para el proceso de selección de equipos se parte de varios supuestos: primero, la planta estará en funcionamiento seis días a la semana, se procesará semanalmente 1000 kg de semilla de mango. Dado que esta cantidad de materia es muy elevada y los equipos para procesar dichas cantidades requerirán más espacio, energía eléctrica e inversión inicial se toma la decisión de realizar los procesos en tandas de a 200 kg, de esta manera la planta no estará detenida ningún día de la semana y la materia prima siempre estará en estado fresco para la extracción.

4.3.1 Equipos de secado. Se plantea que para procesar la totalidad de semilla de mango semanal, los primeros cuatro días de la semana se lleven a cabo procesos de secado; este proceso dura 24 horas para cada tanda de materia vegetal. Durante cada uno de los procesos de secado se retirará la humedad de 250 kg de semilla de mango fresca, para lo cual se propone disponer de un horno deshidratador común (Figura 26)

Figura 26. Horno deshidratador



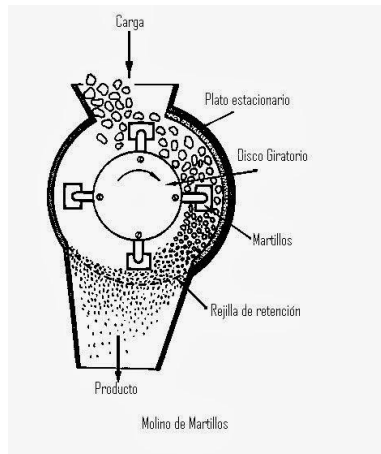
Fuente. Consultado 25 de Octubre de 2017 en <http://www.comek.com.co/index.php/productos/equipos-para-frutas/horno-deshidratador-.html>

Detalles técnicos:

- 10 bandejas
- Dimensiones generales de las bandejas: 80x60 cm
- Consumo 15 kw/h

4.1.2 Molienda. La molienda de la semilla seca iniciaría inmediatamente después de que cada tanda de materia vegetal salga del proceso de secado, razón por la cual también tomará 4 días la disminución del tamaño de partícula de la totalidad semanal de la semilla. Se propone la implementación de un molino de martillos (Figura 27) para llevar a cabo dicha tarea.

Figura 27. Molino de martillos



Fuente. Consultado 25 de octubre de 2017 en <http://www.alvanblanchgroup.com/es/hammermill>

Descripción: Su cuerpo está hecho de placa gruesa y acero suave, contiene un rotor con martillos en acero templado. El material ingresa por medio de la tolva y se debe tener una regulación del flujo; en la cámara de molienda el material es molido y es aspirado a través de una pantalla de ventilador y se transporta a un recipiente adecuado.⁴²

Detalles técnicos

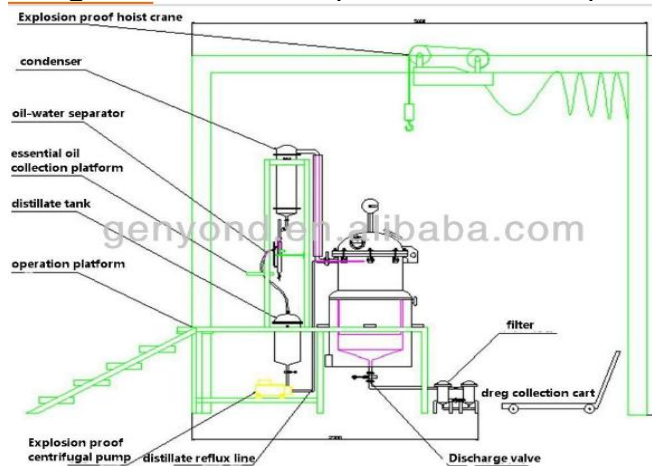
- Material: Acero inoxidable
- Capacidad: 200 kg
- Motor: 1 h.p a 110 V

4.1.3 Extracción. Una vez la materia prima está correctamente acondicionada, el proceso de extracción puede ser llevado a cabo, éste proceso se programa para

⁴² ALVAN BLANCH. Molino De Martillos. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: <http://www.alvanblanchgroup.com/es/hammermill>

los dos últimos días de funcionamiento de la planta, dado que cada proceso dura 6 horas, así que se podrán hacer dos tandas diarias de extracción. Se propone implementar un equipo extractor por arrastre de vapor, pero en vez de agua se utilizará etanol, puesto que este fue el solvente escogido en el capítulo 3.

Figura 28. Extractor por arrastre de vapor



Fuente. Consultado 26 de octubre de 2017 en https://www.alibaba.com/product-detail/100-pure-and-natural-100L-Herb_1780661138.html?spm=a2700.7724838.2017115.405.5e73f40fYjGD7K

Características: Este equipo contiene tres capas de sistema de destilación de placas SS que permite una buena eficiencia en la extracción, tiene un sistema de control digital y control de pantalla táctil y su manejo es sencillo.⁴³

Detalles técnicos:

- Capacidad: 50 L/ 3-4 horas.
- Material: acero inoxidable
- Dimensión: 1,6x0,85x1,8 m
- Consumo: 7,5 Kw/h
- Modelo: EO-50

4.1.4 Enfriamiento. El proceso de enfriamiento se llevará a cabo justo después de que el tiempo de extracción termine, por lo cual también abarcará los dos últimos días de operación. Se propone utilizar un chiller enfriador de agua con tanque de agua incorporado el cual cuenta con límites de operación amplios, facilidad de uso.

⁴³ Alibaba. Herbal Extract. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/100-pure-and-natural-100L-Herb_1780661138.html?spm=a2700.7724838.2017115.405.5e73f40fYjGD7K

Figura 29. Chiller para enfriamiento.



Fuente. Consultado 26 de octubre de 2017 en https://www.alibaba.com/product-detail/XC-05ACI-Good-Reputation-High-Performance_60589201557.html?spm=a2700.7724838.2017115.43.14622063fjzm3H

Características: Viene equipado con un condensador y evaporador con carcasa de acero inoxidable, que permite su fácil limpieza, viene con un suministro de agua en el tanque de agua, refrigerador enfriado por aire con evaporador tipo tabla, tiene protección de seguridad, contra sobrecarga de bomba, contra alta presión y baja presión, contra fallas, también viene con controles de temperatura intelectualizados.⁴⁴

Detalles técnicos:

- Capacidad de enfriamiento: 4,5- 54,4 °C
- Dimensiones: 0,68x0,46x0,84 m
- Capacidad de tanque de agua: 20L

4.1.5 Filtración. El proceso de separación se llevará a cabo de manera seguida, por lo que al igual que el proceso de enfriamiento, éste también se hará en los dos últimos días de operación. Para este proceso se propone utilizar un filtro de bolsa, el cual se caracteriza por tener una buena retención de sólidos suspendidos y sedimentables.

⁴⁴ Alibaba. Air Cooled Chiller. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/XC-05ACI-Good-Reputation-High-Performance_60589201557.html?spm=a2700.7724838.2017115.43.14622063fjzm3H

Figura 30. Filtro de bolsa



Fuente. Consultado 27 de octubre de 2017 en https://www.alibaba.com/product-detail/All-Types-Bag-Filters-Factory_60617080226.html?spm=a2700.7724838.2017115.136.14622063fjzm3H

Características: Este equipo filtra a presión, contiene un cilindro de filtración, cubierta de cilindro y estructura abierta, bolsa de filtración de acero inoxidable. La bolsa es instalada dentro de la canasta, donde el líquido fluirá por esta y se tendrá el sólido filtrado en la bolsa.⁴⁵

Detalles técnicos:

- Capacidad: 15 m³/ h

⁴⁵ Alibaba. Bag Filters. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/All-Types-Bag-Filters-Factory_60617080226.html?spm=a2700.7724838.2017115.136.14622063fjzm3H

5. ANÁLISIS COSTOS DE PRODUCCIÓN

Mediante el presente análisis se requiere conocer los costos que requiere la producción de aceite de semilla de mango a nivel industrial, para producir 1 ton de semilla de mango. Dicho análisis contempla los equipos que se requieren para el proceso. Las etapas más importantes del proceso de extracción son la extracción del aceite como tal y la separación de éste y del solvente luego de la etapa de extracción.

El proceso de extracción de la semilla de mango de la pepa del fruto es un proceso completamente manual, así que ésta etapa del proceso no será tomada en cuenta para el presente análisis.

5.1 COTIZACIÓN DE EQUIPOS

Algunos equipos contemplados para la extracción del aceite de semilla de mango son equipos altamente específicos, razón por la cual las cotizaciones se llevaron a cabo por medio de páginas web de fabricantes y empresas dedicadas a su distribución a nivel internacional. El valor de flete fue consultado en PROEXPORT Colombia tarifas de transporta marítimo, también se tuvo en cuenta el % de gravamen fue consultado en el decreto 4589 del 27 de Diciembre de 2006 Arancel de aduanas, como se observa en la Tabla 26

Tabla 29. Equipos internacionales

Equipo	Costo(COP)	%Seguro	Flete (COP)	%Gravamen	Total costo (COP)
Extractor	91'845.330	0,25	5'077.628	10	101'560.587
Chiller	298.684	0,25	5'077.628	15	1'105.242,81
Filtro de bolsas	4'056.128,72	0,25	5'077.628	10	4'970.518,42
Total					107'633.648,2

Por el contrario otros de los equipos sí se encuentran en el mercado nacional, se encuentran tabulados en la Tabla 27.

Tabla 30. Equipos nacionales

Equipo	Proveedor	Costo (COP)
Horno deshidratador	Comek	8'900.000
Molino de martillos	Comek	7'900.000
Total		16'800.000

Teniendo así que el valor total de la inversión inicial para los equipos es de \$124'436.348,2 COP.

5.1 GASTO ENERGÉTICO

Se considera que uno de los costos inamovibles es el costo de la materia prima, el cual se encuentra en la Tabla 28, la materia vegetal no tiene ningún costo de adquisición. La base de cálculo es de 1 ton de semilla de mango procesada semanalmente, así que de acuerdo al rendimiento obtenido para el proceso se calcula que se obtendrá 69,44 kg al mes de aceite de semilla de mango.

Tabla 31. Tabla costo materia prima

Materia prima	Costo (COP/L)
Etanol 96%(COP/L)	\$4.221,63

Secado. Como se mencionó en la Sección 4.3, para llevar a cabo esta operación se usará un horno deshidratador de 10 bandejas, cuatro veces a la semana durante 24 horas cada vez. Según las especificaciones técnicas del equipo cotizado, se tiene que:

$$15.000 W * 24h = 360.000 W * día$$

$$(360.000 Wdía) * \left(\frac{\$483,2 \frac{COP}{kWh}}{1.000 Wh} \right) = \$173.952 \frac{COP}{kWdía}$$

Ya conociendo el valor de la operación del horno secador durante un día se procede a conocer el valor de la operación de éste durante un mes de operación de este equipo, que son 4 días a la semana durante 4 semanas (1 mes), lo cual significa que serán 16 días de operación para el horno:

$$\$173.952 \frac{COP}{kWdía} * \frac{16 días}{1 mes de operación} = \$2'783.232 \frac{COP}{mes}$$

Molienda. La operación se lleva a cabo en un molino de martillos durante aproximadamente 1 hora, 4 días a la semana. Según las especificaciones técnicas se tiene:

$$745,7 W * 1 \frac{h}{día} = 745,7 \frac{Wh}{día}$$

$$745,7 \frac{Wh}{día} * \left(\frac{\$483,2 \frac{COP}{kWh}}{1.000 Wh} \right) = \$360,32 \frac{COP}{kWdía}$$

Ya conociendo el valor de la operación del molino de bolas durante un día se procede a conocer el valor de la operación de éste durante un mes de operación de este equipo, que son 4 días a la semana durante 4 semanas (1 mes), lo cual significa que serán 16 días de operación para este equipo:

$$\$173.952 \frac{COP}{kWdía} * \frac{16 \text{ días}}{1 \text{ mes de operación}} = \$5.765,12 \frac{COP}{mes}$$

Extracción. El proceso de extracción se lleva a cabo durante dos días a la semana, durante cada día se hacen dos extracciones las cuales duran cuatro horas cada una. Según las especificaciones técnicas del equipo se calcula:

$$7.500 W * 4 \frac{h}{día} = 30.000 \frac{Wh}{día}$$

$$30.000 \frac{Wh}{día} * \left(\frac{\$483,2 \frac{COP}{kWh}}{1.000 Wh} \right) = \$14.496 \frac{COP}{kWdía}$$

Ya conociendo el valor de la operación del extractor durante un día se procede a conocer el valor de la operación de éste durante un mes de operación de este equipo, que son 2 días a la semana durante 4 semanas (1 mes), lo cual significa que serán 8 días de operación mensual para este equipo:

$$\$14.496 \frac{COP}{kWdía} * \frac{8 \text{ días}}{1 \text{ mes de operación}} = \$115.968 \frac{COP}{mes}$$

Enfriamiento. Esta operación, al igual que el proceso de extracción se realiza dos veces por semana, dos veces al día durante 1 hora.

- **Consumo de energía en el compresor.**

$$20.400W * 1h = 20.400Wh$$

$$20.400Wh * \left(\frac{\$483,2 \frac{COP}{kWh}}{1.000 Wh} \right) = \$9.857,3 \frac{COP}{KWh}$$

$$\$9.857,3 \frac{COP}{KWh} *$$

- **Consumo de energía bomba.**

$$2.200W * 1h = 2.200Wh$$

$$2.200Wh * \left(\frac{\$483,2 \frac{COP}{kWh}}{1.000 Wh} \right) = \$1.063,04 \frac{COP}{KWh}$$

5.2 OTROS GASTOS DE OPERACIÓN

De manera paralela a los gastos energéticos de cada uno de los equipos, también es necesario cuantificar otros gastos como agua de refrigeración, solvente y materia prima.

Agua de refrigeración para la extracción. El equipo de extracción está conformado por un equipo de condensación, teóricamente se encuentra que el caudal necesario de agua para poder condensar los gases de etanol es 13,83 mL/s.⁴⁶ Conforme a esta información se tiene:

$$4h * \left(\frac{3.600s}{1h} \right) * \left(\frac{13,83 mL}{1s} \right) = 199.152 \frac{mL}{h} = 0,199152 \frac{m^3}{h}$$

Según el Acueducto, el valor por metro cúbico de agua para el año 2.017 es \$3.173,52 COP/m³.⁴⁷ En base a este dato se calcula:

$$0,199152 \frac{m^3}{h} * \left(\frac{\$3.173,52 COP}{m^3} \right) = \$632,01 \frac{COP}{h}$$

$$\$632,01 \frac{COP}{h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * \frac{2 \text{ días} * 2 \frac{\text{extracción}}{\text{día}}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}}$$

$$= 242.691,84 \frac{COP}{\text{mes}}$$

Etanol para la extracción. Después del proceso de secado, la semilla total a procesar es de 500kg, cantidad que se dividirá en 4 extracciones, puesto que para la tarea de extracción se disponen dos días en dos sesiones de extracción en cada uno. Por lo que la cantidad a tratar en cada extracción será 125 kg. Partiendo de los datos utilizados durante la experimentación se tiene:

⁴⁶ Universidad Católica Andrés Bello. Escuela de Ingeniería industrial. Guayana. [En línea]. [Consultado el 27 de Noviembre2017]. Disponible en: http://guayanaweb.ucab.edu.ve/tl_files/ingenieria_industrial/files/laboratorios/Semana%20N%203pract_03_dest_vino.pdf

⁴⁷ Acueducto de Bogotá. [En línea]. [Consultado el 27 de Noviembre2017]. Disponible en: http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLw2DfYHMPIwMDP38LA89A32A_C48wY7cgM_1wkA6zeGd3Rw8Tcx8DA3-jMAMDIz_T4ECD0GBjA09jiLwBDuBooO_nkZ-bql

$$375 \frac{L \text{ etanol}}{\text{extracción}} * \frac{2 \text{ extracciones}}{\text{día}} * \frac{2 \text{ días}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} = 6.000 \frac{L \text{ etanol}}{\text{mes}}$$

Teniendo en cuenta la información presentada en la Tabla 26, se calcula:

$$6.000 \frac{L \text{ etanol}}{\text{mes}} * \$4.221,63 \frac{COP}{L} = 25'329.780 \frac{COP}{L}$$

Consumo agua de enfriamiento para Chiller.

$$1h * \left(\frac{3.600 s}{1h}\right) * \left(\frac{5.250 mL}{1s}\right) = 18'900.000 mL = 18,9 m^3$$

$$18,9 m^3 * \left(\frac{\$3.173,52 COP}{m^3}\right) = \$59.979,5 COP$$

$$\$59.979,5 COP * 2 \text{ extracciones} * 2 \text{ días} * 4 \text{ semanas} = \$959.672 \frac{COP}{mes}$$

Mano de obra. A continuación se asumen algunos gastos básicos para la operación de la planta, asumiendo que se requieren 15 operarios, a los cuales se les pagará el salario mínimo legal para el año en curso y todas las prestaciones sociales de ley.⁴⁸

Tabla 32. Gastos de mano de obra mensual.

Ítem	Costo (\$COP)
Salario	737.717
Vacaciones	30.738
Cesantías	61.476
Interés a la cesantía	7.377
Prima de servicios	61.476
Subsidio de transporte	83.140
Pensión	88.526
Dotación	70.000
ARL y riesgos	17.970
TOTAL	1'158.420
TOTAL 4 Operarios	4'633.680

⁴⁸ Periódico Portafolio. Salario mínimo en Colombia 2017. En línea]. [Consultado el 27 de Noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/empleo/salario-minimo-colombia-2017-109538>

5.3 COSTO DE UN MES DE OPERACIÓN

Tabla 33. Gastos mensuales de operación para una planta de extracción de aceite de semilla de mango.

Operación	ítem	Costo (COP/mes)
Secado	Energético	\$2'783.232
Molienda	Energético	\$5.765,12
Extracción del aceite	Energético	\$115.968
	Solvente	\$25'329.780
	Agua condensador	\$242.691,84
Separación (chiller)	Energético (compresor)	\$157.716,8
	Energético (bomba)	\$17.008,6
	Agua	\$959.672
Mano de obra	Pago empleados	\$4'633.680
Total		\$34'245.514,36

El costo total mensual se compara con las ganancias que se obtienen al comercializar el aceite de semilla de mango, pero este no tiene un precio en el mercado, así que, al ser un suplente de la manteca de cacao en la industria de alimentos, se supondrá que tiene el mismo precio que este, el cual es de \$ 50.000 cada kilogramo, teniendo mensualmente ganancias de \$3'472.000. Por lo tanto no es viable llevar este proceso a escala industrial.

6. CONCLUSIONES

- Durante el proceso de acondicionamiento de la semilla de mango previa a la extracción se encuentra que ésta tiene un contenido del 42,28% de humedad, razón que puede afectar el proceso de extracción, así que se decide secarla y molerla para aumentar también el área de contacto entre el solvente y la materia vegetal.
- El contacto directo entre la semilla y el solvente dificultan el proceso de separación del producto, motivo por el cual las pruebas de extracción se llevan a cabo con una barrera física que no permita que se genere una mezcla entre las materias primas, pero que a la vez permita que el solvente la traspase; se emplea papel filtro.
- Durante el proceso de extracción del aceite de semilla de mango a nivel laboratorio se compararon tres técnicas: hidrodestilación asistida por microondas, extracción Soxhlet y arrastre por vapor, se tiene como resultado los rendimientos con etanol de 0,81%, 13% y 14,5% respectivamente, además facilidades operacionales y buenas características organolépticas del aceite extraído por medio de las dos últimas metodologías. Se hace un análisis económico simple del costo que requieren las últimas extracciones, se obtiene que para la extracción por Soxhlet se gasta por día \$29.851,823 y para la extracción por arrastre de vapor \$29.428,54 y se concluye que la que presenta más ventajas con respecto a las demás es la metodología de arrastre por vapor, ya que requiere menos tiempo de operación y eso representa menos gasto energético.
- Por medio del análisis de varianza se obtiene que el solvente utilizado no es una variable determinante en la selección del mejor proceso. Sin embargo se hace un análisis comparativo y cualitativo de los aceites extraídos con acetona y etanol, concluyendo que el que mejores características presenta es el extraído con etanol, además representa menos gastos operacionales y menor contaminación.
- Se modificó el montaje de la metodología escogida (arrastre por vapor), agregándole un reflujo, el cual generaba una extracción más continuada del aceite.
- El aceite obtenido tenía alta presencia de solvente según análisis organolépticos realizados por diferentes personas, lo cual hizo que éste no tuviera un olor muy agradable.
- El aceite de semilla de mango obtenido está dentro de los rangos normales estipulados dentro de Normas NTC para aceites y grasas de origen animal y vegetal en cuanto a su densidad (0,922 g/mL), punto de fusión (-3.4 °C), pH (4.84), %de ácidos grasos (1,328%), índice de yodo (24,744 I₂/100g de grasa) e índice de saponificación (196,35 mg de KOH/g grasa). Mientras que no

cumplió con los índices de humedad (1,878%) y peróxidos (16,352 meq.xígeno peróxido/kg), índices que indican la cantidad de impurezas presentes y además la rancidez oxidativa; factores que pueden estar relacionados a la presencia de solvente al momento de la caracterización.

- En escalamiento a nivel industrial se utiliza un horno deshidratador, un molino de martillos, un extractor por arrastre de vapor, un chiller para enfriamiento y un filtro de bolsas.
- El escalamiento a nivel industrial es poco viable debido a los altos costos de importación y adquisición de los equipos. El aceite tiene un costo muy bajo en estado crudo, con ganancias al mes de \$3'472.000 y no alcanza para cubrir los gastos mensuales de \$34'245.514,36.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar la extracción del aceite esencial de semilla de mango cambiando las variables a analizar, teniendo en cuenta mecanismos de extracción diversos (pueden ser mecánicos para evitar problemas con la permanencia de solventes en la muestra), solventes diferentes a los utilizados, tiempo de permanencia en la extracción y temperaturas diferentes de operación.
- Realizar estudios de refinación del aceite de semilla de mango a nivel laboratorio, procesos los cuales podrían aumentar la calidad y el atractivo industrial del aceite.
- Evaluar la incidencia de la variedad de mango en el proceso de extracción y la estacionalidad de la cosecha, en los resultados.
- Aplicar al aceite extraído las pruebas cromatográficas, pues estas permitirán una caracterización más cercana del producto extraído y conforme al resultado se podrá entender las aplicaciones industriales del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

Alibaba. Air Cooled Chiller. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/XC-05ACI-Good-Reputation-High-Performance_60589201557.html?spm=a2700.7724838.2017115.43.14622063fjzm3H

Alibaba. Bag Filters. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/All-Types-Bag-Filters-Factory_60617080226.html?spm=a2700.7724838.2017115.136.14622063fjzm3H

Asohofrucol Corpoica. Modelo Tecnológico Para El Cultivo De Mango En El Valle Del Alto Magdalena En El Departamento Del Tolima. [En línea]. Bogotá, D.C. [Consultado el Septiembre/212017]. Disponible en: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf

ALBARRACÍN MONTOYA, gloria cristina y GALLO PALMA, sonia giovanna. Comparación De Dos Métodos De Extracción De Aceite Esencial Utilizando Piper Aduncum (Cordoncillo) Procedente De La Zona Cafetera. SEDE MANIZALES.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2003.

Asociación de Productores y Exportadores de Mango de la Zona Libre de Mosca de Fruta. [En línea]. [Consultado el Octubre2017]. Disponible en: <http://www.mangoz.org.mx/index.php>

AGRONET,MinAgricultura. ESTADISTICAS, Agrícola. [En línea]. [Consultado el Octubre2017]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx#>

AYALA RAMIREZ , maria jimena. Evaluación De La Calidad Del Aceite De Mezclas Vegetales Utilizado En Doce Frituras Sucesivas Empleado Para Freír Plátano Hartón Verde. Bogotá, D. C.: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, 2011.

AVANCES EN LA CARACTERIZACIÓN, CONSERVACIÓN Y PROCESAMIENTO DEL MANGO (MANGIFERA INDICA L.) EN COLOMBIA. Espinal. vol. 2,

Alexander Von Humboldt. [En línea]. [Consultado el Noviembre2017]. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/biocomercio>

Bibliotecas SENA. Introducción a La Industria De Los Aceites Esenciales De Plantas Medicinales y Aromaticas. [En línea]. [Consultado el 5 Septiembre2017]. Disponible en: http://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/1144/1/ACEITES_ESENCIALES_EXTRAIDOS_DE_PLANTAS_MEDICINALES_Y_AROMATICAS.pdf

CHAPARRO ACUÑA, s. p., LARA SANDOVAL, a. SANDOVAL AMADORA, s. j. SOSA SUARIQUEA, j. j. MARTÍNEZ ZAMBRANO, y GIL GONZÁLEZ, j. h.

Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). vol. 6, no. 1, p. 67-75

CERPA CHÁVEZ, Manuel Guillermo. Hidrodestilación De Aceites Esenciales: Modelado y Caracterización. Valladolid.: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, 2007.

CONTRERAS PUENTES, Escarleth del Carmen. y RUIZ PÉREZ, Juan Diego. ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN PARA EL ACEITE ESENCIAL PRESENTE EN LA CASCARA DE POMELO (*Citrus Maxima*). Cartagena de indias.: Universidad de Cartagena, 2012.

Cromatografía De Gases. [Print(0)]:20

Destilación por arrastre con vapor [en línea]<
<http://www.iocd.unam.mx/organica/1311/1311pdf10.pdf>> [citado en 20 de Octubre de 2017].

Extractos De Usos y Virtudes De Los Aceites Esenciales De GERANIO, LAVANDA, LIMÓN, ROMERO, ROSA. [Print(0)]:18

FOSSA VILLAR , Bruno. Experiencia Exitosa De Productores De Mango En Piura - Perú. [Print(0)]:25

GUERRERO, Dante, et al. diseño Del Proceso Industrializado Del Mango En Almíbar. Peru.: Universidad de Piura, 2012.

GÓMEZ CORREA, deymmer. Determinación De Punto De Fusión y Punto De Ebullición. [Print(0)]:2009. 4

GONZALEZ VILLA, ANGELA ANDREA. Obtención De Aceites Esenciales y Extractos Etanólicos De Plantas Del Amazonas. MANIZALES.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2004

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Animal and vegetable fats and oils : Determination of peroxide value. Bogotá : ISO, 2001. (ISO 3960)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Grasas y aceites vegetales y animales : Determinación del índice de saponificación. Bogotá : ICONTEC, 1998. (NTC 335)

_____. Grasas y aceites vegetales y animales : Determinación del índice de acidez y de la acidez. Bogotá : ICONTEC, 1999. (NTC 218)

_____. Grasas y aceites vegetales y animales : Determinación del índice de yodo. Bogotá: ICONTEC, 1998. (NTC 283)

_____. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta edición. Bogotá: el instituto, 2008.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, formas y estructura, NTC 5613. Bogotá: el instituto, 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Resolución 970. Bogotá.,2010.

Instituto De Investigación De Recursos Biológicos

JIMÉNEZ DÍAZ, José A. y MORA MONTERO, Juan. El Cultivo Del Mango. 1st ed. Costa Rica: EARTH, 2003. 102 p.

LÓPEZ HERNÁNDEZ, Martha del Pilar. Evaluación Del Rendimiento De Extracción y Caracterización De La Grasa De Semilla De 20 Accesiones De Mango Del Banco De Germoplasma y Materiales Nativos. IBAGUE-TOLIMA.: UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, 2013.

López HERNÁNDEZ, Martha del Pilar.; SANDOVAL ALDANA, Angélica Piedad. y VALENCIA MONTOYA, Jorge Alberto. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA GRASA DE SEMILLA DE VEINTE CULTIVARES DE MANGO (*Mangifera indica* L.) EN COLOMBIA1. vol. 38,

MORA MONTERO, Juan; GAMBOA PORRAS, Jimmy y ELIZONDO MURILLO, Ricardo. Guía Para El Cultivo Del Mango. San Jose, Costa Rica: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, 2002. 74 p.

MARTÍNEZ M. Alejandro. Aceites Esenciales. [Print(0)]:Medellin: 2003.

MEDINA M., Gilma Beatriz. Aceites y Grasas Comestibles. [Electronic(1)]:25

Mercado Mundial Del Mango Oferta, Demanda y Proyecciones. [Electronic(1)]:2015.

MEJIA GIRALDO, I. f., MARTINEZ CORREA ,h. a., BETANCOURT GUTIERREZ, j. e. y CASTRILLON CASTAÑO, c. e.. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango como un (*Mangifera indica* L.) en la obtencion de azucares fermentables. vol. 3, no. 6,

MARFIL NAVARRO, Rocio. Parametros De Calidad y Componentes Con Interes Nutricional Del Aceite De Argan. GRANADA.: UNIVERSIDAD DE GRANADA, FACULTAD DE FARMACIA, 2008.

MORA MONTERO,Juan, GAMBOA PORRAS,Jimmy y ELIZONDO MURILLO,Ricardo. Guía Para El Cultivo Del Mango. [En línea]. San José, Costa Rica. [Consultado el Septiembre/202017]. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-mango.pdf

NÚÑEZ, Carlos Eduardo. Extracciones Con Equipo Soxhlet. [Electronic(1)]:2008. 5

Organización mundial de la salud. Norma Para Grasas y Aceites Comestibles no Regulados Por Normas Individuales. CODEX STAN 19-1981.2015.

PEREDO LUNA,H. A.; PALOU GARCIA,E. y LOPEZ MALO,A. Aceites esenciales: métodos de extracción. vol. 3, no. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, p. 24-32

PÉREZ,B., et al. EVALUACIÓN DE CERA COMESTIBLE EN MANGO “TOMMY ATKINS” DESTINADO A LA COMERCIALIZACIÓN PARA EL TURISMO PARTE I: EFECTO EN LAS CAR. vol. 7, p. 24-32

PORRAS,Oscar, et al. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ONDAS DE ULTRASONIDO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE PULPA DE MANGO (Mangifera indica L.) VARIEDAD COMÚN. vol. 20,

PÉREZ, Jonathan; TERÁN, Laura y VELA, Marta. Destilación Por Arrastre De Vapor. Eficacia Del Vapor. [Print(0)]:Barcelona: 19

Plan Institucional Cuatrienal De Investigación Ambiental 2015-2018. [Print(0)]:2015. 88

PORRAS, Oscar, et al. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ONDAS DE ULTRASONIDO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE PULPA DE MANGO (Mangifera indica L.) VARIEDAD COMÚN. vol. 20, no. 23,

PATIÑO, Luis; SAAVEDRA, Augusto y MARTÍNEZ, José. Extracción por arrastre de vapor de aceite esencial del romero.

QUIMICACCH. Saponificación [en línea]. [citado en 10 de Noviembre de 2017]

ROJAS MORALES, francy juliette y BURBANO GALINDO, fernando. Efecto De Un Pretratamiento Enzimatico En El Proceso De Obtención De Aceite De La Semilla Del Mango. Santiago de Cali.: Escuela de ingenieria de alimentos, Universidad del Valle, 2011.

RAMÍREZ MÉNDEZ,Raúl, et al. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE FRUTOS DE TRECE CULTIVARES DE MANGO (Mangifera indica L) EN EL MUNICIPIO MARA EN LA PLANICIE DE MARACAIBO. no. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal,

RIOS, Luis, et al. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ACEITE DE CARDAMOMO (Elettaria cardamomum). no. 151, p. 47-52

ROJAS, Angel y MARÍN, Luisana y OROPEZA, Yolfre. Extracción Del Aceite De Semilla De Mango Utilizando Solventes Orgánicos. EL TIGRE, ESTADO ANZOATEGUI.: MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN, 2010.

SALAMANCA,G., et al. Avances en la caracterización, conservación y procesamiento del mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. vol. 2, p. 57-64

SUMAYA MARTÍNEZ, Ma Teresa, et al. RED DE VALOR DEL MANGO Y SUS DESECHOS CON BASE EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES. vol. 30, no. Quinta Época. Año XVI,

SOSA R, Miguel Darío; RODRÍGUEZ C., Luis Felipe y BERMÚDEZ C, Lilia teresa. Competitividad del sistema de producción de mango 'Tommy Atkins' en Cundinamarca (La Mesa, Anapoima y Tocaima). vol. 5, no. 1, p. 20-33

SALDÍVAR-IGLESIAS, Pedro. Cultivo De Mango (*Mangifera Indica* L.) [Print(0)]: Campus Universitario El Cerrillo: 2017. 79

SERRANO GÓMORA, Lizbeth. Desarrollan sustituto de cacao con semilla de mango.

TAPIA SANTOS, Magaly, BEATRIZ PÉREZ Armendáriz*, CAVAZOS ARROYO, Judith, MAYETT MORENO, Yésica. OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO MANILA (*Mangifera indica* L.) COMO UNA ALTERNATIVA PARA APROVECHAR SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN REGIONES TROPICALES. vol. 32,

Tema 7. Aceites Esenciales. [Electronic(1)]:10

TORO ZAPATA, Natalia y SUÁREZ OSORIO, Liseth. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE *Vitis Labrusca* L. (UVA ISABELLA) Y EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE. PEREIRA.: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2012.

TORRENEGRA, Miladys E., et al. Comparación de la Hidro-destilación Asistida por Radiación de Microondas (MWHD) con Hidro-destilación Convencional (HD) en la Extracción de Aceite Esencial de *Minthostachys mollis*. vol. 26, no. 1,

Universidad central de Venezuela. Estandarización De Disoluciones Valorantes. [Print(0)]. [Consultado el Noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/lfqf/archivos/estandarizacion.pdf>

WALL-MEDRANO, Abraham, et al. El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. vol. 1, p. 67-75

WALL, Abraham, et al. EL MANGO: ASPECTOS AGROINDUSTRIALES, VALOR NUTRICIONAL/FUNCIONAL Y EFECTOS EN LA SALUD. vol. 1, p. 67-75

WIKIVERSIDAD. Extracción en fase sólida [en línea]. <http://es.wikiversity.org/wiki/Extracci%C3%B3n_en_fase_s%C3%B3lida> [citado en 20 de Octubre de 2017

ANEXOS

ANEXO A
SELECCIÓN DE LOS SOLVENTES PARA LA EXPERIMENTACIÓN, MATRIZ DE COPARACIÓN

Solvente	Fórmula química	Punto ebullición (°C)	Punto inflamación (°C)	Costo (COP/gal)	Riesgo
Etanol	C ₂ H ₅ OH	78	17	\$4.976	<p>Si se presenta ingesta de más de 10,47 mg/kg podría presentarse un cuadro de náusea y vómito. Por inhalación podría irritar las mucosas y si se expone a contacto cutáneo directo prolongadamente existe el riesgo de contraer dermatitis debido a las propiedades desgastantes del producto. En contacto con los ojos puede producir enrojecimiento, sensación de quemazón y hasta ceguera.</p> <p>Aunque su principal peligro es su alta inflamabilidad.⁴⁹</p>
					<p>Sustancia altamente inflamable (en estado líquido o vapor), provoca irritación ocular grave y adicionalmente somnolencia o vértigo. Después de</p>

⁴⁹ Ficha de seguridad del Etanol. Merck Millipore.pdf

Acetona	CH_3COCH_3	56.2	<-20	\$403.903	exposición repetida, puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel. Es necesario almacenar el producto en un recipiente cerrado herméticamente y en un lugar bien ventilado. ⁵⁰
Butanol	$(\text{CH}_3)_3\text{COH}$	81- 83	14	\$734.369	Es necesario mantenerlo alejado de calor directo o superficies calientes, así como de chispas, llamas abiertas o cualquier fuente de ignición. Requiere ser almacenado en un lugar fresco y bien ventilado. Sustancia altamente irritante, puede causar parálisis respiratoria, somnolencia, vértigo, narcosis, náusea, vómitos y efectos sobre el sistema nervioso central. ⁵¹
Ácido acético	CH_3COOH	118	40	\$389.897	Es una sustancia inflamable, corrosiva y puede ser nociva si se absorbe a través de la piel. Causa severa irritación y hasta quemaduras de piel. Si se inhala, generará irritación severa en la nariz y garganta y vías respiratorias. Si se ingiere causaría quemaduras e inflamación de boca, abdomen y demás partes del tracto

⁵⁰ Ficha de seguridad Acetona. Merck Millipore.pdf

⁵¹ Hoja de seguridad de la Acetona. Merck Millipore.pdf

					digestivo. Puede resultar en vómito con sangre y daño en los riñones. Evitar fuentes de ignición y calor. ⁵²
Éter etílico	C ₄ H ₁₀ O	34,6	-45	\$271.035	Es un líquido muy volátil e inflamable, forma peróxidos explosivos en presencia de aire. Debido a lo bajo de su punto de autoignición puede generar electricidad estática y generar incendios o explosión. Se considera medianamente tóxico, podría causar síntomas de narcosis y anestesia, vómitos, dolor de cabeza y pérdida de conciencia. ⁵³
Éter de petróleo	N/A	40-80	<-30	\$552.669	Mezcla de diferentes hidrocarburos, líquido y vapores extremadamente inflamables. Podría llegar a ser mortal en caso de ingestión o penetración al organismo de un ser humano por vía respiratoria. También provoca irritación cutánea, en baja cantidad puede provocar somnolencia y vértigo y se sospecha que perjudica la fertilidad y provocar daños severos en órganos del sistema nervioso central. ⁵⁴

⁵² Hoja de seguridad del Ácido Acético. Pontificia Universidad Javeriana.pdf

⁵³ Hoja de seguridad del Éter Etílico. Merck Millipore.pdf

⁵⁴ Hoja de seguridad del Éter de Petróleo. Merck Millipore.pdf

Matriz de comparación

Compuesto	Riesgo a la salud	Inflamabilidad	Reactividad	Corrosivo	Total
Etanol	0	3	0	NO	3
Acetona	1	3	0	NO	4
Butanol	1	3	0	SI	4
Ácido acético	3	2	0	SI	5
Éter etílico	1	4	0	NO	5
Éter de petróleo	1	4	0	NO	5

**ANEXO B.
DATOS DE MASA DE LA CÁSCARA DE LA SEMILLA DE MANGO Y
PORCENTAJE**

Pepa No.	Masa de pepa	Masa semilla	Masa de Endocarpio	% Semilla	% Endocarpio
1	11,098	8,467	2,631	76,293	23,707
2	12,342	10,468	1,874	84,816	15,184
3	12,987	11,478	1,509	88,381	11,619
4	7,543	5,024	2,519	66,605	33,395
5	9,012	7,392	1,620	82,024	17,976
6	12,008	10,026	1,982	83,494	16,506
7	11,342	9,180	2,162	80,938	19,062
8	12,343	10,210	2,133	82,719	17,281
9	12,876	10,770	2,106	83,644	16,356
10	11,765	9,990	1,775	84,913	15,087
11	11,432	9,300	2,132	81,351	18,649
12	11,091	8,543	2,548	77,026	22,974
13	9,543	7,555	1,988	79,164	20,836
14	10,453	8,345	2,108	79,834	20,166
15	9,876	7,854	2,022	79,526	20,474
16	12,435	10,664	1,771	85,760	14,240
17	13,432	11,343	2,089	84,448	15,552
18	11,432	9,345	2,087	81,744	18,256
19	12,439	10,554	1,885	84,846	15,154
20	10,753	8,975	1,778	83,465	16,535
Promedio	11,310	9,274	2,036	81,550	18,450

ANEXO C
DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES PROMEDIO DE LAS SEMILLAS DE
MANGO

Dimensiones de la semilla de mango			
No. Semilla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Grosor (cm)
1	2,246	4,405	1,102
2	2,507	4,861	1,224
3	3,424	5,338	0,982
4	2,446	4,054	0,865
5	2,628	4,473	1,047
6	2,925	4,729	1,163
7	2,343	4,720	1,095
8	2,427	3,823	1,406
9	2,698	4,616	1,184
10	3,094	4,995	1,034
11	2,543	4,602	1,110
12	2,548	3,987	0,985
13	3,012	4,452	1,256
14	2,987	4,662	1,021
15	2,845	5,011	0,986
16	2,644	4,857	0,941
17	3,545	4,269	1,245
18	3,365	4,754	1,154
19	3,451	4,658	1,326
20	2,897	4,741	1,045
Promedio	2,829	4,600	1,109

**ANEXO D
RESULTADOS EXTRACCIÓN DEL ACEITE**

Arrastre por vapor				
Repetición	tipo de solvente	Cantidad de la muestra (g)	Peso del extracto (g)	Rendimiento de la extracción (%p/p)
1		50	7,8094	15,6188
2	acetona	50	6,0873	12,1746
3		50	6,9013	13,8026
1		50	5,3035	10,607
2	Etanol	50	6,7704	13,5408
3		50	9,735	19,47
Hidrodestilación				
1		50	0,1577	0,3154
2	acetona	50	0,2611	0,5222
3		50	0,1903	0,3806
1	Etanol	50	0,3976	0,7952
2		50	0,4576	0,9152
3		50	0,3683	0,7366
Extracción con solventes orgánicos, Soxhlet				
1		50	4,8996	9,7992
2	acetona	50	5,5336	11,0672
3		50	7,0694	14,1388
1		50	5,6964	11,3928
2	Etanol	50	7,7766	15,5532
3		50	6,0354	12,0708

Cálculos:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso aceite extraído}}{\text{Peso muestra de semilla}} * 100$$

Ejemplo del cálculo del rendimiento de la extracción Soxhlet con etanol, repetición No.1.

$$\text{Rendimiento} = \frac{5,6964 \text{ g}}{50 \text{ g}} * 100 = 11,39 \%$$

ANEXO E
FORMATO DE EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL ACEITE DE
SEMILLA DE MANGO EXTRAÍDO

Muestra de aceite de semilla de mango					
Fecha prueba				Número de muestra.	
<i>Evaluación olfativa</i>			<i>Evaluación visual</i>		
Olor comparable a:				Textura	
Presencia olor a solvente	Si		No		
Encuentra el olor agradable	Sí		No	Color	
Estimación al olor					

Procedimiento aplicado a:

- Laura Cuervo, Ingeniera química
- David Fonseca, ingeniero químico
- Migdalia García, microbióloga industrial
- Ahudrey Leal, microbióloga industrial
- Oscar Acosta, químico

ANEXO F CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE

Materiales y Reactivos

- Picnómetro
- Balanza Analítica

Procedimiento

1. Pesar un picnómetro seco y vacío: M_p
2. Añadir muestra.
3. Pesar el picnómetro con la muestra: M_m .
4. Hallar el peso de la muestra: $M_1 = M_m - M_p$
5. Pesar picnómetro lleno de agua destilada= M_2
6. Pesar picnómetro con agua destilada, aceite y agua destilada: M_3

Cálculos

1. $Densidad = \rho = \frac{m}{V}$
2. $V = \frac{M_1 + M_2 - M_3}{d}$; donde d= densidad del agua= 1g/ml
3. $\rho = \frac{M_1}{M_1 + M_2 - M_3}$

Resultados

Densidad						
Repetición	M_p (g)	M_m (g)	M_1 (g)	M_2 (g)	M_3 (g)	Densidad (g/mL)
1	24,29	24,65	0,36	49,92	49,89	0,923
2	24,29	24,66	0,37	49,94	49,91	0,925
3	24,29	24,63	0,34	49,92	49,89	0,919
Promedio						0,922

ANEXO G PUNTO DE FUSIÓN

Materiales y Reactivos

- Muestra aceite
- Tubos capilares 0.1 mm
- Termómetro
- Balanza Analítica
- Vidrio reloj

Procedimiento

1. En un tubo capilar colocar la muestra de aceite y sellar sus dos extremos para que no se riegue su contenido.
2. Medir la temperatura del aceite líquido.
3. Llevar a refrigeración para que se solidifique la muestra de aceite.
4. Con un resorte unir el tubo capilar a un termómetro.
5. Poner en baño de calentamiento regulado y anotar la temperatura a la cual la columna se vuelve líquida.

Resultados

Ensayo	Tiempo de congelamiento (min)	Temperatura de fusión (°C)
1	40	15
2	45	14,5
3	50	15
4	55	14,9
Punto de fusión promedio		14,85

ANEXO H Índice de Acidez

Materiales y Reactivos

- Erlenmeyer 250
- Aceite semilla de mango
- Pipeta de 5 mL
- Etanol
- Fenolftaleina
- NaOH 0.1N
- Bureta 25 mL

Procedimiento

- 1 Tomar 5 gramos de la muestra de aceite de ahuyama pesados correctamente en una balanza analítica.
- 2 Adicionarle 50mL de etanol al 95 % y agitar suavemente
- 3 Agregar 2 o 3 gotas de fenolftaleina y agitar.
- 4 Titular la mezcla con NaOH 0,1 N hasta que cambia tu tonalidad a rosa.
- 5 Medir el Volumen de NaOH gastado en la titulación.
- 6 Realizar el cálculo.

Cálculos

$$\text{Índice de acidez} = \frac{G * N * 56,1}{W}$$

$$\% \text{Ácidos grasos libres} = \frac{G * N * 28,2}{W}$$

Dónde:

- G=Volumen requerido para titular NaOH
- N= Normalidad de NaOH (para este caso es 0,5)
- W= Peso usado de aceite de semilla de mango

Resultados.

Índice de acidez				
Repetición	Peso muestra	Gasto NaOH	índice acidez	%Ácidos grasos
1	8	0,710	2,489	1,251
2	8	0,750	2,630	1,322
3	8	0,800	2,805	1,410
Promedio				1,328

ANEXO I ÍNDICE DE YODO

Materiales y Reactivos

- Erlenmeyer 250mL
- Pipeta de 10 mL
- Pipeta de 5 mL
- Probeta 100mL
- Bureta 25 mL
- Agua Destilada
- Yoduro de Potasio 10%
- Tetracloruro de Carbono
- Cloroformo
- Tiosulfato de sodio 0,1N
- Almidón
- Reactivo Hanus

Procedimiento

1. Pesar 0,3 gramos de la muestra de aceite de semilla de mango.
2. Añadir 10mL de cloroformo y agitar
3. Añadir 25mL reactivo Hanus y mezclar suavemente.
4. Tapar y dejar reposar por 60 minutos en un lugar preferiblemente oscuro.
5. Añadir 20mL de yoduro de potasio al 10%
6. Agregar 100mL de agua destilada y mezclar.
7. Titular con Tiosulfato 0,1N hasta que su tonalidad cambia a un color amarillo.
8. Adicionar Almidón y titular hasta que su tono se vuelva transparente.
9. Calcular Volumen de Tiosulfato gastado.

Estandarización de Tiosulfato de Sodio.

Reactivos y materiales

- Disolución de tiosulfato de sodio 0.1N.
- Disolución de dicromato potásico 0.1N.
- Yoduro potásico sólido
- Ácido clorhídrico concentrado
- Disolución de almidón.

Procedimiento.

1. Preparar las soluciones anteriormente mencionadas
2. En un Erlenmeyer de 250 mL agregar 25 mL de solución de dicromato de potasio.
3. Agregarle 2 g de yoduro potásico y 8 mL de ácido clorhídrico concentrado, agitando vigorosamente.
4. Valorar ésta solución con Tiosulfato de sodio.
5. Durante la agitación añadir 2 mL de tiosulfato.
6. Agregar a él 2 mL de disolución de almidón y proseguir la valoración hasta que el color cambie a verde claro.
7. Calcular el Factor F, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{25 * 0,1}{V * 0,1}$$

Dónde, V= es el volumen gastado en la titulación

8. Calcular el factor de incertidumbre de la solución mediante la siguiente ecuación:

$$I_F = \frac{1}{V} * \sqrt{I_P^2 + I_V^2 * \left(\frac{25}{V}\right)^2}$$

Dónde:

I_P = Incertidumbre del volumen de patrón (suponer 0,05)

I_V = Incertidumbre del volumen gastado en la valoración

9. Finalmente el valor de normalidad exacta se calcula por medio de la fórmula:

$$N_{exacta} = 0,1 * F$$

Las fórmulas para calcular el índice son:

$$\text{índice yodo} = \frac{12,69 \times c \times (V_1 - V_2)}{m}$$

Dónde:

- V_1 = Volumen gastado en el blanco
- V_2 = Volumen gastado en analito (aceite semilla de mango)
- c = Concentración de tiosulfato
- m = masa de la muestra

Resultados.

Estandarización tiosulfato		
<i>Volumen (mL)</i>		<i>Concentración</i>
Dicromato	25	0,1
Gastado	2,9	0,1
F		8,628
i		0,297
N		0,862

Índice de yodo					
Repetición	M (g)	C (N)	V1 (mL)	V2 (mL)	índice yodo
1	0,56	0,86	3,3	2,1	23,442
2	0,56	0,86	3,4	2,1	25,395
3	0,56	0,86	3,3	2	25,396
	Promedio				24,744

ANEXO J ÍNDICE DE PERÓXIDO

Materiales y Reactivos

- Ácido acético glacial
- Agua
- Cloroformo
- Tiosulfato de sodio
- Almidón
- 3 Erlenmeyer de 250 mL

Procedimiento

1. Secar los Erlenmeyer durante una hora a una temperatura de 110°C y dejarlos enfriar en el desecador.
2. Preparar una disolución de ácido acético/cloroformo 60:40 %v/v
3. Preparar una disolución de yoduro potásico saturado.
4. Preparar una solución de tiosulfato de sodio 0,001 M
5. Preparar una disolución de almidón al 0,5%
6. Agregar 50 mL de disolución ácido acético/cloroformo al Erlenmeyer y tapar.
7. Añadir 0,5 mL de disolución saturada de yoduro de potasio.
8. Agitar vigorosamente durante 1 minuto, luego de este periodo de tiempo añadir 30 mL de agua destilada.
9. Valorar la mezcla con disolución de tiosulfato 0,01 M hasta que el amarillo sea tenue.
10. Añadir 0,5 mL de la disolución de almidón y continuar con la titulación hasta que el color amarillo del yodo desaparezca.
11. Registre el volumen de titulante gastado.
12. Repita el procedimiento con un blanco analítico (agua destilada)
13. Hacer los cálculos mediante la fórmula:

$$P = \frac{1000 (V - V_0) \times c}{m}$$

Dónde:

- V = volumen (mL) de tiosulfato de sodio gastado en la valoración de la muestra.
- V₀ = volumen (mL) de tiosulfato de sodio gastado en la valoración del blanco.
- c = concentración (M) de tiosulfato de sodio.
- m = masa (g) del analito.

Resultados.

Índice de peróxido					
Repetición	V (mL)	V0 (mL)	C (M)	M (g)	índice peróxido
1	1,8	0,1	0,047	5	16,037
2	1,7	0,1	0,047	5	15,094
3	2	0,1	0,047	5	17,924
Promedio					16,352

*Nota: La concentración de tiosulfato de sodio fue hallada mediante el proceso de estandarización mencionado en el Anexo I.

ANEXO K ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

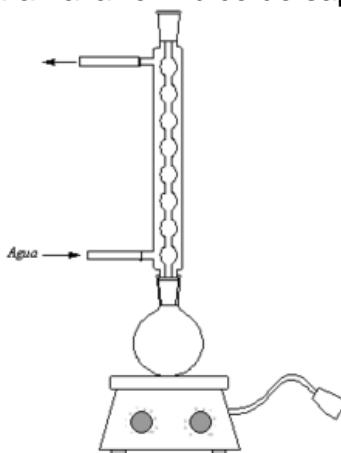
Materiales y reactivos.

- Hidróxido de potasio
- Ácido clorhídrico
- Indicador ácido-base
- Perlas de ebullición
- Balón esmerilado de 250 mL
- Condensador de reflujo
- Plancha de calentamiento
- Bureta de 50 MI
- Pipeta graduada de 25 mL
- Fenolftaleína
- Agua destilada

Procedimiento.

1. Preparar una solución de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 M con etanol al 95% (v/v)
2. Secar dos bolones en estufa a 110°C durante 1 hora y enfriar en el desecador.
3. Calentar la muestra de aceite a 10°C por encima del punto de fusión, si se encuentra turbidez, filtrar en caliente hasta que esté clara.
4. Pesar 2 g de muestra en uno de los Erlenmeyer.
5. Agregar 25 mL de disolución etanólica de hidróxido de potasio y perlas de ebullición.
6. Preparar el montaje.

Montaje para hallar el índice de saponificación



Fuente. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000200005

7. Someter a calentamiento hasta que alcance la ebullición.
8. Añadir mezcla caliente de 0,5 a 1 mL de disolución de fenolftaleína y titular hasta que desaparezca el color rosa del indicador.
9. Repetir la prueba con un blanco analítico (agua destilada)
10. Tomar el valor de los volúmenes requeridos para cada titulación.

11. Hacer los cálculos mediante la siguiente fórmula:

$$I_s = \frac{(V_0 - V_1) \times c \times 56,1}{m}$$

Dónde:

- V_1 = volumen (mL) de HCl gastado en la valoración del aceite.
- V_0 = volumen (mL) de HCl gastado en la valoración del blanco.
- c = concentración (M) de HCl.
- m = masa (g) de la muestra de ensayo.

Resultados

Índice de saponificación					
Repetición	V_1 (mL)	V_0 (mL)	C (M)	M (g)	índice
1	25	39	0,5	2	196,35
2	24,7	39	0,5	2	200,55
3	25,3	39	0,5	2	192,14
Promedio					196,35