

EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE
SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*)

LEIDY ANDREA REYES CASTELLANOS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

EVALUACION TECNICO-FINANCIERA DE LA OBTENCION DE ACEITE DE
SEMILLAS DE GUANABANA (*Annona muricata*)

LEIDY ANDREA REYES CASTELLANOS

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Orientador:
Nubia Liliana Becerra
Ingeniera Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

Nota de aceptación

Presidente del jurado
Ing Orlando Castiblanco Urrego

Presidente del jurado
Ing Juan Sandoval Herrera

Bogotá D.C, Agosto de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

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 al autor.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza para culminar una de las etapas más importantes de mi vida, pese al dolor y las dificultades; quien sano mis heridas y me permitió vivir experiencias invaluableles que me hicieron crecer como persona.

A mi madre, por formarme y enseñarme el valor de la familia y que el sacrificio es la muestra máxima del amor; cuya partida me enseñó a valorar a las personas y atesorar cada momento que compartimos con ellas. La persona más importante en mi vida y cuyo recuerdo me motiva a superarme día a día.

A mi familia, por su apoyo incondicional frente a uno de los procesos más dolorosos que puede experimentar una persona.

Leidy Andrea Reyes Castellanos

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Nubia Becerra, mi directora de tesis quien siempre estuvo dispuesta a apoyarme y guiarme en la realización del proyecto.

Al Ing. Iván Ramírez y el Ing. Felipe Correa por su amabilidad y buena disposición para ayudarme con la realización de la etapa de secado de las semillas, permitiéndome usar la estufa de secado del laboratorio de investigación.

Al Sr. Alberto Polonia por su amabilidad y colaboración en la prestación de la prensa hidráulica mediante la cual se realizó la extracción del aceite.

A Sigra S.A y al Ing. Andrés Sánchez, por su amabilidad y colaboración en la caracterización fisicoquímica y la composición del aceite.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. MARCO TEÓRICO	24
1.1 FAMILIA ANNONÁCEA	24
1.2 RESEÑA HISTÓRICA GUANÁBANA	24
1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA GUANÁBANA	25
1.4 MORFOLOGÍA DE LA GUANÁBANA	26
1.6 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA GUANÁBANA	27
1.7 APLICACIONES DE LA GUANÁBANA	28
1.8 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES A PARTIR DE SEMILLASOLEAGINOSAS	29
1.8.1 Acondicionamiento de la semilla	29
1.8.2 Método de extracción mecánico	30
1.8.3 Métodos de extracción químicos	31
1.8 EXTRACCIÓN A NIVEL INDUSTRIAL	34
1.9 CARACTERIZACIÓN DE SEMILLA Y ACEITES VEGETALES	36
1.10.1 Determinación propiedades físicas de la semilla	36
1.10.1.1 Tamaño de partícula	37
1.10.1.2 Esfericidad	37
1.10.1.3 Área superficial	37
1.10.1.4 Densidad	37
1.10.1.5 Densidad aparente aireada	37
1.10.1.6 Densidad aparente empacada	38
1.10.1.7 Compresibilidad	38
1.10.1.8 Porosidad	38
1.10.1.9 Factor de forma	38
1.10.1.10 Ángulo de reposo	38
1.10.2 Análisis proximal de la semilla	39
1.10.2.1 Cenizas	39
1.10.2.2 Extracto etéreo	39
1.10.2.3 Humedad	40

1.10.3	Análisis fisicoquímicos del aceite	41
1.10.3.1	Índice de acidez	41
1.10.3.2	Índice de peróxidos	41
1.10.3.3	Índice de saponificación	41
1.10.3.4	Índice de yodo	41
1.10.4	Perfil de ácidos grasos	42
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA Y SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN	43
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA	43
2.1.1	Determinación propiedades físicas	43
2.1.1.1	Tamaño de partícula	44
2.1.1.2	Esfericidad	46
2.1.1.3	Área superficial	47
2.1.1.4	Densidad	47
2.1.1.5	Densidad aparente aireada y empacada	48
2.1.1.6	Compresibilidad	49
2.1.1.7	Porosidad	49
2.1.1.8	Factor de forma	50
2.1.1.9	Ángulo de reposo	51
2.1.2	Análisis proximal	51
2.1.2.1	Humedad	53
2.1.2.2	Cenizas	54
2.2	SELECCIÓN MÉTODO DE EXTRACCIÓN	56
3.	EXTRACCIÓN DEL ACEITE	62
3.1	SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN	62
3.2	EXTRACCIÓN DEL ACEITE A NIVEL LABORATORIO	63
3.2.1	Recolección de semillas de guanábana	63
3.2.2	Limpieza de la semilla	64
3.2.3	Secado de la semilla	64
3.2.4	Selección de las semillas	65
3.2.5	Descascarillado de la semilla	65

3.2.6 Extracción del aceite de la almendra	66
3.2.7 Purificación del aceite	69
3.3 BALANCES DE MATERIA POR TRATAMIENTO	70
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE	71
3.4.1 Análisis fisicoquímicos	71
3.4.2 Perfil de ácidos grasos	73
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	78
3.6 DISEÑO CONCEPTUAL PROCESO DE EXTRACCIÓN	78
3.6.1 Diagrama de bloques	79
3.6.2 Capacidad instalada.	79
3.6.3 Diagramas de flujo de proceso	80
3.6.4 Selección de equipos	83
4. COSTOS DEL PROCESO	88
5. CONCLUSIONES	92
6. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFIA	94
ANEXOS	104

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Producción de guanábana por departamento.	27
Tabla 2. Factores de forma de partículas.	38
Tabla 3. Consolidado propiedades físicas de la semilla de guanábana.	43
Tabla 4. Consolidación resultados análisis proximal reportados en otras investigaciones.	52
Tabla 5. Investigaciones basadas en la extracción de aceite de guanábana y su caracterización.	58
Tabla 6. Composición proximal de algunas partes de la guanábana.	63
Tabla 7. Diseño de experimento.	63
Tabla 8. Proporción promedio almendra-cáscara.	66
Tabla 9. Rendimientos promedio por tratamiento.	68
Tabla 10. Resultados extracción por prensado en frío semillas de guanábana.	70
Tabla 11. Análisis fisicoquímicos del aceite reportados en otras investigaciones.	71
Tabla 12. Composición de ácidos grasos reportados en otras investigaciones.	74
Tabla 13. Composición ácidos grasos aceite de guanábana.	74
Tabla 14. ANOVA para la extracción de aceite de guanábana.	78
Tabla 15. Producción nacional de guanábana 2019-1.	80
Tabla 16. Generación diaria semilla de guanábana 2019-1.	80
Tabla 17. Programa de producción planta extracción aceite de guanábana.	81
Tabla 18. Cotización equipos de lavado.	83
Tabla 19. Cotización equipos de secado.	84
Tabla 20. Cotización equipos de selección.	85
Tabla 21. Cotización bolsas herméticas.	85
Tabla 22. Cotización descascarilladoras.	86
Tabla 23. Cotización prensas para aceites vegetales.	87
Tabla 24. Costos de adquisición de equipos planta extracción de aceite de guanábana.	88
Tabla 25. Costo de energía asociado al consumo de energía por equipo.	89
Tabla 26. Costos mensuales de operación planta piloto extracción de aceite de guanábana.	90
Tabla 27. Proyección ingresos por ventas.	90

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Extracción de aceite de palmiste por prensado en frío.	31
Ilustración 2. Esquema industrial de extracción por arrastre de vapor.	32
Ilustración 3. Esquema de una planta de extracción de aceite con solventes de <i>Jatropha curcas</i> .	33
Ilustración 4. Diagrama de proceso extracción con CO ₂ supercrítico.	34
Ilustración 5. Extracción de semillas oleaginosas combinando prensado y extracción por solvente.	35
Ilustración 6. Esquema de extracción soxhlet.	40
Ilustración 7. Dimensiones de la semilla de guanábana.	45
Ilustración 8. Pesaje de muestra para determinación de humedad.	53
Ilustración 9. Enfriamiento de muestras en desecador.	53
Ilustración 10. Muestras para la determinación de cenizas.	55
Ilustración 11. Cenizas de las semillas de guanábana.	56
Ilustración 12. Secado de semillas en estufa.	64
Ilustración 13. Semillas aptas y no aptas para la extracción del aceite.	65
Ilustración 14. Cáscara y almendra de la semilla de guanábana.	66
Ilustración 15. Prensa hidráulica para extracción del aceite.	67
Ilustración 16. Productos del prensado para los tratamientos A1B1 y A1B2.	67
Ilustración 17. Productos del prensado para los tratamientos A2B1 y A2B2.	68
Ilustración 18. Aceite de guanábana filtrado.	69
Ilustración 19. Diagrama de bloque extracción de aceite de guanábana	79
Ilustración 20. Diagrama de flujo extracción aceite de guanábana.	82

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la guanábana	25
Cuadro 2. Composición química de la guanábana.	26
Cuadro 3. Métodos más usados para la determinación de humedad.	52
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los principales métodos de extracción	57

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Porcentaje de humedad promedio removido por tratamiento.	65

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Tamaño de partícula	44
Ecuación 2. Diámetro aritmético	45
Ecuación 3. Diámetro geométrico	45
Ecuación 4. Diámetro cuadrado	46
Ecuación 5. Diámetro promedio	46
Ecuación 6. Esfericidad de partícula	46
Ecuación 7. Área superficial de partícula	47
Ecuación 8. Densidad de partícula	47
Ecuación 9. Densidad aparente aireada	48
Ecuación 10. Densidad aparente empacada	48
Ecuación 11. Porcentaje de compresibilidad	49
Ecuación 12. Porosidad	49
Ecuación 13. Factor de forma	50
Ecuación 14. Volumen de partícula	50
Ecuación 15. Masa de partícula	50
Ecuación 16. Ángulo de reposo estático	51
Ecuación 17. Porcentaje de humedad	54
Ecuación 18. Porcentaje de cenizas	56
Ecuación 19. Rendimiento general de proceso.	68

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización de las semillas de guanábana	105
Anexo B. Requerimientos de los equipos	110
Anexo C. Balances de materia por tratamiento	112
Anexo D. Cálculos análisis estadístico	120
Anexo E. Ficha técnica Báscula de piso Zingal	122
Anexo F. Ficha técnica Tanque de lavado manual	123
Anexo G. Ficha técnica Oreadora secadora AS-10	124
Anexo H. Ficha técnica Seleccionadora gravimétrica IMSA-3	125
Anexo I. Ficha técnica Descascarilladora de cacao Desc-100	126
Anexo J. Ficha técnica Prensa LIBC 3	127
Anexo K. Ficha técnica Filtro para aceites LBC. 10 PLUS	128

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

FSC CO₂: Dióxido de carbono supercrítico

Da: Diámetro aritmético (cm)

Dg: Diámetro geométrico (cm)

Dc: Diámetro cuadrado (cm)

Dp: Diámetro promedio (cm)

a: Largo (cm)

b: Ancho (cm)

c: Espesor (cm)

Φ : Esfericidad

S: Área superficial (cm²)

ρ : Densidad (g/mL)

$\rho_{APA_{air}}$: Densidad aparente aireada (g/mL)

$\rho_{APA_{emp}}$: Densidad aparente empacada (g/mL)

V_{inicial}: volumen inicial (mL)

V_p: Volumen de partícula (mL)

V_{final}: Volumen luego del desplazamiento (mL)

ϵ : Porosidad (%)

λ : Factor de forma

ρ_b = Densidad aparente (g/mL)

ρ_t = Densidad real (g/mL)

θ : Angulo de reposo

H: Altura del montículo sobre la superficie (cm)

D: Diámetro de la base del montículo (cm)

Pi: Peso inicial semillas frescas (g)

Pf: Peso final semillas secas (g)

Pss: Peso semillas secas (g)

Psc: Peso semillas calcinadas (g)

A1B1: Tratamiento térmico 50°C por 8 h

A1B2: Tratamiento térmico 50°C por 12 h

A2B1: Tratamiento térmico 70°C por 8 h

A2B2: Tratamiento térmico 70°C por 12 h

A1B1 (R): Replica tratamiento térmico 50°C por 8 h

A1B2 (R): Replica tratamiento térmico 50°C por 12 h

A2B1 (R): Replica tratamiento térmico 70°C por 8 h

A2B2 (R): Replica tratamiento térmico 70°C por 12 h

E_G: Rendimiento del proceso

M_{fo}: Masa aceite filtrado

M_{sd}: Masa semillas + impureza

AG: Ácidos grasos

GL: Grados de libertad

Cant: Cantidad de equipos

Und: Unidad

GLOSARIO

ACEITES PRENSADOS EN FRÍO: estos se obtienen por métodos mecánicos, sin la aplicación de calor. Deben haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación.¹

ACEITES VEGETALES: son compuestos orgánicos que se obtienen a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía, están formados principalmente por triglicéridos, diglicéridos, ácidos grasos libres y otros constituyentes minoritarios como tocoferoles y esteroides.²

ACEITES VÍRGENES: se obtienen, sin modificar el aceite, por procedimientos mecánicos y por aplicación de calor. Deben haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación.³

CUARTEO: es una técnica de muestreo que consiste en dividir la muestra en 4 partes y tomando dos partes opuestas, esto ayuda a que la muestra sea representativa.⁴

RANCIDEZ: se define como la descomposición del aceite por la activación de radicales libres y oxidación e hidrólisis por presencia de agua o por microorganismos.⁵

¹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Norma para aceites vegetales especificados. CXS 210-1999 [en línea]. 2019. p. 3. [Consultado: 14 de julio de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS_210s.pdf.

² CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 84. [Consultado: 10 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135.

³ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Op. cit., p. 3.

⁴ REYES SANCHEZ, Nadir y MENDIETA A., Bryan. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS [en línea]. Managua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de ciencia animal. Departamento de sistemas integrales de producción animal. 2000. p. 10-11. [Consultado: 2 de julio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3125/>.

⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 2154 (8, agosto, 2012). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá, D.C, 2012. p. 10. [Consultado: 14 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minsaludps_2154_2012.htm.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar el análisis técnico financiero para la obtención de aceite a partir de la semilla de guanábana (*Annona muricata*) para esto se determinaron las propiedades físicas (tamaño de partícula, densidad, densidad aparente aireada y empacada, compresibilidad, porosidad, factor de forma y ángulo de reposo) y el análisis proximal de las semillas, posteriormente se planteó un diseño de experimentos factorial en el cual se tomaron como variables independientes la temperatura y el tiempo de secado de las semillas durante el pretratamiento térmico, este pretratamiento es un proceso indispensable para la extracción por prensado en frío. A partir de los rendimientos arrojados por los 4 tratamientos y sus respectivas replicas se llegó a la conclusión que las condiciones de secado con mayor rendimiento de aceite frente a las demás fueron a 50°C por un periodo de 12 h.

Con base en dichas condiciones se estableció el diseño conceptual del proceso a nivel planta piloto y se determinó que los costos asociados a la adquisición y operación mensual de los equipos seleccionados ascienden a \$59.161.659 y \$859.815 respectivamente.

Palabras clave: semilla, guanábana, extracción, aceite.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out the financial technical analysis to obtain oil from the soursop seed (*Annona muricata*). For this, the physical properties (particle size, density, aerated and packed bulk density, compressibility, porosity, form factor and angle of repose) and the proximal analysis of the seeds, later a factorial design of experiments was proposed in which the temperature and the drying time of the seeds during the thermal pretreatment were taken as independent variables, this pretreatment is an indispensable process for cold pressing extraction. From the yields obtained by the 4 treatments and their respective repetitions, it was concluded that the drying conditions with the highest oil yield compared to the others were at 50 °C for a period of 12 h.

Based on these conditions, the conceptual design of the process at the pilot plant level was established and the costs associated with the acquisition and monthly operation of the selected equipments amount to \$59.161.659 and \$859.815 respectively.

Key words: seed, soursop, extraction, oil.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado, permite analizar la viabilidad técnico financiera, en lo que respecta, al proceso de aprovechamiento de la semilla de guanábana como fuente de aceite vegetal. Esto nace a raíz de que en Colombia el cultivo de guanábana es el décimo más grande, con un total de 7,440 hectáreas plantadas⁶; su continuo crecimiento de producción genera un incremento en la generación de residuos que pese a su gran potencial de aprovechamiento, actualmente representa una problemática ambiental, cuyos costos, representan una carga adicional e innecesaria para las empresas, ya que la mayoría de estas no cuentan con la capacidad instalada para realizar el debido proceso, en lo que respecta el aprovechamiento de dichos residuos quienes finalmente son dispuestos como residuos en rellenos sanitarios.

En el primer capítulo se presentan las generalidades de la guanábana al igual que los principales métodos de extracción de aceites vegetales y las pruebas fisicoquímicas realizadas a estos.

En el segundo capítulo, se presenta la información obtenida a partir de la caracterización de las semillas de guanábana con respecto a sus propiedades físicas y el análisis proximal. A partir de estos y con la bibliografía reportada se plantearon los factores para la selección del método de extracción.

En el tercer capítulo, se planteó el diseño de experimentos en la etapa de pretratamiento térmico de las semillas de guanábana tomando como variables la temperatura y el tiempo de secado. A partir de este se describe el procedimiento experimental para la obtención del aceite a nivel laboratorio de acuerdo con el diseño experimental planteado. Con base en los rendimientos obtenidos experimentalmente, y la caracterización del aceite se seleccionaron las condiciones a las que se obtienen el máximo rendimiento y calidad para el escalamiento a nivel planta piloto. Una vez establecidas las condiciones óptimas, se realiza el dimensionamiento de la planta con base en un porcentaje de la generación total del residuo de semilla a nivel nacional. Teniendo en cuenta su costo de adquisición, los equipos se seleccionaron por catálogos comerciales.

En el último capítulo, se consolidaron los costos de adquisición y se calcularon los costos de operación de los equipos seleccionados. A partir de la información de costos, las diferentes empresas que generan este residuo podrán analizar los beneficios y costos que representa el aprovechamiento del residuo en comparación a los costos que supone su disposición actual.

⁶ CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5.000 hectáreas. En: *Agronegocios* [en línea]. Colombia: LA REPUBLICA S.A.S, mayo, 2019. [Consultado: 5 de julio de 2019]. Disponible en <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876#>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnico - financieramente la obtención de aceite de semillas de guanábana (*Annona muricata*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las semillas de guanábana.
- Seleccionar el método de extracción para la obtención del aceite de semilla de guanábana.
- Realizar un diseño conceptual para la obtención del aceite de semilla de guanábana a nivel planta piloto.
- Determinar los costos de la extracción del aceite de semilla de guanábana a nivel planta piloto.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la recopilación de la información referente a las generalidades de la guanábana (*Annona muricata*). A partir de esta, se evidencia el potencial de las semillas para la obtención de aceite vegetales, los cuales tienen una gran variedad de usos para las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. De igual manera, se describen los principales métodos de extracción de aceites vegetales con el fin de seleccionar el más adecuado para la semilla de guanábana.

Adicionalmente se detallan las diferentes pruebas fisicoquímicas realizadas para la caracterización de las semillas oleaginosas y los aceites vegetales. Esta última permite determinar las posibles aplicaciones industriales del aceite.

1.1 FAMILIA ANNONÁCEA

La familia presenta más de 40 géneros de dicotiledóneas; de los cuales solo *Annona*, *Rollinia deliciosa* y *Asimina triloba* producen frutos comestibles. Las *Annona* comprenden alrededor de 120 especies de clima caliente. La *Annona* de mayor desarrollo es la chirimoya (*Annona cherimola*), la siguiente en importancia es la *Annona squamosa*. En tercer lugar, se encuentra un cruce entre *A. cherimola* y *A. squamosa*; el cual tuvo gran aceptación en Australia. Finalmente se encuentra la guanábana (*Annona muricata*), la cual es muy apreciada debido a su excelente sabor y fuerte aroma.⁷

1.2 RESEÑA HISTÓRICA GUANÁBANA

El origen de la guanábana es incierto, sin embargo, varios autores atribuyen su origen en Brasil y las tierras bajas de América tropical. A su vez, Hernández de Oviedo describió este frutal en 1526 en su Historia Natural de las Indias, donde los exploradores españoles encontraron en abundancia dicho frutal en Centro y Suramérica.⁸

Esta fruta ha tenido gran acogida en muchos países como el sur de China, Australia y África. A pesar de tener una amplia distribución, no tiene una gran importancia económica. México es el país con mayor superficie cultivada de guanábana con

⁷ BARAONA, Marcía y SANCHO, Ellen. Guanábana y Macadamia. En: Fruticultura Especial: 5 [en línea]. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. 1992. 88 p. [Consultado: 5 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=w4OPt7mFaA0C&printsec=frontcover&dq=fruticultura+guanabana+y+macadamia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjzycGE8NTqAhVEZN8KHSNFBUMQ6AEwAHOECAIQAg#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9977-64-667-8

⁸ Loc. cit.

6,010.5 hectáreas superando a países como Venezuela con 2,174 Ha, Brasil con 2,000 Ha y Costa Rica con 500 Ha. Las principales plantaciones comerciales de México se encuentran en los estados de Nayarit, Sinaloa, Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Veracruz y Morelos.⁹

En Colombia, la guanábana es considerada una fruta exótica su cultivo es el décimo más grande del país con un total de 7,440 hectáreas plantadas, de las cuales 3,970 se encuentran en edad productiva; según el DANE las principales zonas de cultivo de guanábana se encuentran en los departamentos de Tolima con una producción de 2,231 ton/año, Boyacá con una producción de 1,060 ton/año, Santander con 925 ton/año, Antioquia con 609 ton/año, Huila con 595 ton/año y Valle del Cauca con 375 ton/año.¹⁰

1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA GUANÁBANA

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la guanábana

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Magnoliales
Familia	Annonaceae
Subfamilia	Annonoideae
Tribu	Annoneae
Genero	Annona
Especie	Annona muricata

Fuente: CALLE SAAVEDRA, Isrrael. LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y SU INCIDENCIA EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA BOTÁNICA DE GUANABANA (ANNONA MURICATA) EN EL VIVERO EXPERIMENTAL DE LA CANTUTA [en línea]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, 2015. p. 16.

⁹ REYES-MONTERO, J., *et al.* PRODUCCIÓN DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) EN ALTA DENSIDAD DE PLANTACIÓN, COMO ALTERNATIVA PARA PRODUCTORES CON SUPERFICIES REDUCIDAS. *Agro productividad*. 2018, vol. 11, nro. 9. p. 38.

¹⁰ CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5.000 hectáreas. En: *Agronegocios* [en línea]. Colombia: LA REPUBLICA S.A.S, mayo, 2019. [Consultado: 5 de julio de 2019]. Disponible en <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876#>

1.4 MORFOLOGÍA DE LA GUANÁBANA

El Guanábano es un arbusto pequeño que mide entre 3 – 8 metros de altura, con ramificaciones en su base. Las ramas son redondas, finamente arrugadas y ásperas de color rojizo.¹¹

Las hojas son ovaladas de color verde oscuro y miden de 5 a 15 cm de largo por 2 a 6 cm de ancho. Las flores al igual que su fruto son las más grandes en su género. El fruto es ovoide y mide entre 14 a 40 cm de largo por 12 a 18 cm de ancho, el cual es recubierto por espinas suaves, su cáscara es delgada y de color verde oscuro.¹²

En cuanto a las semillas, estas son ovaladas de color café oscuro y su cantidad en el fruto depende del tamaño y la forma de los frutos.¹³

1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA GUANÁBANA

Al ser la guanábana una fruta, presenta un bajo porcentaje de proteína y lípidos; en contraste es una excelente fuente de vitaminas y minerales entre las cuales se destacan la vitamina C, hierro, fósforo y calcio como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química de la guanábana.

Composición química de 100 g de pulpa de guanábana	
Agua	80.2 g
Prótidos	0.9 g
Lípidos	0.7 g
Glúcidos	14.1 g
Calorías	60 cal
Calcio	20 mg
Fosforo	28 mg
Hierro	0.6 mg
Vitamina A	20 U.I
Vitamina B1	0.06 mg
Vitamina B2	0.07 mg
Niacina	0.09 mg

¹¹ BARAONA y SANCHO. Op. cit., p.18.

¹² Loc. cit

¹³ BARAONA y SANCHO. Op. cit., p.19.

Cuadro 2. (Continuación)

Composición química de 100 g de pulpa de guanábana	
Vitamina C	22 mg

Fuente: ARAQUE, R: 1967. La guanábana. Venezuela, Consejo de Bienestar Rural. Serie de Cultivos N°13. 15 p. Citado por: BARAONA, Marcía y SANCHO, Ellen. Fruticultura Especial: Guanábana y Macadamia [en línea]. San José, Costa Rica: 1992. p. 40. Universidad Estatal a Distancia. 1992, 88 p. [Consultado: 5 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=w4OPt7mFaA0C&printsec=frontcover&dq=fruticultura+guanabana+y+macadamia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjzycGE8NTqAhVEZN8KH SNFBUMQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9977-64-667-8

1.6 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA GUANÁBANA

Los principales países productores de guanábana son: Bermuda, Bahamas, Cuba, República Dominicana, sur de México, Costa Rica, Puerto Rico, Colombia, Brasil, en el sur este de China, Vietnam, Australia, Nueva Zelanda; entre otros.¹⁴

En Colombia se cuenta con una gran variedad de Annonáceae cultivadas, de las cuales se destacan: *A. muricata*, *A. cherimola* y *A. blanca*. Igualmente se encuentran otras de menor importancia comercial como: *Rollinia mucosa* Bail, *A. colorada* y *A. atemoya*.¹⁵ En la tabla 1 se presenta la producción y la distribución de guanábana en Colombia, la cual se concentra en 10 departamentos.

Tabla 1. Producción de guanábana por departamento.

Departamento	Producción (ton) 2017	Producción (ton) 2018	Variación %
Tolima	9,561.00	11,309.00	18.28
Santander	10,540.30	10,764.60	2.12
Boyacá	7,840.10	9,978.50	27.27
Huila	3,448.20	5,643.70	63.67
Antioquia	3,532.00	3,859.00	9.25
Valle del Cauca	3,118.20	3,518.60	12.84

¹⁴ FAO. Fichas técnicas Productos frescos de frutas. 2014. p. 34. [Consultado: 3 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/bd3a44bf-b4cd-4095-9b25-36b4f73b73ba/>

¹⁵ FLÓREZ, Yesid y MARTÍNEZ, Elizabeth. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN SEMILLAS DE *Annona muricata* DE LA REGIÓN CAFETERA [en línea]. Trabajo de grado Tecnólogo químico. Pereira. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. Tecnología química, 2010. 76 p. [Consultado: 21 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1828>

Tabla 1. (Continuación)

Departamento	Producción (ton) 2017	Producción (ton) 2018	Variación %
Risaralda	2,369.40	2,369.40	0
Caldas	975	2,163.00	121.84
Meta	1,157.50	1,177.50	1.72
Cundinamarca	460.5	490.6	6.53

Fuente: elaboración propia, con base en LOPEZ, Joaquín. La guanábana nacional llegaría a 60.000 toneladas producidas al cierre de este año. En: *Agronegocios* [en línea]. Colombia: LA REPUBLICA S.A.S, marzo, 2019. [Consultado: 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-guanabana-nacional-llegaria-a-60000-toneladas-producidas-al-cierre-de-este-ano-2844095>

A partir de la tabla anterior se puede evidenciar que el cultivo de guanábana ha tenido un crecimiento considerable y conforme a la encuesta nacional agropecuaria ENA generada por el DANE en el 2017, sobre la producción de la canasta de frutas dispersos, autoconsumo y venta, según canasta total nacional, se evidencia que el 69.6% de la producción total de guanábana está destinado para autoconsumo frente a un 30.4% destinado a ventas.¹⁶

1.7 APLICACIONES DE LA GUANÁBANA

La guanábana sobresale de las demás Anonáceas gracias a su sabor, aroma y posibilidades de industrialización. Actualmente es procesada para producir néctar enlatado, jugos concentrados, helados y yogures.¹⁷

En cuanto a la medicina tradicional, los pueblos indígenas suelen emplear diferentes partes de la planta como el tallo, las hojas y semillas debido a sus propiedades antitumorales, parasitarias y antidiarreicas.¹⁸

En los últimos años el interés en la guanábana ha aumentado gracias a sus propiedades anticancerígenas atribuidas por las acetogeninas contenidas en la semilla de la misma. Igualmente estos metabolitos le otorgan un gran potencial como biopesticida.¹⁹

¹⁶ DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2017. Bogotá D.C. 2019. 31 p. [Consultado: 4 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>

¹⁷ BARAONA y SANCHO. Op. cit., p. 40.

¹⁸ SOLIS-FUENTES, J. A., *et al.* Caracterización fisicoquímica y comportamiento térmico del aceite de "almendra" de guanábana (*Annona muricata*, L). *Grasas y Aceites*. 2010, vol. 61, nro. 1. p. 58-59. ISSN 0017-3495

¹⁹ FLÓREZ y MARTÍNEZ. Op. cit., p. 3.

1.8 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES A PARTIR DE SEMILLAS OLEAGINOSAS

Existen varios métodos para la extracción de aceites esenciales entre los que se encuentra la extracción mecánica y la extracción química. Para la extracción mecánica se tienen dos tipos de prensado: continuo y discontinuo. Con respecto a la extracción química se emplea la destilación por arrastre de vapor, extracción con solventes y extracción con superfluidos. Antes de realizar la extracción por cualquiera de los métodos mencionados la materia prima debe pasar por unas etapas de acondicionamiento.

1.8.1 Acondicionamiento de la semilla. Según Bailey, se limita a: limpieza, descascarillado, trituración y tratamiento térmico. A continuación, se describe cada etapa:

Limpieza: esta etapa permite separar las semillas de objetos ajenos como piedras, tallos, objetos metálicos, entre otros. Para esto se emplean diferentes equipos como cribas planas o tambores rotatorias, estas permiten separar las estacas, tallos, hojas y demás desechos (tierra y suciedad) de las semillas y para el caso de objetos metálicos se emplean imanes electromagnéticos.²⁰

Descascarillado: según Bailey²¹, si se logra realizar un buen descascarillado eso se traduce en un máximo rendimiento del aceite considerando que la cáscara no contiene aceite y si puede afectar el rendimiento de la extracción, ya que se pierde aceite por absorción en la torta. Al igual que reduce la capacidad de la instalación.²²

Industrialmente, se emplean dos tipos de máquinas descascarilladoras: de barra y de disco. Dependiendo el tipo de semilla será necesario emplear otro tipo de equipos adicionales como en el caso del algodón y cacahuate que requiere varios combinaciones de tamizadoras de vibración y aventadores neumáticos.²³

Hay una gran variedad de máquinas alternativas que se pueden emplear para el descascarillado. Sin embargo, no es recomendable usar ciertos equipos como los molinos trituradores, ya que causan mucho daño a la semilla y se requiere de un secado extra para inhibir la actividad enzimática de las semillas dañadas durante su almacenamiento. Algunas semillas, requieren de un secado previo al descascarillado para facilitar la separación de la cáscara a la vez que permite inhibir la acción enzimática de las semillas.²⁴

Trituración: Esta consiste en disminuir el tamaño de partícula facilitando la extracción del aceite sea por método mecánico (prensado) o por solventes, ya que

²⁰ BAILEY, Alton Edward. Aceites y grasas industriales. Reverté S.A, 1961. p. 424-425. ISBN 84-291-7901-1

²¹ *Ibíd.*, p. 425.

²² *Loc. cit.*

²³ *Loc. cit.*

²⁴ BAILEY. *Op. cit.*, p. 428.

rompe las paredes celulares de la semilla facilitando el flujo del aceite fuera de esta.²⁵

Normalmente se emplean molinos de martillo, cizalla u otro tipo para las semillas de gran tamaño, mientras que el de rodillos se emplea para obtener escamas finas. Este último es más económico debido a los bajos costos de operación en comparación a los de otro tipo. Es recomendable emplear el molino de rodillos sea para la extracción por prensado o por solventes.²⁶

Tratamiento térmico: Este se conoce como “cocción” y tiene como finalidad coagular las proteínas de las paredes de las células oleaginosas y hacerlas permeables al paso del aceite. Así mismo, el flujo del aceite a través de la semilla mejora al disminuir la viscosidad del aceite por el incremento de la temperatura.²⁷

1.8.2 Método de extracción mecánico. Este método comprende la extracción por prensado, el cual puede ser continuo o discontinuo. El prensado discontinuo es el más usado para la extracción de aceites para consumo humano.²⁸ Existen dos tipos de prensa discontinua: abierta y cerrada.

- Prensa discontinua tipo abierto

Las semillas se mantienen en filtros de tela, la prensa tiene 4 columnas verticales que sostienen 4 placas horizontales espaciadas una de la otra por 0.075 m a 0.125 m; al final existe una placa más dura y esta tiene un vástago que al accionarlo, deja caer las placas generando una compresión en las semillas, causando que el aceite contenido en las semillas fluya de las mismas y caiga a una bandeja.²⁹

- Prensa discontinua tipo cerrado

En este tipo de prensa se mantienen las semillas en una jaula, estas se componen de una serie de barras o placas con ranuras muy próximas entre sí. El aceite es exprimido por un pistón que se mueve de abajo a arriba y fluye a través de los canales interiores. Estas jaulas soportan presiones hasta de 41.19 MPa.³⁰

Estas prensas alcanzan presiones mayores frente a las prensas de tipo abierto. Es ideal para semillas duras que posean gran cantidad de aceite y poca fibra como es el caso de la copra y el palmiste.³¹

²⁵ Ibid., p. 429.

²⁶ Loc. cit.

²⁷ BAILEY. Op. cit., p. 431.

²⁸ Ibid., p. 441-442.

²⁹ Ibid., p. 442.

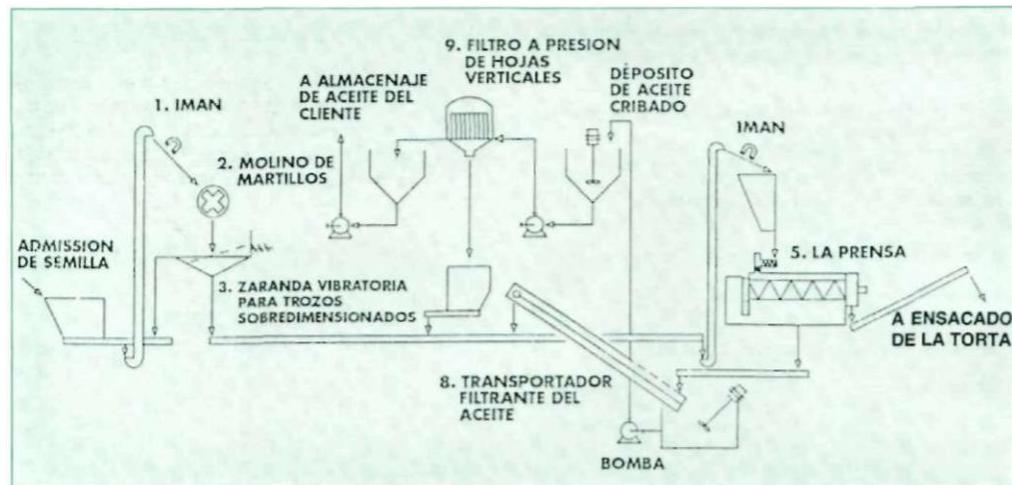
³⁰ Ibid., p. 443-444.

³¹ Loc. cit.

En cuanto al prensado continuo es el más común a nivel industrial, para este se emplean prensas *expeller* o tornillo, estas soportan altas presiones y se recomienda su uso cuando la semilla contenga entre 5 – 6% de aceite³².

Estos métodos mecánicos presentan varias ventajas frente a los métodos químicos, ya que se obtienen aceites vírgenes y son métodos sencillos en cuanto al número de equipos requeridos. Esto se puede evidenciar en la ilustración 1, donde se esquematiza el proceso de extracción del aceite de palmiste por prensado en frío en una sola etapa empleando una prensa de tornillo *Rosedowns*.

Ilustración 1. Extracción de aceite de palmiste por prensado en frío.



Fuente: CARRASCO, José. Extracción de aceite de palmiste: procesos. En: *Revista Palmas* [en línea]. 1995, vol. 16, nro. Especial. p. 134. [Consultado: 7 de julio de 2020]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/505/505>

1.8.3 Métodos de extracción químicos. Entre los métodos de extracción convencionales se encuentran: la destilación por arrastre de vapor, la extracción con solventes orgánicos y fluidos supercríticos.

- Destilación por arrastre de vapor

La destilación por arrastre de vapor consiste en vaporizar selectivamente el componente volátil de interés de una mezcla con otros compuestos no volátiles, al inyectar vapor de agua. Este vapor se condensa formando dos fases inmiscibles, al condensarse el calor latente sirve para evaporar la mezcla a destilar.³³

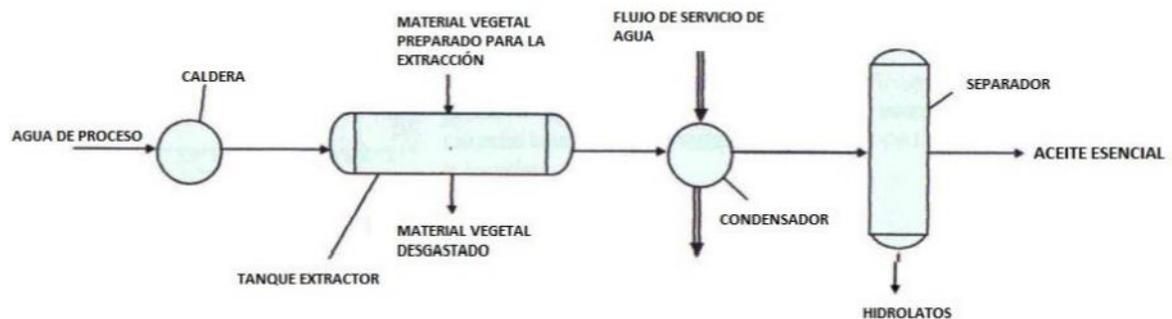
³² *Ibíd.*, p. 445-448.

³³ PEREDO - LUNA, H. A; PALOU - GARCÍA, E. y LÓPEZ - MALO, A. Aceites esenciales: métodos de extracción. En: *Temas selectos de ingeniería de alimentos* [en línea]. México: 2009, vol. 3, nro. 1. p. 26. [Consultado: 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/390909125/TSIA-3-1-Peredo-Luna-et-al-2009-pdf>

Para que se lleve a cabo se requiere que el componente volátil y al menos una impureza sean insolubles en agua, para que al condensar el producto destilado (fracción volátil) se formen dos fases facilitando la separación del producto y el agua.³⁴

Es un método sencillo en cuanto a los equipos requeridos (ilustración 2) y económico, ya que no requiere el uso de solventes costosos. Sin embargo, requiere tiempos muy prolongados y el rendimiento varía de acuerdo con el material vegetal empleado.

Ilustración 2. Esquema industrial de extracción por arrastre de vapor.



Fuente: RUIZ GALAN, Jesús. Ingeniería Básica de una Planta de Extracción de Aceite Esencial de "Mentha arvensis L." por Destilación de Arrastre con Vapor [en línea]. Trabajo fin de grado ingeniería química. Universidad de Sevilla. Departamento Ingeniería Química y Ambiental. 2019. 129 p. [Consultado: 8 de julio de 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/94165>

- Extracción con disolventes

La extracción por solvente consiste en tres etapas: preparación de la materia prima, extracción del aceite y recuperación del solvente. Para la preparación de la materia prima se requiere que la muestra sea secada y molida, ya que el agua afecta al solvente disminuyendo su rendimiento y se muele para aumentar el área superficial que estará en contacto con el solvente, mejorando el rendimiento de la extracción.³⁵

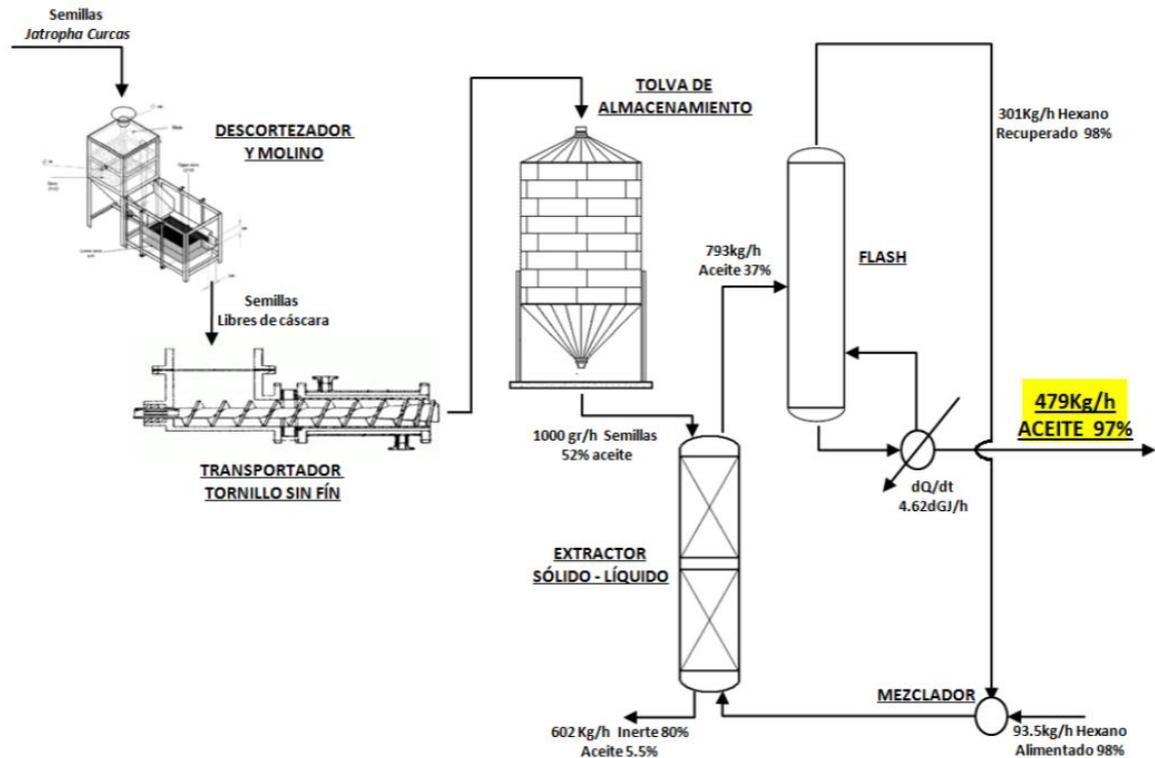
La muestra se pone en contacto con el solvente orgánico y este solubiliza el compuesto de interés, aunque, también solubiliza otras sustancias; por lo que el extracto obtenido lleva impurezas. Este aplica a nivel laboratorio, ya que a nivel industrial los costos de los solventes son altos y existe un riesgo de explosión debido a las características de algunos solventes³⁶. Además, se requiere una gran cantidad de equipos por cada etapa, en la ilustración 3 se muestra el esquema de una planta para extracción de aceite de *Jatropha curcas* por solventes.

³⁴ Loc. cit.

³⁵ PEREDO - LUNA, PALOU - GARCÍA y LÓPEZ – MALO. Op. cit., p. 27.

³⁶ Loc. cit.

Ilustración 3. Esquema de una planta de extracción de aceite con solventes de *Jatropha curcas*.



Fuente: GIRALDO Y., Hermógenes; VELÁSQUEZ J., Jorge y CUARTAS A., Paola. Extracción con solventes y purificación de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas*. En: *Investigaciones Aplicadas* [en línea]. Julio-diciembre, 2010, vol. 4, nro. 2. p. 83. [Consultado: 9 de julio de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3688108>. ISSN 2011-0413

Este método presenta inconvenientes ya que requiere periodos de tiempo largos y el extracto obtenido tiene restricciones en su uso en la industria de alimentos, cosmética y farmacéutica, ya que lleva trazas de solvente.³⁷

- Extracción por fluidos supercríticos

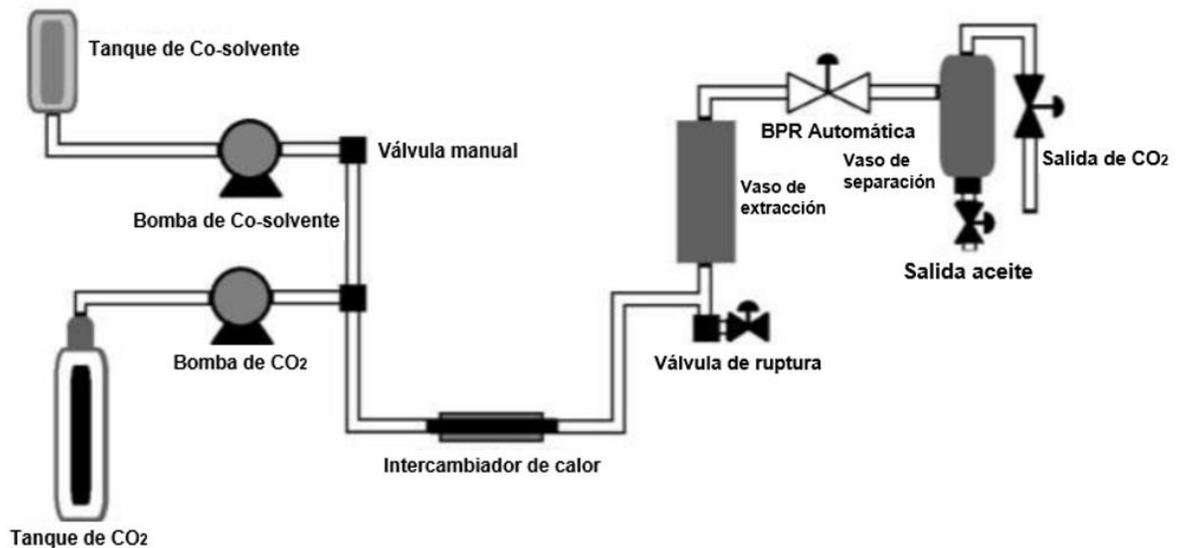
En esta operación unitaria se emplean sustancias que se encuentran por encima de sus condiciones de presión y temperatura críticas, permitiendo obtener el extracto libre de solventes. Esto se debe a la alta volatilidad de los fluidos supercríticos, y que sus propiedades de transporte (alta difusividad y baja viscosidad) se mejoran por encima de las condiciones críticas. Normalmente se emplea dióxido de carbono,

³⁷ PEREDO - LUNA, PALOU – GARCÍA y LÓPEZ - MALO. Op. cit., p. 28.

debido a su selectividad; es ideal para la extracción de aceites esenciales, pigmentos, carotenoides, antioxidantes, antimicrobianos entre otros.³⁸

La extracción por fluidos supercríticos es más rápida con respecto a la extracción con solventes orgánicos convencionales y a diferencia de esta, no requiere que la muestra sea secada, ya que el agua actúa como co-solvente en la extracción³⁹. En la ilustración 4, se presenta el diagrama de proceso para la extracción de aceite empleando CO₂ supercrítico (FSC CO₂).

Ilustración 4. Diagrama de proceso extracción con CO₂ supercrítico.



Fuente: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 39. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005.

1.8 EXTRACCIÓN A NIVEL INDUSTRIAL

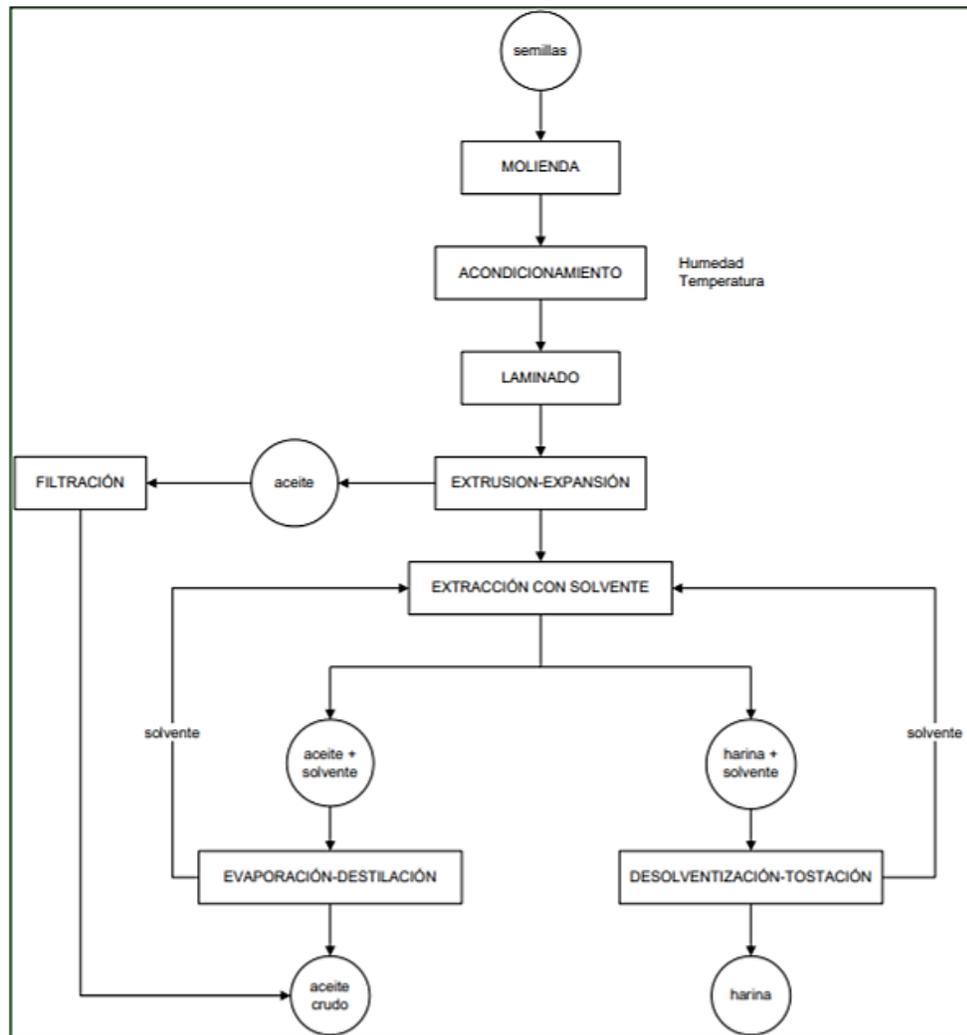
Dependiendo el tipo y la estructura de las semillas se establece el proceso de extracción, para las semillas con un porcentaje de aceite mayor a 20% convencionalmente se emplea los métodos mecánicos (prensado). A partir de este método se obtiene aceite crudo y la torta, esta última contiene una cantidad de aceite conocido como residual, según Bailey para un prensado eficaz el porcentaje de aceite residual en la torta abarca entre el 4 y 7%; mientras que para semillas con

³⁸ PEREDO - LUNA, PALOU – GARCÍA y LÓPEZ - MALO. Op. cit., p. 28

³⁹ Loc. cit.

bajo contenido de aceite el porcentaje de aceite residual se vuelve considerable (20-25%).⁴⁰ Debido a esto, en muchas ocasiones, se emplea el prensado y la extracción con solventes orgánicos con el fin de recuperar el aceite remanente contenido en la torta, como se muestra en la ilustración 5.

Ilustración 5. Extracción de semillas oleaginosas combinando prensado y extracción por solvente.



Fuente: GRASSO, Florencia Verónica. Diseño del proceso: pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna [en línea]. Tesis de doctorado en ingeniería. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química, 2013. p. 25. [Consultado: 23 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26889>

⁴⁰ BAILEY. Op. cit., p. 422.

En el caso de semillas con un porcentaje de aceite menor a 20% se suele emplear la extracción con solventes orgánicos, el más común es el hexano. Sin embargo, antes de llevar a cabo cualquier tipo de extracción, las semillas deben pasar por unas etapas de acondicionamiento con el fin de aumentar el rendimiento del proceso (véase sección 1.8). Para la extracción por solventes se recomiendan las siguientes etapas: limpieza, molienda, laminación y expansión; de manera que la transferencia de masa aumente y se mejore la eficiencia de la extracción.⁴¹

1.9 CARACTERIZACIÓN DE SEMILLA Y ACEITES VEGETALES

La caracterización de la materia prima para la extracción se divide en: determinar las propiedades físicas y el análisis proximal de la misma. La determinación de las propiedades físicas es importante en ingeniería para la adecuación y operación de maquinaria, el diseño y construcción de estructuras de almacenamiento; al igual que el montaje de sistemas de transporte.⁴² Mientras que el análisis proximal es relevante para la selección del método de extracción.

En cuanto a la caracterización del aceite es indispensable realizarla ya que según Peredo – Luna, Palou – García y López – Malo⁴³, se ha demostrado que los aceites sufren cambios en su composición de ácidos grasos de acuerdo al método de extracción que se emplee; estos cambios por mínimos que sean se logran evidenciar mediante cromatografía. Adicional a la cromatografía es necesario realizar una serie de análisis fisicoquímicos con el fin de determinar sus posibles usos industriales.

1.10.1 Determinación propiedades físicas de la semilla. Los sólidos a diferencia de los líquidos o gases presentan una mayor dificultad al momento de tratarlos debido a su gran variedad en cuanto a tamaño, forma y demás propiedades descritas a continuación.⁴⁴

⁴¹ GRASSO, Florencia Verónica. Diseño del proceso: pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna [en línea]. Tesis de doctorado en ingeniería. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química, 2013. p. 18. [Consultado: 23 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26889>.

⁴² MACHADO OSPINA, Julio Ernesto. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia, 2001. p. 59. [Consultado: 1 de mayo de 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=2DWmqb6xP3wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summy_r&cad=0#v=snippet&q&f=false

⁴³ PEREDO - LUNA, PALOU - GARCÍA y LÓPEZ – MALO. Op. cit., p. 24 - 25.

⁴⁴ MCCABE, Warren; SMITH, Julian y Harriott Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. 7th ed. México: McGrawHill, 2007. p. 1009. [Consultado: 9 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/16909707/LIBRO_operaciones_unitarias_en_ingenieria_quimica_7ma_ed

1.10.1.1 Tamaño de partícula. Este hace referencia a las dimensiones o medidas de las partículas, para partículas equidimensionales, basta con establecer su diámetro. En cuanto a partículas no equidimensionales se suele tomar la segunda dimensión de mayor magnitud para caracterizar la partícula. Para partículas gruesas, el tamaño se mide en pulgadas o milímetros, las partículas finas requieren de un tamizado y se miden en función de la abertura del tamiz y para partículas muy finas en micrómetros o nanómetros.⁴⁵

1.10.1.2 Esfericidad. Es la relación entre la superficie externa de la esfera con el mismo volumen que la partícula y la superficie de la partícula.⁴⁶ La esfericidad de una partícula puede afectar la capacidad de fluidez de la misma.

1.10.1.3 Área superficial. Esta hace referencia a la superficie total de un sólido, según De Michelis *et al*⁴⁷, el área superficial se ve modificado mediante deshidratación; ya que el agua migra desde las células atravesando las membranas y paredes celulares, para luego fluir a través de una estructura porosa hacia el medio de secado. Las partículas tienden a encogerse debido a que su tejido no puede mantener su malla estructural, cuando los espacios que contienen agua son continuamente vaciados y reemplazados por aire causando que la estructura externa colapse.

1.10.1.4 Densidad. Es la relación entre la masa y el volumen de las partículas sin tener en cuenta los poros. Según Saldarriaga *et al*⁴⁸, los métodos convencionales para determinar la densidad de partícula incluyen la determinación de la masa y volumen de una partícula, la compactación del material o el desplazamiento de fluidos.

1.10.1.5 Densidad aparente aireada. Es la relación entre la masa y el volumen de las partículas, teniendo en cuenta los espacios intersticiales generados entre si debido a la acomodación natural de las partículas.⁴⁹

⁴⁵ *Ibíd.*, p. 1012.

⁴⁶ SOLORZANO OROZCO, Alejandra. "ESTUDIO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA ESFERICIDAD DE LAS PARTICULAS EN UN LECHO FLUIDIZADO TRIFASICO" [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero químico. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería química. 2015. p. 13. [Consultado: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2503>.

⁴⁷ DE MICHELIS, Antonio, *et al.* Cambios de volumen, área superficial y factor de forma de Heywood durante la deshidratación de cerezas (*Prunus avium*). En: *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea]. 2008, vol. 28, nro. 2. p. 317. [Consultado: 13 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0101-20612008000200008&lng=en&nrm=iso. ISSN 0101-2061

⁴⁸ SALDARRIAGA, Juan F., *et al.* DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE PARTÍCULA MEDIANTE POROSIMETRIA DE MERCURIO PARA EL ESTUDIO FLUIDODINAMICO DE BIOMASA EN LECHOS MÓVILES. En: *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea]. 2014, vol. 5, nro. 2. p. 64. Consultado: 14 de junio de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4754535>. ISSN 0718-8706

⁴⁹ Private University of the North. Course Hero [sitio web]. [Consultado: 4 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p6ngt2i/o-Densidad-aparente-aireada-Esta-medida-indica-la-relaci%C3%B3n-entre-la-masa-y-el/>

1.10.1.6 Densidad aparente empacada. Es la relación entre la masa y el volumen de las partículas, sin tener en cuenta los espacios intersticiales generados entre sí; debido a la acomodación natural de las partículas. Para esto se somete a una fuerza externa como vibración o agitación con el fin de que las partículas se reorganicen rellenando los espacios intersticiales.⁵⁰

1.10.1.7 Compresibilidad. Esta se expresa como la medida en que una masa de partículas puede reducir su volumen al disminuir los espacios intersticiales que se generan entre las partículas frente a una fuerza externa como vibración o presión. Esta capacidad se expresa como un porcentaje y se calcula a partir de la densidad aparente aireada y empacada.⁵¹

1.10.1.8 Porosidad. Según Machado⁵², la porosidad se refiere a la cantidad de espacios vacíos o espacios intersticiales que dejan los granos entre si dentro de un recipiente, los cuales son ocupados por el aire. Depende de varios factores como: tamaño, forma y distribución de las partículas, rugosidad, entre otras.

1.10.1.9 Factor de forma. Indica cuán cerca está la forma de la partícula en estudio de las partículas con formas regulares como la esfera, el cubo y el cilindro cuya altura es igual al diámetro $a=1$. En la tabla 2 se presentan varios factores de forma para una serie de partículas, donde se evidencia que para partículas muy pequeñas este factor es mayor a la unidad, por lo que no solamente se puede asumir visualmente la forma aparente de las partículas.

Tabla 2. Factores de forma de partículas.

Material	Factor de forma
Esfera, cubos, cilindros ($L=Dp$)	1.0
Arena de cantos lisos	1.2
Polvo de carbón	1.4
Arena de cantos vivos	1.5
Vidrio triturado	1.5
Escamas de mica	3.6

Fuente: REYES. L, *et al.* Análisis por tamizado. Il informe de laboratorio grupo 202C. 2017. p. 2.

1.10.1.10 Ángulo de reposo. Este es un indicador de la fluidez de un material, entre menor sea el ángulo, el grano se deslizará con mayor facilidad sin riesgo de impacto. Este se ve influenciado por varios factores como: el tamaño, forma, volumen, área superficial, contenido de humedad y la orientación de las partículas.⁵³

⁵⁰ Loc. cit.

⁵¹ REYES, L., *et al.* Análisis por tamizado. Il informe de laboratorio grupo 202C. 2017. p. 3.

⁵² MACHADO OSPINA. Op. cit., p. 63.

⁵³ *Ibíd.*, Op. cit., p. 87.

Existen dos tipos de ángulos de reposo: estático y dinámico.

El ángulo de reposo estático se forma por la generatriz del cono y su base; este cono se genera cuando un grano es vaciado sobre una superficie horizontal plana y como resultado se forma un montículo parecido a un cono invertido. Mientras que, el ángulo de reposo dinámico, se determina cuando el material está en movimiento, esto ocurre principalmente en las operaciones de cargue y descarga de un silo, bodega o maquinaria.⁵⁴

1.10.2 Análisis proximal de la semilla. Este método desarrollado por los científicos, Henneberg y Stohmann, de la estación experimental de Weende en Alemania permite evaluar los alimentos en términos de 6 componentes: humedad, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno.⁵⁵

1.10.2.1 Cenizas. Hacen referencia al residuo inorgánico que se obtiene después de calcinar la materia orgánica; a su vez representa el contenido total de minerales de un alimento. Este análisis es de gran importancia para la evaluación nutricional y la pureza de los alimentos.⁵⁶

El contenido de cenizas se puede determinar por tres métodos: cenizas en seco, este se emplea para la mayoría de alimentos; cenizas húmedas, este método es por oxidación y se aplica para muestras con alto contenido de grasas y el análisis simple de cenizas de plasma en seco a baja temperatura.⁵⁷

1.10.2.2 Extracto etéreo. Según Westernbrink *et al*⁵⁸ el extracto etéreo o las grasas se definen como un grupo de compuestos insolubles en agua, pero si en disolventes orgánicos como: éter, cloroformo, benceno o acetona.

Existen varios métodos para la determinación de las grasas, el más común es por extracción con disolventes orgánicos. También se puede cuantificar por métodos que no requieren disolventes o por métodos instrumentales los cuales se basan en propiedades físicas o químicas de las grasas.⁵⁹

⁵⁴ Loc. cit.

⁵⁵ REYES SANCHEZ y MENDIETA A. Op. cit., p. 15.

⁵⁶ MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 3. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>.

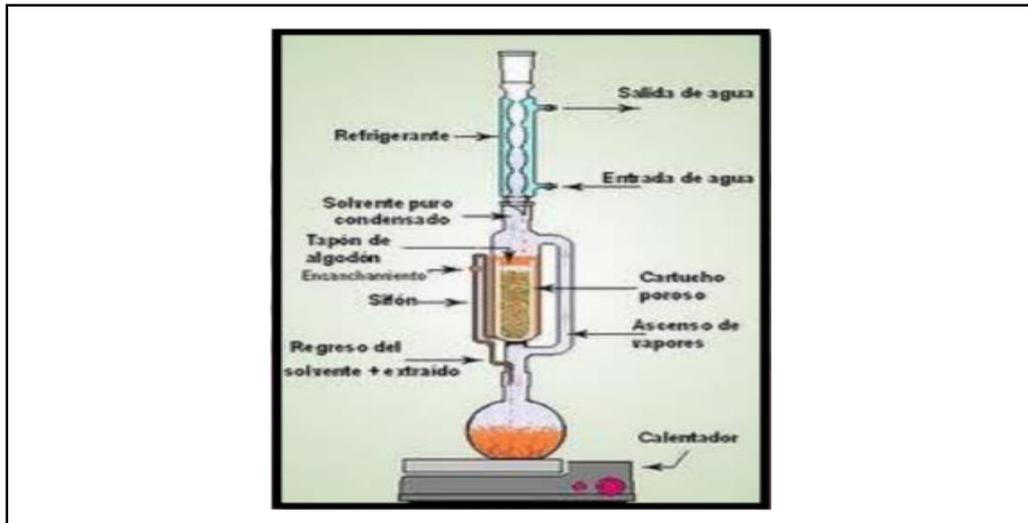
⁵⁷ *Ibíd.*, p. 7.

⁵⁸ WESTERNBRINK S, *et al.* Food composition databases: The Euro FIR approach to develop tools to assure the quality of the data compilation process. Food Chem 2009; 113 (3): 759-767. Citado por: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 21. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

⁵⁹ Loc. cit.

Como se mencionó en la sección 1.8.3, la extracción con disolventes se realiza a nivel laboratorio empleando el equipo soxhlet; el esquema de la extracción se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 6. Esquema de extracción soxhlet.



Fuente: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 23. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

Según Kirk, Sawyer y Egan⁶⁰ en este proceso el disolvente que se encuentra en el balón se calienta, volatilizándose para posteriormente condensarse y caer en forma de gotas sobre la muestra, la cual queda sumergida en el disolvente. Luego este es sifonado al matraz de calentamiento para empezar nuevamente el proceso.

1.10.2.3 Humedad. El contenido de agua en las semillas es relevante en la estabilidad de estas durante el almacenamiento, ya que puede favorecer el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática.⁶¹

Según Dursun y Dursun⁶², la humedad afecta varias de las propiedades físicas de las partículas. En el caso de la semilla de alcaparra al aumentar su contenido de humedad sus dimensiones incrementan, y por ende los diámetros, la esfericidad, el

⁶⁰ KIRK Ronald S., SAWYER Ronald, EGAN Harol; *Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson*; Editorial Continental; Págs. 25 – 50. Citado por: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 22. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

⁶¹ REYES SANCHEZ y MENDIETA A. Op. cit., p. 16.

⁶² DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 244. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003.

área superficial y la masa de partícula. De igual manera, el ángulo de reposo incrementa linealmente con la humedad. Mientras que otras propiedades como: densidad, densidad aparente y la porosidad disminuye con el aumento del contenido de humedad.

1.10.3 Análisis fisicoquímicos del aceite. Estos análisis permiten determinar la naturaleza y el estado del aceite.

1.10.3.1 Índice de acidez. Según la NTC 218⁶³, la acidez hace referencia al contenido de ácidos grasos libres contenidos en un aceite, el cual se expresa como un porcentaje en masa y se evalúa a partir del índice de acidez; este a su vez se define como los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para saturar o neutralizar los ácidos libres contenidos en un gramo de muestra.

1.10.3.2 Índice de peróxidos. Según la NTC 236⁶⁴, el índice de peróxidos se define como la cantidad de peróxidos contenidos en una grasa o aceite; este análisis permite determinar el estado de oxidación inicial del aceite expresado en miliequivalentes (mEq) de oxígeno activo por kilo de grasa.

1.10.3.3 Índice de saponificación. Según la NTC 335⁶⁵, el índice de saponificación se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para saponificar 1 gramo de grasa.

1.10.3.4 Índice de yodo. Este análisis permite determinar el grado de insaturación de los ácidos grasos y ésteres contenidos en un aceite, esto se traduce en la cantidad de dobles enlaces que posee. Se relaciona directamente con el índice de refracción y densidad.⁶⁶

A partir de este se puede perfilar el uso de los aceites, en el caso de los aceites comestibles presentan un índice de yodo relativamente altos debido a la gran cantidad de ácidos grasos insaturados. Así mismo presentan una mayor facilidad a la oxidación.⁶⁷

⁶³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del Índice de Acidez y de la Acidez. NTC 218. 3 ed. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2011. 6 p.

⁶⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del Índice de peróxido. NTC 236. 2 ed. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2011. 7 p.

⁶⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites vegetales y Animales. Determinación del Índice de saponificación. NTC 335. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1998. 1 p.

⁶⁶ RODRIGUEZ, Jessica. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE INDICE DE YODO PARA ACEITE DE PALMA, ACEITE DE PESCADO Y SEBO, EN LA COMPAÑÍA INDUSTRIAL DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (CIPA S.A) [en línea]. Requisito Tecnólogo químico. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías. 2013. p. 29. [Consultado: 11 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3899/6643R696.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

⁶⁷ Loc. cit.

1.10.4 Perfil de ácidos grasos. Al identificar los ácidos grasos de un aceite o grasa se puede perfilar las posibles aplicaciones industriales del mismo. Según Solís-Fuentes, J. A., *et al*⁶⁸, los aceites con un alto contenido de ácidos oleico, linoleico y linolénico no tienen características estructurales y su funcionalidad deriva de sus propiedades nutricias, claridad y lubricidad, propiedades básicas que debe tener un aceite de cocina.

Para determinar los ácidos grasos contenidos en un aceite se logra por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Para esto, el aceite es convertido en sus respectivos ésteres metílicos de ácidos grasos. Posteriormente son disueltos en heptano, siendo separados por una columna cromatográfica empacada y pasando a través del espectrómetro de masas con el fin de identificarlos al comparar los espectros resultantes con los estándares previamente analizados.⁶⁹

⁶⁸ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 62.

⁶⁹ *Ibíd.*, p. 59.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA Y SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

En este capítulo se detallan los procedimientos realizados para la caracterización de la semilla de guanábana y la consolidación de los resultados de las mismas. Posteriormente se plantean los factores determinantes para la selección del método de extracción.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA

Se requiere establecer las propiedades fisicoquímicas de la semilla, ya que esta información es fundamental para la selección del método de extracción. De igual manera, esta información servirá para establecer el dimensionamiento de los equipos al igual que las condiciones de operación.

2.1.1 Determinación propiedades físicas. Para la caracterización de la semilla de guanábana se determinaron las siguientes propiedades: tamaño de partícula, esfericidad, área superficial, densidad, densidad aparente aireada y empacada, compresibilidad, volumen y masa de partícula, porosidad, factor de forma y ángulo de reposo (dinámico y estático). Algunas propiedades como: densidad, densidad aparente aireada y empacada, el volumen y masa de partícula al igual que el ángulo de reposo dinámico de la semilla se determinaron en el laboratorio de sólidos de la Fundación Universidad de América.

La determinación de estas propiedades se encuentra consolidadas en la siguiente tabla:

Tabla 3. Consolidado propiedades físicas de la semilla de guanábana.

Propiedades	Resultado
Diámetro promedio (cm)	1.132
Esfericidad	0.605
Área superficial (cm ²)	3.096
Densidad (g/mL)	1.081
Densidad aireada (g/mL)	0.497
Densidad empacada (g/mL)	0.584
Compresibilidad (%)	14.929
Volumen de partícula	0.571
Masa de partícula	0.638
Porosidad	0.539
Factor de forma	0.393
Ángulo de reposo estático	8.74°

Tabla 3. (Continuación)

Propiedades	Resultado
Ángulo de reposo dinámico	15°

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de cada una de las propiedades descritas en la tabla 3 se encuentran en el Anexo A.

2.1.1.1 Tamaño de partícula. Para determinar el tamaño y la forma de la semilla, se tomó una muestra de semillas de acuerdo al método descrito por Munch y Ángeles⁷⁰, para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Tamaño de partícula

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Fuente: MUNCH, L.; ANGELES, E. (1997). Metodos y técnicas de investigación, Editorial Trillas, Segunda Edición. México. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. p. 26. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>.

Donde

N = Tamaño de la población (51 semillas de guanábana)
Z = Nivel de confianza (1.96 para un 95% de confiabilidad)
p = Probabilidad de éxito o proporción esperada (0.05)
q = Probabilidad de fracaso (0.95)
d = Precisión (0.05 error permitido)

El tamaño de la muestra calculada a partir de la ecuación 1 es de 30 semillas. Esta selección se hizo por cuarteo para asegurar que la muestra sea representativa. Una vez seleccionada la muestra se determinaron sus dimensiones (alto, ancho y espesor) empleando un pye de rey como se muestra en la siguiente ilustración.

⁷⁰ MUNCH, L.; ANGELES, E. (1997). Metodos y técnicas de investigación, Editorial Trillas, Segunda Edición. México. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. p. 26. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

Ilustración 7. Dimensiones de la semilla de guanábana.



Fuente: elaboración propia.

A partir de esas dimensiones se procede a determinar el diámetro promedio de la semilla (ecuación 5), partiendo de tres diámetros medios: aritmético, cuadrado y geométrico. Para estos diámetros se utilizan las ecuaciones 2, 3 y 4 respectivamente.

Para cada una de las ecuaciones de los diámetros, esfericidad y área superficial a: largo; b: ancho y c: espesor de la semilla.

Ecuación 2. Diámetro aritmético

$$D_a = \frac{(a+b+c)}{3}$$

Fuente: MOHSENIN N N (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

Ecuación 3. Diámetro geométrico

$$D_g = (abc)^{\frac{1}{3}}$$

Fuente: MOHSENIN N N (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

Ecuación 4. Diámetro cuadrado

$$D_c = \left(\frac{ab+bc+ca}{3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: REYES, Leidy., et al. Análisis por tamizado. II informe de laboratorio grupo 202C. 2017. p. 2.

Ecuación 5. Diámetro promedio

$$D_p = \left(\frac{Da+Dc+Dg}{3} \right)$$

Fuente: REYES, Leidy., et al. Análisis por tamizado. II informe de laboratorio grupo 202C. 2017. p. 2.

Donde

Da = Diámetro aritmético (cm)

Dg = Diámetro geométrico (cm)

Dc = Diámetro cuadrado (cm)

Dp = Diámetro promedio (cm)

De acuerdo a McCabe, Smith y Harriott⁷¹, la semilla de guanábana se clasifica como una partícula gruesa, ya que su tamaño se pudo determinar usando un pye de rey y su diámetro promedio esta expresado en cm.

2.1.1.2 Esfericidad. De acuerdo a la tabla 3, la semilla de guanábana tiene una esfericidad de 0.605. Esto, quiere decir que la semilla está lejos de parecerse a una esfera, lo cual se puede evidenciar fácilmente ya que es una semilla grande y su forma es ovalada.

Esta se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Esfericidad de partícula

$$\phi = \frac{(abc)^{1/3}}{a}$$

Fuente: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003.

⁷¹ MCCABE, SMITH y HARRIOTT. Op. cit., p.1012.

2.1.1.3 Área superficial. El área superficial se calculó a partir de las dimensiones de la semilla al igual que la esfericidad según la ecuación 7.

Ecuación 7. Área superficial de partícula

$$S = \frac{\pi BL^2}{2L - B}$$

Fuente: JAIN R K. AND BALL S., 1997. Physical properties of Pearl millet. J. Agric. Eng. Res., 66, 85-91. Citado por: MILANI, E., *et al.* Moisture dependent physical properties of curcubit seeds. En: *Int Agrophysics*. 2007, vol. 21, p. 159. [Consultado: 28 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.old.international-agrophysics.org/en/issues.html?stan=detail&vol=21&numer=2&paper=656&i=7>. ISSN 0236-8722

Donde

$$B = (bc)^{0,5} \text{ (cm)}$$

$$L = a \text{ (cm)}$$

El área superficial en promedio de la semilla de guanábana es de 3.096 cm².

2.1.1.4 Densidad. Para determinar la densidad se optó por el método de desplazamiento de fluido, el cual se basa en el principio de Arquímedes. El cálculo del volumen de la muestra es igual al volumen de líquido desplazado cuando la muestra se sumerge en este.⁷² Para esto, se realizó el siguiente procedimiento por triplicado:

1. Pesar una muestra de semillas en balanza analítica.
2. Registrar el peso de la muestra.
3. Introducir agua en la probeta hasta un volumen conocido.
4. Registrar el volumen inicial.
5. Introducir la muestra pesada en la probeta.
6. Registrar el volumen final.

Ecuación 8. Densidad de partícula

$$\rho = \frac{\text{masa}}{V_{\text{total}} - V_{\text{inicial}}}$$

Fuente: PANTANO, L y URREGO, A. Evaluación de la extracción de aceite de semillas de amapola mediante los métodos soxhlet y prensado en frío a nivel laboratorio. Proyecto de grado Ingeniero químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. p. 97. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>

⁷² SALDARRIAGA *et al.* Op. cit., p. 64.

A partir de los datos registrados en concordancia con el procedimiento descrito, se calculó la densidad para cada repetición de acuerdo a la ecuación 8. Finalmente se promedian las densidades, obteniendo un valor de 1.081 g/mL.

2.1.1.5 Densidad aparente aireada y empacada. La densidad aparente a diferencia de la real tiene en cuenta los espacios intersticiales que se generan entre las partículas. Existen dos tipos de densidad aparente: aireada y empacada.

El procedimiento para determinar ambas densidades se presenta a continuación:⁷³

1. Pesarse una muestra de semillas en balanza analítica.
2. Registrar el peso de la muestra.
3. Introducir las semillas en una probeta vacía.
4. Agitar la probeta por 2 minutos.
5. Registrar el volumen.

Sin embargo, para determinar la densidad aparente aireada (ecuación 9) se debe omitir el 4 paso, a diferencia de la densidad empacada (ecuación 10) que si requiere ser sometido a la agitación para lograr su empaquetamiento.

Ecuación 9. Densidad aparente aireada

$$\rho_{APA_{air}} = \frac{\text{masa de semillas}}{\text{Volumen aireado}}$$

Fuente: MACHADO OSPINA, Julio Ernesto. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia, 2001. p. 62. [Consultado: 1 de mayo de 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=2DWmqb6xP3wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=snippet&q&f=false

Ecuación 10. Densidad aparente empacada

$$\rho_{APA_{emp}} = \frac{\text{masa de semillas}}{\text{Volumen empacado}}$$

Fuente: PANTANO, L y URREGO, A. evaluación de la extracción de aceite de semillas de amapola mediante los métodos soxhlet y prensado en frío a nivel laboratorio. Proyecto de grado Ingeniero químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. p. 99. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>

⁷³ Private University of the North. Course Hero [sitio web]. [Consultado: 4 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p6ngt2i/o-Densidad-aparente-aireada-Esta-medida-indica-la-relaci%C3%B3n-entre-la-masa-y-el/>

La semilla de guanábana presento una densidad aireada de 0.497 g/mL y una densidad empacada de 0.584 g/mL.

2.1.1.6 Compresibilidad. Como se menciona en la sección 1.10.1.7, la compresibilidad es la capacidad que tiene una masa de partículas para reducir su volumen mediante una fuerza externa como vibración o presión. Esta se calcula a partir de la ecuación 11.

Ecuación 11. Porcentaje de compresibilidad

$$\% \text{ Compresibilidad} = \left(\frac{\rho_{APA_{emp}} - \rho_{APA_{air}}}{\rho_{APA_{emp}}} \right) * 100$$

Fuente: UNITED STATES PHARMACOPEDIA, USP. Powder F [PDF]. En: Stage 6. Harmonization. The United States Pharmacopeial Convection. Noviembre, 2016. Vol. 30, p. 3-4. Citado por: PANTANO, Laura y Urrego, Aura. EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE AMAPOLA MEDIANTE LOS MÉTODOS SOXHLET Y PRENSADO EN FRIO A NIVEL LABORATORIO. Proyecto de grado Ingeniero químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. p. 99. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>

En el caso de la semilla de guanábana el porcentaje de compresibilidad fue del 14.92 %, lo que significa que por más fuerza o presión que se le aplique su volumen no tendrá una disminución significativa.

2.1.1.7 Porosidad. Teniendo en cuenta que la porosidad hace referencia a la cantidad de espacios que se generan entre partículas, al calcularla utilizando la ecuación 12 se debe usar la densidad aparente aireada reportada en la tabla 3.

Ecuación 12. Porosidad

$$\epsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t} \right) 100$$

Fuente: MOHSENIN N N (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

Donde

ϵ = Porosidad (%)

ρ_b = Densidad aparente (g/mL)

ρ_t = Densidad real (g/mL)

La porosidad promedio de las semillas de guanábana es de 53.97%, esto es importante al momento de dimensionar silos para su almacenamiento.

2.1.1.8 Factor de forma. Este junto a la esfericidad indica que tan cercana esta la partícula de ser una esfera, cilindro o cubo, esta se calcula a partir de las ecuaciones 13 y 14.

Ecuación 13. Factor de forma

$$\lambda = \frac{V_p}{D_p^3}$$

Fuente: MCCABE, Warren; SMITH, Julian y Harriott Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. 7th ed. México: McGrawHill, 2007. p. 1015. [Consultado: 9 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/16909707/LIBRO_operaciones_unitarias_en_ingenieria_quimica_7ma_ed.

Donde

V_p = Volumen de partícula (cm³)

D_p = Diámetro promedio (cm)

El volumen de partícula calculado a partir de la ecuación 14 es de 0.571 cm³ mientras que el promedio de la masa de partícula (ecuación 15) es de 0.638 g.

Ecuación 14. Volumen de partícula

$$V_p = \frac{(\text{Volumen final} - \text{Volumen inicial})}{\text{Numero de particulas}}$$

Fuente: PANTANO, Laura y URREGO, Aura. EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE AMAPOLA MEDIANTE LOS MÉTODOS SOXHLET Y PRENSADO EN FRIO A NIVEL LABORATORIO. PROYECTO DE GRADO INGENIERO QUÍMICO. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. p. 98. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>.

Ecuación 15. Masa de partícula

$$M_p = \frac{\text{Masa total}}{\text{Numero de particulas}}$$

Fuente: BRAINLY. ¿cómo medirías la masa de un grano de arroz? [en línea]. [Consultado: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://brainly.lat/tarea/237472>

El factor de forma calculado a partir de la ecuación 13 es de 0.393, este valor esta en concordancia con la esfericidad (0.605); ya que la semilla de guanábana tiene forma ovalada.

2.1.1.9 Ángulo de reposo. Como se mencionó en la sección 1.10.1.10 existen dos ángulos de reposo: estático y dinámico. El ángulo de reposo estático se calcula de acuerdo con la ecuación 16, esta describe el ángulo que se forma entre la generatriz de un cono y su base.

Ecuación 16. Ángulo de reposo estático

$$\theta = \tan^{-1}(2H/D)$$

Fuente: JHA S N (1999). Physical and hygroscopic properties of makhana. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(2), 145-150, doi:10.1006/jaer.1998. 0356. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003.

Donde

θ = Ángulo de reposo estático

H = Altura del montículo sobre la superficie (cm)

D = Diámetro de la base del montículo (cm)

Mientras que el ángulo de reposo dinámico se determina al poner una muestra de semillas sobre un plano de madera inclinado, el ángulo en el cual las semillas comienzan a fluir a través del plano se conoce como ángulo dinámico.

Las semillas de guanábana tienen un ángulo estático de 8.74° mientras que su ángulo dinámico es de 15°. Lo que según Machado⁷⁴, indica que la semilla de guanábana fluye con gran facilidad y el riesgo de impacto es mínimo.

2.1.2 Análisis proximal. Para este análisis se determinaron experimentalmente las cenizas y la humedad de las semillas en los laboratorios de química de la Fundación Universidad de América. Mientras que el contenido de extracto etéreo se determinó en base a las bibliografías reportadas y se reportan en la sección 2.2.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis proximal reportados por otros autores.

⁷⁴ MACHADO OSPINA. Op. cit., p. 87.

Tabla 4. Consolidación resultados análisis proximal reportados en otras investigaciones.

# Ref.	1 ⁷⁵	2 ⁷⁶	3 ⁷⁷
Humedad (%)	34.6 ± 3.04	13.74 ± 0.02	6.226 ± 0.607
Cenizas (%)	2.5 ± 0.06	1.44 ± 0.03	1.595
Extracto etéreo (%)	37.7 ± 2.89	25.75 ± 0.03	26.91

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el cuadro 3, el método más adecuado para la determinación de la humedad de semillas oleaginosas es la desecación por estufa.

Cuadro 3. Métodos más usados para la determinación de humedad.

Temperatura °C	Tiempo	Limitaciones	Ventajas	Aplicaciones
METODO DESECCACION POR ESTUFA				
130 ± 1° 105 ± 1°	3 hrs. Peso constante ±5mg	Destructivo, pérdida de volátiles, caramelización de azúcares, no aplicable a alimentos azucarados, grasas o aceites esenciales.	Rápido	Semillas oleaginosas Mayoría de los alimentos
60° a presión reducida		Lento, pérdida de volátiles	Método Universal	Alimentos azucarados, materias grasas.
Variante de agregar arena tanto a 105° C como a 60°C y a presión reducida *			Facilita la determinación. Mayor superficie para la salida de la humedad general.	Alimentos con aceites esenciales. Alimentos con contenido graso importante. Alimentos en general.
HORNO MICROONDA		Costo del equipo	Rápido	Alimentos, humedad alta y media
KARL FISHER		Costo del equipo	Rápido	Alimentos de muy baja humedad. Alimentos higroscópicos.
NMR		Costo del equipo, necesita calibración	Rápido	Mayoría de los alimentos, semillas.
LIOFILIZACION		Permanece agua residual, costo del equipo	No altera el producto	Mayoría de los alimentos
DETERMINACION CON ARRASTRE CONXILOLO TOLUENO (MET. DEANYSTARK)			Rápido. Determina sólo la humedad.	Alimentos con alto contenido de materias volátiles, pimentón, cebolla, margarina, mantequilla, manteca.

Fuente: MASSON, Lilia. Métodos Analíticos Para La Determinación De Humedad, Alcohol, Energía, Materia Grasa y Colesterol En Alimentos. En: MORON, Cecilio; ZACARIAS, Isabel y SATURNINO DE, Pablo, eds. *PRODUCCION Y MANEJO DE DATOS DE COMPOSICION QUIMICA DE ALIMENTOS EN NUTRICION*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, 1997. p. 149.

⁷⁵ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al.* Op. cit., p. 61.

⁷⁶ VIT, Patricia; SANTIAGO, Bertha y PEREZ-PEREZ, Elizabeth. Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana *Annona muricata* L. En: *Interciencia* [en línea]. 2014, vol. 39, nro. 5. p. 350. [Consultado: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33930879008>. ISSN 0378-1844

⁷⁷ NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. p. 45. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

2.1.2.1 Humedad. Para la semilla de guanábana se realizó el secado en una mufla Barnstead Thermolyne 48000 a 130°C durante 3 horas. Durante todo el proceso se empleó una balanza analítica marca Shimadzu AUW220D (e=1 mg y d=0.1mg/0.01 mg).

Para la determinación de la humedad se tomaron dos crisoles y se pesaron por separado luego se tomaron dos muestras de tres semillas (aproximadamente 2 g) cada una y se pesaron junto a su correspondiente crisol (ilustración 8).

Ilustración 8. Pesaje de muestra para determinación de humedad.



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se introdujeron los crisoles con sus respectivas muestras en una mufla programada a 130°C por un tiempo de 3 horas. Pasado el tiempo se extrajeron los crisoles y se introdujeron en un desecador de silicona por 10 min (ilustración 9), para finalmente pesar las muestras. Este procedimiento se repitió 2 veces.

Ilustración 9. Enfriamiento de muestras en desecador.



Fuente: elaboración propia.

A partir de los datos generados en el procedimiento anterior y la ecuación 17 se generaron 4 valores para el contenido de humedad (véase anexo A).

Ecuación 17. Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Fuente: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 12. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

Donde

Pi = Peso inicial semillas frescas (g)

Pf = Peso final semillas secas (g)

El contenido de humedad de la semilla de guanábana es de 30.65%, al compararlo con los reportados en la tabla 4, este se encuentra por debajo del reportado por Solís-Fuentes, J. A., *et al*⁷⁸ y se encuentra muy por encima de los resultados reportados por Vit, Santiago y Perez-Perez⁷⁹ y Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz.⁸⁰

La variación de la humedad de la misma especie de guanábana se puede deber al lugar de procedencia. En el caso de la fruta empleada por Solís-Fuentes, J. A., *et al*⁸¹ esta provenía de la ciudad de Actopan, en la región central del estado de Veracruz, México. Mientras que Vit, Santiago y Perez-Perez⁸² recolectaron 2 kg de guanábana de la ciudad de Mérida, Venezuela y Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz⁸³, las obtuvo del centro de Marankiari, distrito de Perene provincia de Chanchamayo del departamento de Junín.

2.1.2.2 Cenizas. Para la determinación de las cenizas de la semilla de la guanábana se empleó el método de cenizas en seco. De acuerdo a Kirk, Sawyer y Egan⁸⁴ se debe incinerar una porción del alimento previamente pesado en un crisol dentro de una mufla a temperaturas entre 500 y 600°C durante 24 horas o hasta que el residuo esté libre de partículas carbonosas, esto es fácil de identificar ya que las cenizas son de color blanco o gris, en algunos casos pueden ser rojizas o verdosas. Una

⁷⁸ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 61.

⁷⁹ VIT, SANTIAGO y PEREZ-PEREZ. Op. cit., p. 350.

⁸⁰ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 45.

⁸¹ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 59.

⁸² VIT, SANTIAGO y PEREZ-PEREZ. Op. cit., p. 350.

⁸³ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 26.

⁸⁴ KIRK Ronald S., SAWYER Ronald, EGAN Harol; Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson; Editorial Continental; Págs. 25 – 50. Citado por: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. p. 3-4. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>.

vez se obtienen las cenizas, se debe dejar enfriar en un desecador, para luego pesarlo en balanza analítica hasta obtener un peso constante.

En el caso específico de las semillas de guanábana se tuvo en cuenta el alto contenido de humedad reportado por Solís-Fuentes, J. A., *et al*⁸⁵ en la tabla 4 y de acuerdo con Márquez,⁸⁶ quien afirma que se debe realizar un secado a las semillas con un alto contenido de humedad previo a la determinación de las cenizas; se optó por tomar las muestras secas resultantes durante la determinación de la humedad.

Al igual que para la determinación de la humedad se emplearon los mismos equipos (mufla Barnstead Thermolyne 48000, una balanza analítica marca Shimadzu AUW220D y un desecador de silicona) para la determinación de las cenizas. Las muestras obtenidas de la determinación de la humedad (ilustración 10) se ingresaron en una mufla a 600°C durante 5 horas, esto debido a la disponibilidad de tiempo en los laboratorios.

Ilustración 10. Muestras para la determinación de cenizas.



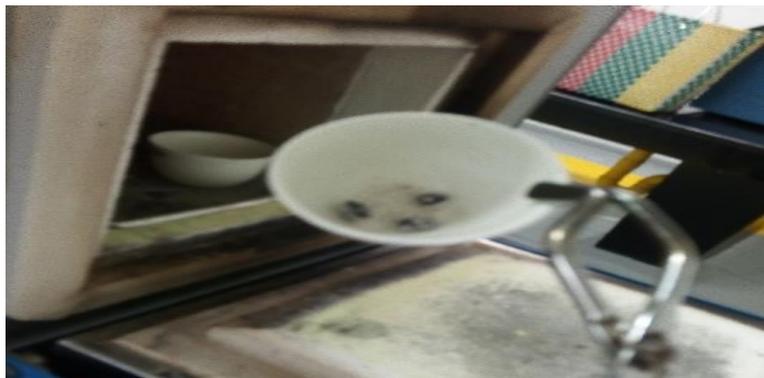
Fuente: elaboración propia.

Una vez transcurrido el tiempo se extrajeron de la mufla (ilustración 11) y se dejaron enfriar en un desecador de silicona por un tiempo de 10 min. Para finalmente pesar los crisoles con las muestras en una balanza.

⁸⁵ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 61.

⁸⁶ MÁRQUEZ. Op., p. 1.

Ilustración 11. Cenizas de las semillas de guanábana.



Fuente: elaboración propia.

A partir de la definición de cenizas se infiere que el contenido de cenizas es el peso de las semillas calcinadas, para determinar el porcentaje de cenizas se utiliza la ecuación 18.

Ecuación 18. Porcentaje de cenizas

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_{sc}}{P_{ss}} \times 100$$

Fuente: elaboración propia, con base en HUGO, David; AÑAZCO, Eduardo y GUZMAN, Diego. LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS [en línea]. Escuela superior politécnica del litoral. 2016. p. 11. [Consultado: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/DiegoGuzmanSilva/prctica-3-20161123-lab-analisis-determinacin-de-cenizas>.

Donde

P_{ss} = Peso semillas secas (g)

P_{sc} = Peso semillas calcinadas (g)

El contenido de cenizas para las semillas secas de la guanábana es de 1.342%, este valor es el más bajo comparado con los reportados en la tabla 4. Este es un indicador de la calidad de la semilla.

2.2 SELECCIÓN MÉTODO DE EXTRACCIÓN

Según Peredo-Luna, Palou-García y López-Malo⁸⁷ se han utilizado los aceites esenciales desde hace mucho tiempo en varias industrias, el método de extracción más común es con disolventes. Sin embargo, presenta varios inconvenientes: uno

⁸⁷ PEREDO - LUNA, PALOU – GARCÍA y LÓPEZ – MALO. Op. cit., p. 25.

de las principales es la contaminación del aceite y a raíz de la necesidad de evaluar las propiedades funcionales de estos en la industria de alimentos, se han desarrollado nuevas tecnologías de extracción ya que dependiendo el método se establece el uso de los aceites.

Para la selección del método de extracción que mejor se ajustara a la semilla de guanábana y con el fin de que el aceite obtenido sea apto para el uso en la industria de alimentos, se hizo una revisión bibliográfica donde se evaluaron las ventajas y desventajas de los principales métodos de extracción aplicados a semillas oleaginosas. A continuación, se muestra el cuadro comparativo entre los principales métodos de extracción para oleaginosas:

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los principales métodos de extracción

Método	Ventajas	Desventajas
Arrastre de vapor ⁸⁸	Método sencillo Bajo costo	Largos periodos de tiempo Rendimientos bajos ⁸⁹
Fluidos supercríticos ⁹⁰	Reduce tiempos de extracción Extractos libres de disolventes Alta selectividad Rendimientos altos Requiere menos energía	Extracción de ceras de alto peso molecular
Prensado en frío	Aceite extra virgen Facilidad de purificación	Rendimientos bajos ⁹¹
Soxhlet	Rendimientos altos ⁹²	Largos periodos de tiempo Extractos impuros Alto costo disolventes Riesgo de explosión e incendio Restricción por legislación

Fuente: elaboración propia, con base en PEREDO - LUNA, H. A; PALOU - GARCÍA, E. y LÓPEZ - MALO, A. Aceites esenciales: métodos de extracción. En: *Temas selectos de ingeniería de alimentos* [en línea]. México: 2009, vol. 3, nro. 1. p. 25-28. [Consultado: 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/390909125/TSIA-3-1-Peredo-Luna-et-al-2009-pdf>.

⁸⁸ RUIZ GALAN. Op. cit., p. 10.

⁸⁹ MARTÍNEZ, J. y ZÚNIGA, G. Extracción de aceite de la semilla de guanábana (*Annona muricata L*) a nivel laboratorio, aplicando los métodos de extracción soxhlet y arrastre con vapor de agua [en línea]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. p. 21-22. [Consultado 10 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/2428>

⁹⁰ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 41.

⁹¹ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 39.

⁹² SOLÍS-FUENTES, J. A., et al. Op. cit., p. 58.

Partiendo de la intención de emplear el aceite en la industria de alimentos, los métodos que permiten extraer el aceite sin contaminarlo de acuerdo al cuadro comparativo (cuadro 4) son: arrastre de vapor, fluidos supercríticos y prensado en frío.

Igualmente se tuvieron en cuenta otras investigaciones y los métodos empleados en estas como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 5. Investigaciones basadas en la extracción de aceite de guanábana y su caracterización.

# Ref.	Título	Método de extracción	País/Año
1	Caracterización fisicoquímica y comportamiento térmico del aceite de "almendra" de guanábana (<i>Annona muricata</i> ,L)	Soxhlet (Hexano)	México 2010
2	Evaluación fisicoquímica de la fracción lipídica de las semillas de guanábana (<i>Annona muricata</i>) y la chirimoya (<i>Annona cherimolia</i>)	FSC CO ₂ /Soxhlet (Éter de petróleo)	Colombia 2010
3	Identificación de ácidos grasos presentes en el aceite extraído a partir de semillas de guanábana (<i>Annona muricata</i>)	Soxhlet (Éter etílico)	Colombia 2012
4	Extracción con CO ₂ supercrítico de aceite de semillas de guanábana (<i>Annona muricata</i>): cinética, perfil de ácidos grasos y esteroides	FSC CO ₂	Colombia 2016
5	Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de semilla de chirimoya (<i>Annona cherimolia</i>) y guanábana (<i>Annona muricata</i>)	Prensado en frío /Soxhlet (hexano)	Perú 2017
6	Extracción de aceite de la semilla de guanábana (<i>Annona muricata</i> L) a nivel de laboratorio, aplicando los métodos de extracción soxhlet y arrastre con vapor de agua	Arrastre de vapor/Soxhlet (hexano)	Nicaragua 2018

Fuente: elaboración propia.

Entre los métodos citados y teniendo en cuenta el alto contenido de humedad que presentan las semillas (30.65%) la mejor opción para la extracción del aceite sería por fluidos supercríticos. Sin embargo, este requiere una infraestructura más compleja y de acuerdo con las investigaciones que se citan en la tabla 5, solo dos reportan el uso de esta tecnología. Mientras que para la tecnología de arrastre por vapor y prensado en frío solo se emplean una vez.

A continuación, se detalla cada una de las referencias mencionadas en la tabla 5:

En la referencia 1, Solís-Fuentes, J. A., *et al*⁹³ alcanzaron un rendimiento del 37.7% empleando la tecnología soxhlet con hexano como solvente y un evaporador rotativo para purificar el aceite. Para el acondicionamiento de la semilla se realizó la limpieza y trituración de la misma, una vez obtenida las almendras se secaron hasta una humedad de 14% luego se procedió a una molienda manual de las almendras y finalmente se realizó la extracción.

Adicional a la caracterización del aceite realizaron el análisis térmico, termogravimétrico y el contenido de grasa sólida del mismo. Para el primer análisis se evidenció que la cristalización inicia a -4.5°C y termina a -79°C y se funde en un intervalo de -42.4 a 16.9°C mientras que para el segundo análisis se estableció que en atmósfera oxidante el aceite inicia su descomposición a los 206°C y finaliza a 567°C. En el caso del contenido de grasa sólida, este se evaluó para un amplio rango de temperatura entre -45 y 20°C, a una temperatura de 10°C el porcentaje de sólidos fue de 1.3.⁹⁴

En la referencia 2, Restrepo y Vinasco⁹⁵ realizaron la extracción del aceite por dos métodos: soxhlet y FSC CO₂. Para el acondicionamiento de la semilla se molieron hasta un tamaño de partícula de 60 mesh (0.250 mm) y se secaron a 60°C durante 24 horas.

Para la extracción del aceite por soxhlet se empleó éter de petróleo durante 8 horas obteniendo un rendimiento en el rango de 22%⁹⁶, la extracción con dióxido de carbono supercrítico se realizó en un equipo diseñado en la Universidad del Valle, de esta no se reporta rendimiento ni condiciones de operación. En cuanto a la composición de ácidos grasos, la extracción por FSC CO₂ presentó porcentajes menores con respecto a los obtenidos por soxhlet.⁹⁷

En la referencia 3, Cerón, Osorio y Hurtado⁹⁸ alcanzaron un rendimiento del 30.59% empleando la tecnología soxhlet con éter etílico como solvente a un reflujo de 8 h y para la recuperación del solvente se empleó un evaporador rotatorio. Luego se procedió a secar el extracto en un horno eléctrico por 30 min a 60 °C hasta eliminar el solvente residual.

Para el acondicionamiento de la semilla se realizó la limpieza, selección y secado en un secador de bandejas a una temperatura de 60°C con velocidad de aire de 20 m/s durante 8 horas. Luego fueron pulverizadas en un molino de martillos para

⁹³ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 59.

⁹⁴ Loc. cit.

⁹⁵ RESTREPO, Jaime y VINASCO, Luz Elena. EVALUACION FISICOQUÍMICA DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*) Y LA CHIRIMOYA (*Annona cherimolia*). *Revista de ciencias*. 2010, vol. 14, p. 119.

⁹⁶ *Ibíd.*, p. 120.

⁹⁷ *Ibíd.*, p. 121.

⁹⁸ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 83.

finalmente ser tamizadas usando la serie de tamices (10-30, A.S.T.M.E) de esta se tomaron las partículas con diámetros entre 0.594 y 0.84 mm para la extracción.⁹⁹

En la referencia 4, Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁰⁰ realizaron la extracción del aceite empleando CO₂ supercrítico variando la presión de 20 a 35 MPa y la temperatura de 40 a 60°C con un flujo de 30 g/min por un tiempo de 150 min. El rendimiento óptimo (12.9%) se obtuvo a 38.1 MPa y 50°C.

Para el acondicionamiento de la semilla se realizó la limpieza y secado a 40°C durante 8 horas alcanzando una humedad del 4.28% b.s. Luego fueron pulverizadas en un molino de martillos para finalmente ser tamizadas usando la serie de tamices (10-80, A.S.T.M.E). A partir de este se determinó el diámetro medio de 0.861 mm.¹⁰¹

De acuerdo con los resultados obtenidos se evidenció que la presión tiene un efecto estadísticamente significativo frente al rendimiento de la extracción a diferencia de la temperatura.¹⁰² Sin embargo, ambas variables influyen el porcentaje relativo de algunos ácidos grasos (oleico, palmítico y palmitoleico) al igual que la relación de insaturados/saturados. En el caso del ácido oleico, al aumentar cualquiera de las dos o modificar ambas genera un incremento del ácido oleico y la relación de insaturados/saturados; en cuanto al palmítico el aumento de la presión causa una disminución de este ácido graso. Mientras que, para el palmitoleico la presión y su interacción con la temperatura tienen un efecto negativo; para obtener porcentajes altos se deben manejar presiones bajas y temperaturas altas.¹⁰³

Adicionalmente determinaron la composición de esteroides presentes en el aceite encontrando: Campesterol, Estigmasterol y β -Sitoesterol. Sin embargo, tras el análisis de varianza, observaron que ninguna de las dos variables ni su interacción tuvo un efecto significativo en cuanto al contenido de estos compuestos de gran interés para la industria cosmética y farmacéutica.¹⁰⁴

En la referencia 5, Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁰⁵ realizaron la extracción del aceite por prensado neumático en frío y soxhlet empleando hexano alcanzando rendimientos del 11.8% y 26.91% respectivamente; previo a la extracción las semillas fueron seleccionadas, lavadas, secadas y descascarilladas, luego fueron sometidas a reducción de tamaño manual y se sometieron a un acondicionamiento térmico adicional.

En la referencia 6, Martínez y Zúñiga¹⁰⁶ realizaron la extracción del aceite por dos métodos: soxhlet usando hexano y arrastre de vapor. Para ambos métodos se evaluó el rendimiento variando el tamaño de la semilla. Por el método soxhlet,

⁹⁹ Loc. cit.

¹⁰⁰ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 37.

¹⁰¹ *Ibíd.*, p. 38.

¹⁰² *Ibíd.*, p. 42.

¹⁰³ *Ibíd.*, p. 44-45.

¹⁰⁴ *Ibíd.*, p. 46.

¹⁰⁵ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 39.

¹⁰⁶ MARTINEZ y ZUNIGA. Op. cit., p. 21-22.

usando las semillas sin triturar (15 mm) se obtuvo un rendimiento del 0.4% mientras que con las semillas trituradas (2.36 mm) se obtuvo un rendimiento del 22.5%. De igual forma, el rendimiento por arrastre de vapor con semillas trituradas fue mayor (0.2%) en comparación con las semillas sin triturar (0.02%).

En base a los bajos rendimientos de la extracción por arrastre de vapor reportados por Martínez y Zúñiga¹⁰⁷ se descarta este método; de igual manera al comparar el rendimiento reportado por Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁰⁸ usando FSC CO₂ con el reportado por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁰⁹ empleando el prensado en frío se evidenció que ambos rendimientos son muy similares. Sin embargo, la calidad del aceite en cuanto al contenido de ácidos grasos insaturados es menor en la extracción supercrítica (64.89%) frente al prensado en frío (74.6%). De igual manera, Restrepo y Vinasco¹¹⁰ reportaron porcentajes de ácidos grasos insaturados menores en comparación con la extracción por soxhlet.

Con base en los resultados obtenidos en cada una de estas investigaciones y teniendo en cuenta los recursos en cuanto a infraestructura para llevar a cabo la extracción del aceite y su posterior purificación, además de los costos asociados a cada operación; se optó por el prensado en frío.

¹⁰⁷ Loc. cit.

¹⁰⁸ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 37.

¹⁰⁹ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 39.

¹¹⁰ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

3 EXTRACCIÓN DEL ACEITE

En este capítulo, se planteó el diseño de experimentos en la etapa de pretratamiento térmico de las semillas, a partir de este se describe el procedimiento experimental para la obtención del aceite de acuerdo al diseño experimental planteado. Con base en los rendimientos obtenidos y la caracterización del aceite se seleccionaron las condiciones a las que se obtiene el máximo rendimiento y calidad para el escalamiento a nivel planta piloto.

Una vez establecidas las condiciones, se realiza el dimensionamiento de la planta con base en un porcentaje de la generación total del residuo de semilla a nivel nacional. Los equipos se seleccionaron por catálogos comerciales, teniendo en cuenta el costo de adquisición de los mismos.

3.1 SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN

De acuerdo con las investigaciones realizadas y las metodologías llevadas en estas se refleja la importancia de los pretratamientos realizados a las semillas. Tras analizar cada una de las etapas descritas en la sección 1.8.1 se evidencia que las que tienen un mayor impacto sobre el rendimiento del aceite son: descascarillado, trituración y tratamientos térmicos.

Con base en lo anterior y con el fin de limitar el trabajo se planteará el diseño experimental en la etapa del tratamiento térmico de la semilla. El diseño experimental será de tipo factorial donde se tomarán como variables: la temperatura y el tiempo del secado, y para cada variable se establecerán dos niveles.

Para establecer los niveles de cada variable se tuvieron en cuenta las investigaciones previas, se tomaron como base las condiciones establecidas por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹¹¹, quienes realizaron el secado de las semillas en una estufa a 50°C durante 12 h; considerando que es la única investigación reportada en la tabla 5 donde se realizó la extracción por prensado en frío.

En cuanto a las otras condiciones se optó por las condiciones establecidas por Vit, Santiago y Perez-Perez¹¹² para el secado de las hojas de la guanábana, la cual realizaron a una temperatura de 70°C durante 8 h; logrando reducir la humedad de 62.64 a 9.87% y aumentando de 0.7 a 2.94% el contenido de extracto etéreo como se muestra en la tabla 6. A partir de esto y haciendo la suposición de que estas condiciones de secado tengan el mismo efecto sobre la semilla, se opta por seleccionarlas como niveles en el diseño de experimentos.

¹¹¹ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 34.

¹¹² VIT, SANTIAGO y PEREZ-PEREZ. Op. cit., p. 350.

Adicionalmente se observa que la temperatura máxima empleada en los pretratamientos de la semilla de guanábana reportadas en la tabla 5 es de 60°C. Y teniendo en cuenta que Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹¹³ evaluaron la extracción a intervalos de temperatura de 20 °C, se corrobora la selección de 70°C como nivel en el diseño experimental.

Tabla 6. Composición proximal de algunas partes de la guanábana.

Partes de la guanábana	Análisis proximales (g/100 g guanábana)			
	Humedad	Cenizas	Extracto etéreo	Proteínas
Hojas secas	9,87 ±0,01 a	7,17 ±0,01 c	2,94 ±0,02 b	13,92 ±0,20 c
Hojas frescas	62,64 ±0,03 c	1,85 ±0,02 b	0,70 ±0,02 a	5,63 ±0,25 b
Semillas	13,74 ±0,02 b	1,44 ±0,03 b	25,75 ±0,03 c	14,77 ±0,48 d
Pulpa	86,32 ±0,01 d	0,29 ±0,03 a	0,60 ±0,03 a	0,32 ±0,05 a

Fuente: VIT, Patricia; SANTIAGO, Bertha y PEREZ-PEREZ, Elizabeth. Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana *Annona muricata* L. En: *Interciencia* [en línea]. 2014, vol. 39, nro. 5. p. 352. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33930879008>. ISSN 0378-1844.

El diseño experimental se muestra en la tabla 7, esta se basará en la hipótesis de que tanto el tiempo y la temperatura de secado como su interacción tiene un efecto sobre el rendimiento de la extracción de aceite.

Tabla 7. Diseño de experimento.

	B: Tiempo (h)	
A: Temperatura (°C)	B1 = 8	B2 = 12
A1 = 50	A1B1	A1B2
A2 = 70	A2B1	A2B2

Fuente: elaboración propia.

3.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE A NIVEL LABORATORIO

De acuerdo con el diseño de experimentos descrito en la sección 3.1 se realizaron 4 tratamientos cada uno por duplicado. El proceso de extracción se realizó en 7 etapas: recolección, limpieza, secado, selección, descascarillado, extracción y purificación. Cada etapa se describe a continuación.

3.2.1 Recolección de semillas de guanábana. Las semillas fueron provistas por una filial de Guanábana (Tienda de postres ubicada en Calle 8sur # 35-60 Bogotá, Colombia).

¹¹³ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 37.

3.2.2 Limpieza de la semilla. Para la limpieza y desinfección de las semillas se siguió el método de Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz,¹¹⁴ por el cual se empleó una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio por un tiempo de 10 min. El cálculo para determinar la proporción de agua e hipoclorito de sodio por kilogramos de materia prima se encuentra en el Anexo B.

3.2.3 Secado de la semilla. El secado se realizó en el laboratorio de investigación de la Fundación Universidad de América empleando una estufa de bandejas a las condiciones determinadas para cada tratamiento de acuerdo con el diseño de experimentos (ilustración 12).

Ilustración 12. Secado de semillas en estufa.



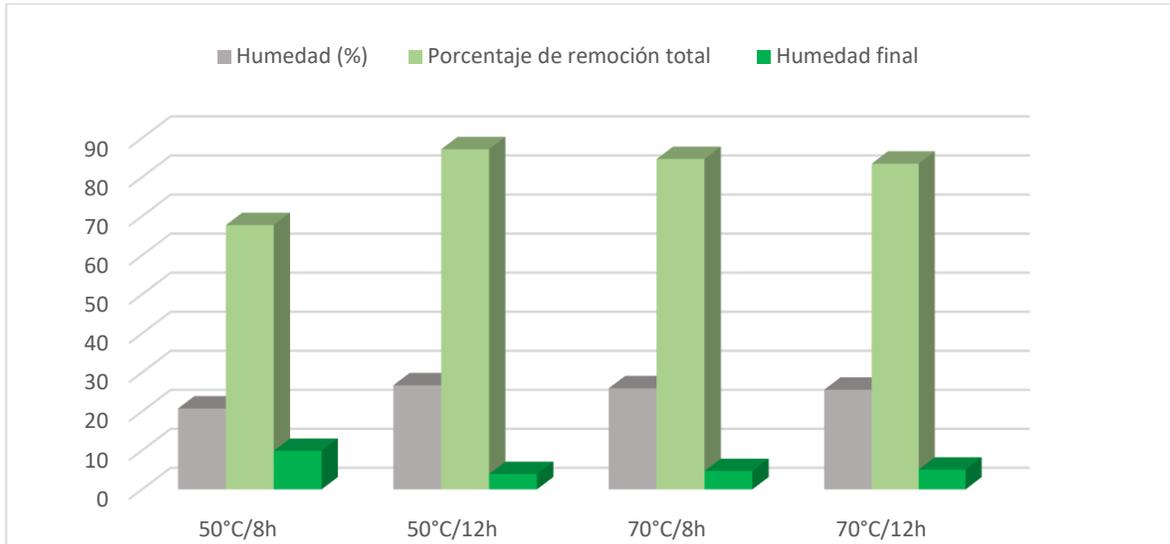
Fuente: elaboración propia.

Para cada uno de los tratamientos se calculó el porcentaje de humedad de la semilla después del secado y con base en el porcentaje total de agua contenido en la semilla determinado en el análisis proximal (30.59%) se determinó la efectividad promedio de cada una de las condiciones establecidas para la remoción de la humedad. Esto con el fin de determinar la humedad final de la semilla, considerando que según Reyes Sánchez, y Mendieta¹¹⁵ este es un factor fundamental para el almacenamiento de las semillas, ya que un alto contenido de humedad promueve la proliferación de microorganismos que pueden afectar la calidad del aceite.

¹¹⁴ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 32.

¹¹⁵ REYES SANCHEZ y MENDIETA. Op. cit., p. 17.

Gráfico 1. Porcentaje de humedad promedio removido por tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 1 se observa que las condiciones que remueven un mayor porcentaje de agua son el secado a 50°C por 12 h, a estas condiciones se logra retirar el 87% de la humedad total de la semilla, obteniendo una semilla con una humedad de 3.93%. En el caso de las demás condiciones: 50°C/8h, 70°C/8h y 70°C/12h se obtuvieron semillas con porcentajes de 9.89%; 4.7% y 5.07% respectivamente.

3.2.4 Selección de las semillas. Posterior al secado se deben descartar las semillas de color oscuro, que tengan formas irregulares y/o picaduras de insectos; ya que estas pueden afectar la calidad del aceite en cuanto a la rancidez. En la ilustración 13 se comparan dos muestras de semillas: unas aptas (lado izquierdo) y otras no aptas (lado derecho) para continuar el proceso.

Ilustración 13. Semillas aptas y no aptas para la extracción del aceite.



Fuente: elaboración propia.

3.2.5 Descascarillado de la semilla. Para el descascarillado se optó por hacerlo manual con el fin de garantizar que el rendimiento del aceite fuera el máximo posible. En la ilustración 14 se observa la cáscara y la almendra de la semilla. La proporción de la almendra y la cáscara varío dependiendo del tratamiento (tabla 8).

Ilustración 14. Cáscara y almendra de la semilla de guanábana.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Proporción promedio almendra-cáscara.

Tratamiento	50°C/8h	50°C/12h	70°C/8h	70°C/12h
Almendra (%)	66.30	65.25	65.65	63.86
Cáscara (%)	33.70	34.75	34.35	36.14
Total	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 8, se evidencia que al aumentar tanto la temperatura como el tiempo de secado la proporción de la almendra disminuye; por lo que se puede inferir que el secado afecta principalmente a la almendra.

3.2.6 Extracción del aceite de la almendra. Este se realizó mediante el prensado en frío (temperatura ambiente) de la almendra empleando una prensa hidráulica de la empresa Oleaginosas Colombia S.A.S (ilustración 15), para cada uno de los tratamientos la prensa ejerció una fuerza de 37 Ton por un tiempo de extracción de 1 hora.

Ilustración 15. Prensa hidráulica para extracción del aceite.



Fuente: POLONIA, Alberto. Prensa hidráulica eléctrica para extracción de aceites “en frío” [video]. YouTube. Oleaginosas Colombia. (6 de noviembre de 2017). 1:49 minutos. [Consultado: 6 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?time_continue=29&v=V9eUNR7ItVU&feature=emb_title

El producto del prensado es el aceite y la torta, en la ilustración 16 se presentan los productos de extracción para los tratamientos A1B1 (lado izquierdo) y A1B2 (lado derecho).

Ilustración 16. Productos del prensado para los tratamientos A1B1 y A1B2.



Fuente: elaboración propia.

De igual manera, en la ilustración 17 se presentan los productos de extracción para los tratamientos A2B1 (lado izquierdo) y A2B2 (lado derecho).

Ilustración 17. Productos del prensado para los tratamientos A2B1 y A2B2.



Fuente: elaboración propia

Para calcular el rendimiento general del proceso se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 19. Rendimiento general de proceso.

$$E_G = \left(\frac{M_{fo}}{M_{sd}} \right) \times 100$$

Fuente: elaboración propia, con base en QUERT ALVAREZ, Rolando *et al.* Rendimiento de aceite esencial en *Pinus caribaea* MorElet según el secado al sol y a la sombra. III. *Rev Cubana Farm* [en línea]. 2001, vol.35, nro.1, pp. 47-50. [Consultado 18 de agosto de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-751520010001000008&lng=es&nrm=iso. ISSN 0034-7515.

Donde

E_G = Rendimiento general de proceso (%)

M_{fo} = Masa aceite filtrado (kg)

M_{sd} = Masa semillas + impurezas (kg)

De igual manera se puede calcular el rendimiento de aceite en la etapa de extracción, tomando la masa de aceite obtenido sobre la alimentación de almendra. En la tabla 9 se presentan los rendimientos promedio para cada tratamiento.

Tabla 9. Rendimientos promedio por tratamiento.

Tratamiento	50°C/8h	50°C/12h	70°C/8h	70°C/12h
Rendimiento proceso (%)	7.36	7.97	7.88	7.86
Rendimiento Aceite/Almendra (%)	19.07	21.96	21.12	21.83

Fuente: elaboración propia.

Los rendimientos generales para cada uno de los tratamientos no varían significativamente. Sin embargo, para los rendimientos en la etapa de extracción se observa que son mayores para los tratamientos realizados en un tiempo de 12 h. Teniendo en cuenta que la diferencia en los rendimientos es de 0.1232% se deben

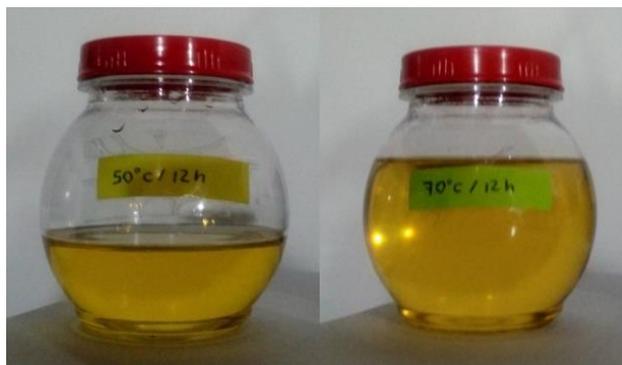
evaluar otros parámetros como la calidad del aceite, para establecer las condiciones a las que se llevará a cabo el escalamiento a nivel planta piloto.

De igual manera el aceite extraído para cada uno de los tratamientos presentó dos fases como se observa en la ilustración 16 y 17, por lo que se requiere la purificación de todas las muestras. Según Bernardini¹¹⁶, la segunda fase se genera debido a que durante el secado al incrementar la temperatura se coagulan los cuerpos albuminoides y precipitan los mucilaginosos contenidos en las células vegetales de la semilla, formando una especie de emulsión con el aceite.

Otra posibilidad que explica la aparición de una segunda fase se debe a la proporción de ácidos grasos saturados en el aceite, ya que los aceites con alto contenido de ácidos grasos saturados a temperatura ambiente son sólidos y se conocen como grasas. Teniendo en cuenta que el aceite de guanábana es una mezcla de ácidos grasos saturados-insaturados, la fracción que corresponde a los A.G saturados responde a la fracción sólida del mismo. Según Solís-Fuentes, J. A., *et al*¹¹⁷, la fracción sólida varía de acuerdo con la temperatura; en el caso específico del aceite de guanábana presenta un 1.3% de sólidos a 10°C.

3.2.7 Purificación del aceite. Se realizó por filtración, empleando un colador de tela para café con un filtro 100% de algodón, por un tiempo aproximado de 30 minutos en cada muestra. A pesar de que todos los tratamientos requieren ser purificados, únicamente se realizó para los tratamientos que presentaron los mejores rendimientos; los productos de esta etapa se presentan en la ilustración 18, donde se observa el aceite filtrado obtenido del tratamiento A1B2 (R) (lado izquierdo) y A2B2 (R) (lado derecho).

Ilustración 18. Aceite de guanábana filtrado.



Fuente: elaboración propia.

¹¹⁶ BERNARDINI, E (1986). *Tecnología de aceites y grasas*. Editorial Alhambra, S.A., España. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. p. 23. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

¹¹⁷ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 61-63.

Para ambos tratamientos la pérdida en el filtrado fue de 2.97% y 2.56% para las condiciones de 50°C a 12 h y 70°C a 12 h respectivamente. Dichas pérdidas se determinaron pesando el aceite filtrado y restándole del peso del aceite sin filtrar.

Una vez filtrados los aceites, se almacenaron en frascos de color ámbar de 250 mL debidamente rotulados para su posterior caracterización a cargo de la empresa Sigra S.A. Sin embargo, debido a la pandemia del COVID-19, la caracterización del aceite se realizó dos meses posteriores a la extracción del mismo.

3.3 BALANCES DE MATERIA POR TRATAMIENTO

Los porcentajes reportados en los balances de materia por tratamiento (véase anexo C) para cada una de las etapas del proceso están expresados con base en la alimentación inicial (semillas + impurezas), esto con el fin de dar un rendimiento general del proceso.

Teniendo en cuenta, que el porcentaje de impurezas en la alimentación se estableció como un 20.91% del total con base en el promedio a partir de tres mediciones realizadas (véase Anexo B). De manera similar, se asumió que el porcentaje de la pérdida de aceite en la etapa de filtración para los tratamientos A1B1, A1B2 y sus respectivas replicas es de 2.97% mientras que para los demás tratamientos junto a sus réplicas es de 2.56%.

Con base en los balances obtenidos y teniendo en cuenta las consideraciones en cuanto al porcentaje de impurezas y las pérdidas durante la filtración se consolidan los resultados en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados extracción por prensado en frío semillas de guanábana.

Tratamiento	A1B1	A1B1 R	A1B2	A1B2 R
Masa semillas (g)	1203.6	884.33	1346.1	1165.82
Presión (MPa)	44.75	44.75	44.75	44.75
Peso aceite (g)	97.42	98.28	127.6	131.92
Rendimiento aceite sin filtrar (%)	6.40	8.79	7.50	8.95
Peso aceite filtrado (g)	94.53	95.36	123.81	128.00
Rendimiento aceite filtrado (%)	6.21	8.53	7.27	8.68
Peso torta (g)	488.32	333	467.89	440
Tratamiento	A2B1	A2B1 R	A2B2	A2B2 R
Masa semillas (g)	1022.42	850.52	1903.98	1295.22
Presión (MPa)	44.75	44.75	44.75	44.75
Peso aceite (g)	87.71	101.06	213.83	119.05
Rendimiento aceite sin filtrar (%)	6.78	9.40	8.88	7.27
Peso aceite filtrado (g)	85.46	98.47	208.35	116
Rendimiento aceite filtrado (%)	6.61	9.16	8.65	7.08

Tabla 10. (Continuación)

Tratamiento	A2B1	A2B1 R	A2B2	A2B2 R
Peso torta (g)	376.54	313	650.35	484

Fuente: elaboración propia.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

La caracterización del aceite fue realizada por la empresa Sagra S.A. Los análisis fisicoquímicos realizados fueron: acidez, valor de peróxidos, índice de yodo e índice de saponificación y el perfil de ácidos grasos para las muestras A1B2 (R) y A2B2 (R). Estos se compararon con los análisis reportados por las investigaciones de la tabla 10 y con los límites máximos permitidos por la resolución 2154 de 2012.

3.4.1 Análisis fisicoquímicos. En la tabla 11 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras A1B2 (R) y A2B2 (R). Los análisis de acidez (%FFA), valor de peróxidos, índice de yodo e índice de saponificación fueron realizados por los métodos descritos en la NTC 218, AOCS Cd8b-90, NTC 283 y la NTC 335 respectivamente.

Tabla 11. Análisis fisicoquímicos del aceite reportados en otras investigaciones.

# Ref.	50°C	70°C	1 ¹¹⁸	2 ¹¹⁹	5 ¹²⁰	6 ¹²¹	Resolución 2154 de 2012	Unidad de medida
Método	Prensado en frío		Soxhlet	Soxhlet	Prensado en frío	Soxhlet		
Análisis								
%FFA (Oleico)	0.0377	0.0364	0.233±0.057	0.5±0.1	0.193±0.0196	3.366	0.1	% A. Oleico
Valor de peróxidos	7.50	15.00	-	-	3.87±0.104	1.73	20	meq O ₂ /kg
Índice de yodo	89.89	82.57	87.09±2.21	86.4±0.4	100.15±1.629	24.53	94	g yodo/100 g
Índice de saponificación	210.29	213.11	168.28±0.01	-	204.297±3.887	217.39	196	mg KOH/g

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 11 ambas muestras de aceite presentan valores similares de acidez, índice de yodo e índice de saponificación. Sin embargo, la muestra a 70°C presenta el doble de meq O₂/ kg de aceite frente a la muestra a 50°C, esto indica que al aumentar la temperatura el aceite aumenta su capacidad de enranciamiento.

¹¹⁸ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*, Op. cit., p. 61.

¹¹⁹ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 120.

¹²⁰ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 49.

¹²¹ MARTINEZ y ZUNIGA. Op. cit., p. 22.

El aceite de guanábana presenta niveles muy bajos de acidez, lo que se traduce en una cantidad mínima de ácidos grasos libres, según Tabio¹²² un alto contenido de ácidos grasos libres en el aceite se debe a la hidrólisis del mismo. A partir de esto, se puede inferir que el grado de hidrólisis del aceite de guanábana fue mínimo considerando que las condiciones de secado de la semilla fueron óptimas disminuyendo el contenido de humedad por debajo del 6% para ambos casos.

El índice de acidez de ambas muestras fue menor en comparación a los reportados en las demás investigaciones de la tabla 16. Mientras que el índice de peróxidos fue el más alto. Esto a causa de que los análisis se realizaron dos meses posteriores a la extracción y filtración del aceite. Según Tabio¹²³ la importancia del índice de peróxido radica en que un alto grado de oxidación puede destruir varias vitaminas liposolubles y algunos ácidos grasos esenciales restándole valor al aceite.

El índice de yodo está relacionado con el contenido de ácidos grasos insaturados del aceite, en el caso de las muestras presentan un 71.8% de estos ácidos, por lo que el índice de yodo es mayor a 82 en ambos casos. Al compararlo con el índice de yodo reportado por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹²⁴ este es mayor (100.15 g yodo/100 g), esto se debe a que el porcentaje de ácidos grasos insaturados obtenidos por ellos fue de 74.6%¹²⁵. Mientras que para el índice de saponificación este fue mayor a los reportados por Solís-Fuentes J. A., *et al*¹²⁶ y Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹²⁷ y menor al reportado por Martínez y Zúñiga¹²⁸.

Según la resolución 2154 de 2012 la dosis máxima para el índice de peróxidos y acidez permitida para aceites vegetales prensados en frío es de 20 meq O₂/kg de aceite y 0,1% respectivamente¹²⁹. La resolución no comprende los requerimientos para aceite de guanábana por lo que se comparan los requerimientos con los

¹²² TABIO, D., *et al.* (2017) *Extracción de aceites de origen vegetal*, Universidad tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. p. 50. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>.

¹²³ Loc. cit.

¹²⁴ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 49.

¹²⁵ *Ibíd.*, Op. cit., p. 52.

¹²⁶ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*, Op. cit., p. 61.

¹²⁷ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 49.

¹²⁸ MARTINEZ y ZUNIGA. Op. cit., p. 22.

¹²⁹ COLOMBIA. COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 2154 (8, agosto, 2012). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá, D.C, 2012. p. 28. [Consultado: 14 de julio de 2020]. Disponible en:

https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minsaludps_2154_2012.htm.

estipulados para los aceites de oliva virgen y extra virgen, el índice de saponificación para estos debe estar entre 184 y 196 mg KOH/ g mientras que el índice de yodo debe oscilar entre 75 y 94 g yodo/ 100 g.¹³⁰

Ambas muestras de aceite cumplen con los límites máximos para acidez, índice de peróxidos e índice de yodo estipulados en la resolución 2154. Sin embargo, el índice de saponificación está por encima del límite para aceites vírgenes.

3.4.2 Perfil de ácidos grasos. Sigrá S.A realizó el análisis cromatográfico de dos muestras de aceite (A1B2 (R) y A2B2 (R)) por el método AOCS Ce2-66 y Ce1a-13. En la tabla 13 se presenta el perfil de ácidos grasos para ambas muestras, el cual se compara con el perfil reportado por las demás investigaciones (tabla 12).

De acuerdo con el perfil de ácidos grasos de un aceite se puede determinar los usos del mismo a nivel industrial. En el caso de aceites con alto contenido de ácidos grasos saturados, estos se destinan a la producción de jabones, ya que según Ortuño¹³¹ a partir de aceites con ácidos grasos insaturados se obtienen jabones muy blandos, con una tendencia alta a la oxidación e inadecuados para formar pastillas con baja proporción de agua.

En cuanto a aceites con una relación elevada de ácidos grasos insaturados/saturados, estos son de gran valor en cuanto a la nutrición y salud, ya que estos se relacionan con la prevención del cáncer, enfermedades del corazón y trastornos autoinmunes.¹³² Cada uno de estos ácidos insaturados tiene una incidencia específica en la salud.

¹³⁰ *Ibíd.*, p. 24.

¹³¹ ORTUÑO, M. 2006. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. España. Ed. Aiyana, p.276. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 85. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

¹³² SAHENA, F *et al.* Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – A review. *Journal of Food Engineering*; 95, 240-253 (2009). Citado por: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 45. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

Tabla 12. Composición de ácidos grasos reportados en otras investigaciones.

# Ref.	1 ¹³³	2 ¹³⁴		3 ¹³⁵	4 ¹³⁶	5 ¹³⁷
Método A.G	Soxhlet	Soxhlet	FSC CO ₂	Soxhlet	FSC CO ₂	Prensado en frío
Mirístico	-	0.3±0.1	0.2±0.1	-	-	-
Palmítico	25.5	25.3±1.2	31.8±1.2	29.6	28.59	19.58
Palmitoleico	-	2.2±0.8	4.5±0.8	-	2.44	1.31
Estearico	6	4.2±0.1	-	5.89	3.98	5.23
Oleico	39.5	35.1±0.3	32.5±0.3	33.47	35.1	39.24
Linoleico	27	30.5±0.9	26.2±0.9	27.77	28.13	32.21
Linolénico	-	1.5±0.4	0.9±0.4	3.28	1.28	1.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Composición ácidos grasos aceite de guanábana.

Componente	50°C / 12 h	70°C / 12 h
C12:0 (LAURICO)	-	0.02
C13 (TRIDECANOATO)	0.03	-
C14 (MIRISTICO)	0.10	0.10
C16 (PALMITICO)	21.86	21.22
C16:1T	0.06	0.05
C16:1	1.73	1.52
C17:0	0.09	0.09
C17:1	0.07	0.07
C18 (ESTEARICO)	5.47	5.93
C18:1N9T (ELAIDICO)	-	0.03
C18:1 (OLEICO)	36.84	37.24
C18:2 11T (LINOELAIDICO)	0.02	0.03

¹³³ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al.* Op. cit., p. 62.

¹³⁴ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

¹³⁵ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 86.

¹³⁶ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 44.

¹³⁷ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 52.

Tabla 13. (Continuación)

C18:2 (LINOLEICO)	31.78	31.44
C20:0 ARAQUIDICO)	0.65	0.67
C18:3 (G-LINOLEICO)	-	0.12
C20:1 (EICOCIANATO)	0.19	0.28
C18:3N3 (LINOLÉNICO)	1.11	1.08
C22:0 (BEHENICO)	-	0.11
A.G.Insaturados (%)	71.8	71.86
A.G.Saturados (%)	28.2	28.14

Fuente: elaboración propia, con base en Sigra S.A.

Según la tabla 13 ambas muestras de aceite de guanábana presentan un perfil similar, ambos presentan mayoritariamente ácido oleico, linoleico, palmítico y esteárico al igual que los perfiles reportados en la tabla 12. Las muestras se diferencian debido a trazas de algunos ácidos grasos que no son comunes, en el caso del aceite a 50°C/12 h, este presenta trazas de ácido Tridecanoato que no presenta la otra muestra y de igual manera, la muestra a 70°C/12 h presenta trazas de ácido Laúrico, Elaidico, G-Linoleico y Behenico que no están presentes en la muestra a 50°C/ 12 h.

Los ácidos grasos oleico y linoleico son esenciales, ya que el cuerpo no los genera y deben ingerirse en la dieta. Según Castro y Herrera¹³⁸ el ácido oleico tiene una incidencia reduciendo los niveles de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad.

En el caso del ácido linoleico, este se considera esencial debido a que a partir de este se originan otros ácidos grasos como el araquidónico, el cual es fundamental para la formación y funcionalidad del sistema nervioso y visual de los humanos.¹³⁹

¹³⁸ Castro, M. y C. Herrera, Composición, caracterización y potencial aterogénico de aceites, grasas y otros derivados producidos o comercializados en Costa Rica, Acta Medica Costa Rica: 47, 36-42 (2005). Citado por: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 38. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

¹³⁹ VALENZUELA, A y NIETO, S. Ácidos grasos omega 6 y omega 3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. Rev. Chil. Pediatr. 2003, vol 74, nro.2. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 85. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135.

De igual manera y según Valenzuela y Morgado¹⁴⁰ este participa en varios procesos biológicos relacionados con la regeneración celular, por lo que su insuficiencia genera alteraciones dermatológicas. Debido a esto en la cosmética y dermofarmacia es ampliamente usado este ácido graso junto con otros ácidos grasos: esteárico, oleico, linoleico y laúrico. Estos últimos son empleados como compuestos emolientes que hidratan, suavizan y mejoran la flexibilidad de la piel además de reparar la epidermis.¹⁴¹

El ácido oleico de las muestras está por debajo del reportado por Solís-Fuentes, *et al*¹⁴² y Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁴³. Mientras que es mayor a los reportados por Restrepo y Vinasco¹⁴⁴; Cerón, Osorio y Hurtado¹⁴⁵ y Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁴⁶.

El ácido linoleico de las muestras está por debajo del reportado por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁴⁷. Mientras que es mayor a los reportados por Solís-Fuentes *et al*¹⁴⁸; Restrepo y Vinasco¹⁴⁹; Cerón, Osorio y Hurtado¹⁵⁰ y Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁵¹.

En el caso del ácido palmítico y esteárico ambos son ácidos grasos saturados no esenciales, estos son utilizados principalmente para la formulación de diversos

¹⁴⁰ VALENZUELA, A y MORGADO, N. Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. Rev. Chil. Nutr., Santiago, v.32, n. 2. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 86. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

¹⁴¹ BENAIGES, A. Aceite de rosa mosqueta: composición y aplicaciones dermocosméticas. *Offarm*. 2008, vol. 27, nro 6. pp. 94-97. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 86. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

¹⁴² SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 62.

¹⁴³ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 52.

¹⁴⁴ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

¹⁴⁵ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 86.

¹⁴⁶ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 44.

¹⁴⁷ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 52.

¹⁴⁸ SOLÍS-FUENTES, J. A., *et al*. Op. cit., p. 62.

¹⁴⁹ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

¹⁵⁰ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 86.

¹⁵¹ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 44.

productos cosméticos, jabones y cremas de afeitarse¹⁵². Según Martini¹⁵³ el ácido palmítico se utiliza específicamente como factor de consistencia o acidificación en las emulsiones.

El ácido palmítico de las muestras está por debajo del reportado por Solís-Fuentes, et al¹⁵⁴; Restrepo y Vinasco¹⁵⁵; Cerón, Osorio y Hurtado¹⁵⁶ y Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁵⁷. Mientras que es mayor al reportado por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁵⁸.

El ácido esteárico de las muestras está por debajo del reportado por Solís-Fuentes, et al¹⁵⁹ y el reportado por Cerón, Osorio y Hurtado¹⁶⁰ está en el intervalo entre los resultados de las muestras. Mientras que es mayor a los reportados por Restrepo y Vinasco¹⁶¹; Dorado, Hurtado-Benavides y Martínez-Correa¹⁶² y Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁶³.

Teniendo en cuenta la caracterización del aceite se puede evidenciar el potencial del aceite de guanábana como materia prima en la industria de alimentos y cosmética. Adicionalmente se deduce que el secado y el almacenamiento del aceite fue óptimo, ya que se conserva en buen estado tras dos meses de su extracción; a pesar de su facilidad a la oxidación debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados.

¹⁵² DANGAREMBIZI, R et al. The fatty acid composition and physicochemical properties of the underutilized *Cassia abbreviata* seed oil, *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*: 28(3), 1005-1008 (2015). Citado por: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 38. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005.

¹⁵³ MARTINI, M. introducción a la dermofarmacia y a la cosmetología., Ed, Acribia S.A., Zaragoza (España). p. 300. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 85. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

¹⁵⁴ SOLÍS-FUENTES, J. A., et al. Op. cit., p. 62.

¹⁵⁵ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

¹⁵⁶ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 86.

¹⁵⁷ DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 44

¹⁵⁸ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 52

¹⁵⁹ SOLÍS-FUENTES, J. A., et al. Op. cit., p. 62

¹⁶⁰ CERÓN, OSORIO y HURTADO. Op. cit., p. 86.

¹⁶¹ RESTREPO y VINASCO. Op. cit., p. 121.

¹⁶² DORADO, HURTADO-BENAVIDES y MARTÍNEZ-CORREA. Op. cit., p. 44

¹⁶³ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 52

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

De acuerdo con los rendimientos globales obtenidos en la parte experimental se determinó el efecto de cada una de las variables planteadas en el diseño de experimentos y su interacción sobre el rendimiento del proceso a partir de un análisis de varianza (ANOVA). Para la construcción de la tabla ANOVA (tabla 14) se deben calcular varios factores como: suma de cuadrados, GL (grados de libertad), cuadrado medio y el factor F_0 . El cálculo de cada uno de estos factores se presenta en el Anexo D.¹⁶⁴

El factor F_0 es el indicativo para determinar la significancia estadística de las variables en el rendimiento de la extracción. Para esto se debe contrastar cada F_0 de cada variable con el valor de $F_{1,4; 0,05}$, las variables tendrán un efecto significativo si el factor F_0 es mayor al valor contrastado.

Tabla 14. ANOVA para la extracción de aceite de guanábana.

FV	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón- F_0
Efecto A	0.08164088	1	0.08164088	0.04005538
Efecto B	0.176518637	1	0.17651864	0.08660516
Efecto AB	0.194652464	1	0.19465246	0.09550214
Error	8.152800452	4	2.03820011	
Total	8.605612434	7		

Fuente: elaboración propia.

Con base al análisis ANOVA se observa que ni la temperatura (A) ni el tiempo (B) ni la interacción de ambas (AB) tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el rendimiento del proceso, considerando que $F_{1,4; 0,05} = 7.709$.

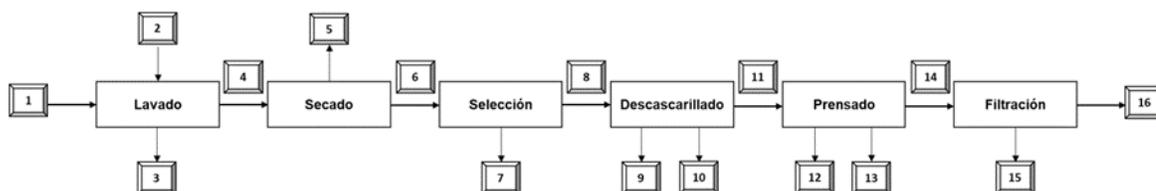
3.6 DISEÑO CONCEPTUAL PROCESO DE EXTRACCIÓN

Para el diseño conceptual se realizó el diagrama de bloques del proceso a partir de la descripción realizada en la sección 3.2. Una vez establecido, se determinó la capacidad instalada de la planta piloto con base en la producción nacional de guanábana. De acuerdo con la capacidad instalada y tomando como base las condiciones del tratamiento para el funcionamiento de la planta se planteó el diagrama de flujo de proceso. Los equipos se seleccionaron por catálogos comerciales de acuerdo con los requerimientos del proceso descrito en la sección 3.2 y a la capacidad de la planta.

¹⁶⁴ MODELOS DE diseños factoriales y diseños 2^k [Anónimo]. pp. 24-27.

3.6.1 Diagrama de bloques. De acuerdo con la descripción planteada en la sección 3.2 el proceso cuenta con 6 etapas sin contar con la etapa de recolección como se observa en la siguiente ilustración:

Ilustración 19. Diagrama de bloque extracción de aceite de guanábana



Corriente	Descripción	Corriente	Descripción
1	Semillas de guanábana + impurezas	9	Cascara de la semilla
2	Solución hipoclorito de sodio 50 ppm	10	Residuo del descascarillado
3	Solución hipoclorito de sodio + impurezas	11	Almendra de la semilla
4	Semillas limpias	12	Torta
5	Vapor de agua	13	Residuo del prensado
6	Semillas secas	14	Aceite + impurezas
7	Semillas no aptas	15	Residuo filtrado
8	Semillas aptas	16	Aceite filtrado

Fuente: elaboración propia.

3.6.2 Capacidad instalada. De acuerdo con el boletín técnico de la encuesta nacional agropecuaria ENA 2018 y 2019 emitido por el DANE, la guanábana se encuentra clasificada como cultivo frutal, en la división de demás frutales.

En el 2018 la producción de guanábana fue de 3,202 toneladas con una participación del 0.9% en el grupo de demás frutales. De igual manera el 76.3% del total se destinó para autoconsumo.¹⁶⁵ Sin embargo, la encuesta del primer semestre de 2019 no especifica la producción de guanábana; sino que indica que la producción de demás frutales fue de 440,419 toneladas.¹⁶⁶

A partir de esta información y asumiendo que la participación de la guanábana en cuanto a los demás frutales se mantiene constante al igual que el porcentaje de destino al autoconsumo, se estima que la producción nacional para autoconsumo

¹⁶⁵ DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2018. Bogotá D.C 2020. 41 p. [Consultado: 25 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>.

¹⁶⁶ DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) Primer semestre 2019. Bogotá D.C. 2020. 38 p. [Consultado: 27 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>.

en el primer trimestre de 2019 fue de 3,024.36 ton; lo que a su vez se refleja en una producción diaria de 16.8 ton, como se muestra en la tabla 15.

De acuerdo con la producción diaria de guanábana para autoconsumo y a que la proporción de la semilla con respecto al fruto es del 7.7% se estima que la generación diaria del residuo de semilla es de 1.293 ton (tabla 16).

Tabla 15. Producción nacional de guanábana 2019-1.

Año – semestre	2019-1
Producción nacional (ton)	3,964
Producción destinado a autoconsumo (ton)	3,024.36
Producción mensual (ton)	504.06
Producción diaria (ton)	16.80

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Generación diaria semilla de guanábana 2019-1.

Año - semestre	2019-1
Producción diaria (ton)	16.80
Residuo diario de semillas (ton)	1.29
Residuo diario de semillas (kg)	1,293.75

Fuente: elaboración propia.

Con base en la estimación de la generación de los residuos de semilla la capacidad de la planta piloto tendrá como fin tratar el 10% de los residuos totales generados que corresponden a 129.38 kg/día.

3.6.3 Diagramas de flujo de proceso. Con base en el proceso descrito en la sección 3.2 y al dimensionamiento de la planta (capacidad instalada) se estableció el diagrama de flujo (ilustración 20). De igual manera para el diseño conceptual de la planta se seleccionaron las condiciones de secado a 50°C por 12 h, basándonos en la calidad del aceite y su capacidad de conservación en comparación a la muestra de aceite a 70°C por el mismo tiempo.

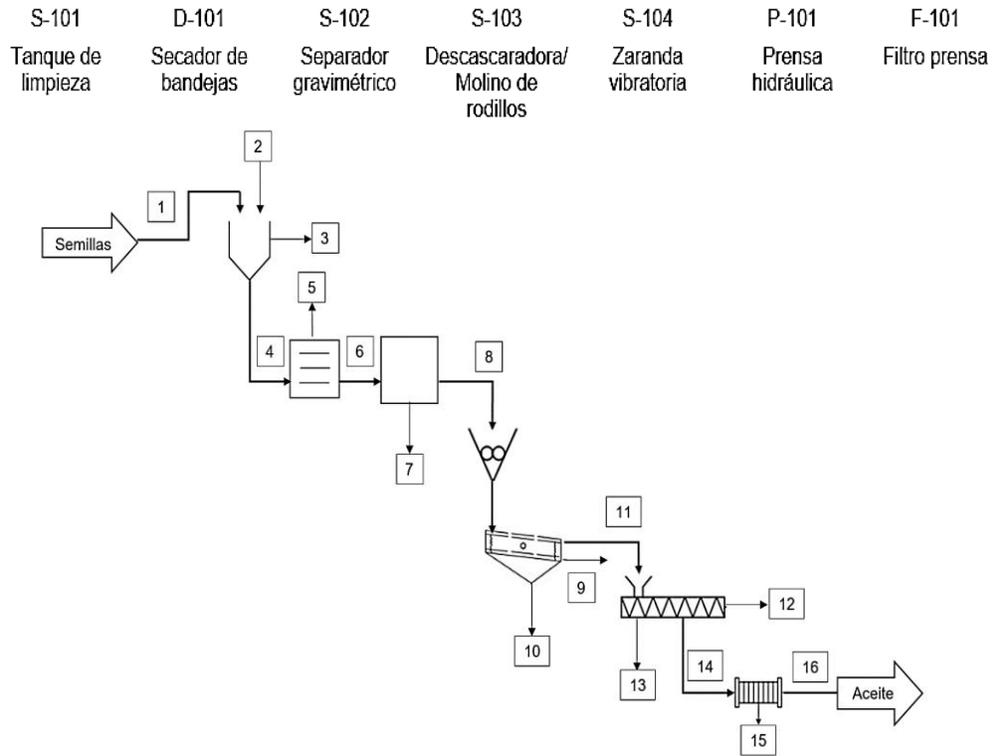
De acuerdo con la carga diaria que tratara la planta es de 163.58 kg (asumiendo un 20.91% de las impurezas en la alimentación) y considerando que la operación de secado es de 12 horas se planteará un proceso por lotes, para el cual se obtendrá aceite 1 vez a la semana según el programa de producción semanal descrito en la tabla 17. Es de destacar que las condiciones de secado son fáciles de manipular, por lo que el proceso al igual que el programa de producción son muy flexibles.

Tabla 17. Programa de producción planta extracción aceite de guanábana.

Semana 1						
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Tiempo x operación
Pesaje	x	x	x	x	x	-
Lavado	x	x	x	x	x	1
Secado	x	x	x	x	x	1
Selección		x	x	x	x	1
Almacenamiento		x	x	x	-	1
Descascarado					x	3,9
Prensado					x	5,1
Filtración					x	1
Tiempo (h)	2	4	4	4	13,09	14,08
Semana 2						
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Tiempo x operación
Pesaje	x	x	x	x	x	-
Lavado	x	x	x	x	x	1
Secado	x	x	x	x	x	1
Selección	x	x	x	x	x	1
Almacenamiento	x	x	x	x	-	1
Descascarado					x	4,9
Prensado					x	6,4
Filtración					x	1
Tiempo (h)	2	4	4	4	15,3	16,3
Semana 3						
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Tiempo x operación
Pesaje	x	x	x	x	x	-
Lavado	x	x	x	x	x	1
Secado	x	x	x	x	x	1
Selección	x	x	x	x	x	1
Almacenamiento	x	x	x	x	-	1
Descascarado					x	4,9
Prensado					x	6,4
Filtración					x	1
Tiempo (h)	2	4	4	4	15,3	16,3
Semana 4						
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Tiempo x operación
Pesaje	x	x	x	x	x	-
Lavado	x	x	x	x	x	1
Secado	x	x	x	x	x	1
Selección	x	x	x	x	x	1
Almacenamiento	x	x	x	x	-	1
Descascarado					x	4,9
Prensado					x	6,4
Filtración					x	1
Tiempo (h)	2	4	4	4	15,3	16,3

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 20. Diagrama de flujo extracción aceite de guanábana.



Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Semillas de guanábana + impurezas*	163,58															
Solución hipoclorito de sodio*		74,44														
Solución hipoclorito de sodio + impurezas*			108,65													
Semillas limpias*				129,38												
Perdida secado*					29,86											
Semillas secas*						99,51										
Semillas no aptas*							0,88									
Semillas aptas**								98,62								
Cascara de la semilla***									135,47							
Residuo descascarillado***										1,69						
Almendra***											257,32					
Torta												195,32				
Residuo prensado													3,44			
Aceite														58,56		
Residuo filtrado															1,74	
Aceite filtrado																56,82

*Flujo másico Kg/día

**Flujo másico Kg/día a almacenamiento hasta 5to día

***Flujo acumulado de 4 días Kg/día

PLANTA EXTRACCION ACEITE DE GUANABANA	
Evaluación técnico financiera de la obtención de aceite de guanábana (<i>Annona muricata</i>)	
LINEA EXTRACCION DE ACEITE	
AUTORES	1 de 1
2 de Julio de 2020	BFD

Fuente: elaboración propia.

3.6.4 Selección de equipos. De acuerdo con el diagrama de flujo y al programa de producción (tabla 17) se requieren los siguientes equipos e insumos:

- Báscula

Para el pesaje de la materia prima se debe emplear una báscula, para así preparar la solución de hipoclorito de sodio 50 ppm, para la etapa de limpieza y desinfección. La ficha técnica se encuentra en el anexo E.¹⁶⁷ Para el proceso se seleccionó una báscula de piso con una capacidad de 300 kg, teniendo en cuenta que la alimentación diaria es de 163.58 kg.

- Tanque de lavado

Para la etapa de limpieza de la materia prima se debe preparar una solución de hipoclorito de sodio 50 ppm. Teniendo en cuenta que por cada kg de alimentación a la planta se debe preparar una solución de 480 mL para lo cual se requieren de 0.024 g de hipoclorito de sodio. Si se emplea un hipoclorito de sodio al 5.25% para preparar la solución, se requerirá 0.45 mL de la solución concentrada por kilogramo de alimentación. Si la alimentación a la planta diaria es de 163.58 kg se debe preparar 78.52 L de solución, para esto se requiere tomar 74.78 mL de la solución concentrada y 78.44 L de agua. Como la planta operará 5 días a la semana (20 días al mes), se requerirá 1.495 L mensuales de hipoclorito de sodio comercial. El consumo de agua mensual para el lavado es de 1.568 m³.

A partir de la masa y volumen de partícula de la semilla se calcula el volumen total de la alimentación (asumiendo que el 100% son semillas) para dimensionar el tanque de lavado (véase anexo B).

Comercialmente se encuentran los siguientes equipos para el lavado de frutas: tanque de lavado manual, mesa de lavado, lavadora de tambor, lavadora por cepillado y lavadora por inmersión de la empresa Maquinoxjl S.A.S. En la tabla 18 se presentan los costos de adquisición de los equipos anteriormente mencionados.

Tabla 18. Cotización equipos de lavado.

Equipo	Capacidad (kg/h)	Cant.	Precio
Tanque de lavado manual	100	1	\$ 3.200.000
Mesa de lavado	-	1	\$ 4.900.000
Lavadora de tambor	100-3000	1	\$ 12.800.000
Lavadora por cepillado	100-3000	1	\$ 19.900.000
Lavadora por inmersión	100-3000	1	\$ 13.800.000

Fuente: elaboración propia, con base en MAQUINOXJL S.A.S. Maquinaria en acero inoxidable [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible: <https://www.maquinoxjl.com/linea-frutas/>

¹⁶⁷ ZINGAL [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.grupozingal.co/producto/bascula-de-recibo-300kg/>

Teniendo en cuenta el costo de cada equipo, el tiempo de retención de la alimentación en esta etapa (10 minutos) y el funcionamiento se selecciona el tanque de lavado manual de la empresa Maquinoxjl S.A.S. La ficha técnica se encuentra en el anexo F.

- Estufa de secado

La estufa operara a diario durante 12 h a una temperatura constante de 50°C con una carga máxima de 129.38 kg. Las semillas permanecerán en la estufa hasta el día siguiente para la selección de las mismas de acuerdo al programa de producción.

Comercialmente se encuentran una gran variedad de hornos secadores de bandejas. Sin embargo, su capacidad es limitada. El cálculo para determinar la capacidad de las semillas del Deshidratador LIBC5 de la empresa INDUCAM¹⁶⁸ se encuentra en el Anexo B.

Tabla 19. Cotización equipos de secado.

Equipo	Capacidad (kg)	Cant.	Precio x und.	Precio total
Deshidratador LIBC 5	21	7	\$ 21.900.000	\$ 153.300.000
Oreadora secadora AS-10	690	1	\$ 8.410.749	\$ 8.410.749

Fuente: elaboración propia.

Con base en la capacidad limitada del deshidratador y su alto costo se opta por emplear una Oreadora secadora AS-10 comercializada por Tecnatrop SRL, la cual tiene una capacidad de 690 kg/h. La ficha técnica se encuentra en el anexo G.¹⁶⁹

- Seleccionador de semillas

La selección de las semillas se realiza al día siguiente del secado de las mismas, dándoles tiempo a estas de que se enfríen dentro de la estufa. Comercialmente se encuentran dos tipos de seleccionadoras: gravimétrica y densimétrica. En la tabla 20 se presentan la capacidad y los costos asociados a los equipos.¹⁷⁰

Teniendo en cuenta que el seleccionador densimétrico tiene una capacidad 1.6 veces mayor a la gravimétrica y su costo es 23 veces mayor, se opta por la seleccionadora gravimétrica, la cual es comercializada por Tecnatrop SRL. La ficha técnica de esta se encuentra en el anexo H.¹⁷¹

¹⁶⁸ INDUCAM. Deshidratador LIBC5 [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/deshidratador-libc5/>

¹⁶⁹ COOPERACION ALEMANA AL DESARROLLO. Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao [sitio web]. Lima, Perú; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: https://energypedia.info/images/0/08/Maquinaria_para_Cacao.pdf

¹⁷⁰ Loc. cit.

¹⁷¹ Loc. cit.

Tabla 20. Cotización equipos de selección.

Equipo	Capacidad (kg/h)	Cant.	Precio x und.	Precio total
Seleccionadora gravimétrica IMSA-3	2000	1	\$ 2.296.010	\$ 2.296.010
Seleccionadora densimétrica MVF-1X	3600	1	\$ 53.812.238	\$ 53.812.238

Fuente: elaboración propia.

- Tanque de almacenamiento

Teniendo en cuenta que el acondicionamiento de la semilla se realiza a diario y la extracción del aceite se realiza al 5to día con el fin de almacenar una cantidad suficiente de semilla para obtener 63 L de aceite.

La empresa GRAINPRO presenta una amplia variedad de silos portátiles y bolsas herméticas diseñadas para la conservación de las semillas. Teniendo en cuenta que la máxima carga diaria de semilla a almacenar es de 98.62 kg, y que el acumulado de 4 días es de 394.49 kg se descartan los silos verticales y se opta por las bolsas herméticas. En la tabla 21 se hace un comparativo de precios de acuerdo a la capacidad de las SuperGrainbag Premium RZ y la cantidad de bolsas requeridas para el proceso.

Para determinar el número de bolsas se tuvo en cuenta un 20% de sobredimensionamiento sobre el acumulado de semillas a almacenar (394.49 kg) dando un total de 473.39 kg.

Tabla 21. Cotización bolsas herméticas.

SuperGrainbag Premium RZ	Dimensiones (cm)	Capacidad (kg)	Cant.	Precio x Und	Precio total
Pequeña	40 x 70	15	32	\$ 5.100	\$ 163.200
Mediana	65 x 80	30	20	\$ 7.550	\$ 151.000
Grande	72 x 110	69	7	\$ 10.900	\$ 76.300

Fuente: elaboración propia, con base en GRAINPRO. Storing the future [sitio web]. Massachusetts; [Consultado: 1 julio de 2020]. Disponible en: <https://www.grainpro.com/es/superbolsa-zipper>.

Teniendo en cuenta los costos de las bolsas y la cantidad requerida por cada tamaño se opta por el tamaño grande. Estas bolsas tienen un mecanismo de cierre 2 Track PE Zipper y son reutilizables.

- Descascarilladora

Transcurrido los 4 días de acondicionamiento de la semilla se realiza el descascarillado de la misma. Para esta operación, se encuentran 5 referencias de

descascarilladora de tres empresas: INDUCAM¹⁷², MAQUIAGRO¹⁷³ y CREDISA¹⁷⁴. En la tabla 22 se presenta un comparativo de precios y la productividad de cada equipo y el tiempo que operara según la alimentación (394.49 kg).

Tabla 22. Cotización descascarilladoras.

Equipo	Capacidad (Kg/h)	Precio	Tiempo de operación (h)
Descascaradora eléctrica INDUCAM	300 - 500	\$ 10.460.000	1
Descascaradora diésel INDUCAM	300 - 500	\$ 15.740.000	1
Peladora de Sacha Inchi INDUCAM	200 - 300	\$ 13.650.000	1.31
Descascaradora manual INDUCAM	5 - 15	\$ 583.000	26.29
Descascarilladora de cacao desc-100 MAQUIAGRO	100	\$ 6.521.000	3.94
Peladora de cacao PEL-1 CREDISA	140	\$ 17.390.400	2.81
Peladora de cacao PEL-2 CREDISA	160	\$ 22.462.600	2.46
Peladora de cacao PEL-3 CREDISA	180	\$ 27.172.500	2.19
Peladora de cacao PEL-4 CREDISA	200	\$ 30.795.500	1.97

Fuente: elaboración propia.

A partir de la tabla 22 se opta por la Descascarilladora de cacao desc-100. La ficha técnica se encuentra en el anexo I.

- Zaranda vibratoria

Teniendo en cuenta que el porcentaje de residuo que se genera en la etapa de descascarillado es del 0.25% con respecto a la alimentación inicial, se generaría un total de 1.69 kg. Esta cantidad es mínima con respecto a la cantidad de almendra por lo que se descarta el uso de la zaranda vibratoria.

- Prensa hidráulica

Comercialmente se encuentran 4 referencias de prensas para la extracción de aceites de Higuierilla, Jatropha y Sacha Inchi de la empresa INDUCAM¹⁷⁵. Estas semillas son similares morfológicamente a la semilla de guanábana. En la tabla 23 se presentan la capacidad de cada prensa, la cantidad de equipos requeridos para la extracción de la semilla y su respectivo costo de adquisición.

¹⁷² INDUCAM [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/>

¹⁷³ COOPERACION ALEMANA AL DESARROLLO. Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao [sitio web]. Lima, Perú; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: https://energypedia.info/images/0/08/Maquinaria_para_Cacao.pdf

¹⁷⁴ Loc. cit.

¹⁷⁵ INDUCAM [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/>

Tabla 23. Cotización prensas para aceites vegetales.

Equipo	Capacidad (Kg/h)	Cant.	Precio x und	Precio total
Prensa LIBC2	12	4	\$ 12.550.000	\$ 50.200.000
Prensa LIBC3	50-60	1	\$ 22.680.000	\$ 22.680.000
Prensa LIBC7	100-120	1	\$ 37.750.000	\$ 37.750.000
Prensa hidráulica LBC6	60	1	\$ 28.400.000	\$ 28.400.000

Fuente: elaboración propia.

En base a los costos de adquisición se opta por la prensa LIBC 3, la ficha técnica se encuentra en el Anexo J.

- Filtro prensa

Comercialmente se encontró una referencia de filtro prensa modelo LBC. 10 PLUS para la purificación de aceites comestibles, esta es comercializada por la empresa INDUCAM¹⁷⁶. Este tiene la capacidad de purificar entre 60 – 400 litros por hora de aceite, la ficha técnica se encuentra en el Anexo K.

¹⁷⁶ Loc. cit.

4. COSTOS DEL PROCESO

Con el fin de determinar los costos que acarrea este tipo de proceso, se consolidaron los costos de adquisición de los equipos descritos en la sección 3.6.4 (tabla 24). De igual manera, se establecieron los costos de operación mensuales de acuerdo con sus requerimientos de energía y al tiempo estimado de operación (tabla 25).

Adicionalmente se planteó una proyección de ingresos por ventas del aceite de guanábana.

Tabla 24. Costos de adquisición de equipos planta extracción de aceite de guanábana.

Equipo y/o insumo	Capacidad (Kg/h)	Cant.	Precio total
Bascula de piso Zingal	300*	1	\$ 677.600
Tanque de lavado manual Maquinoxjl	100*	1	\$ 3.200.000
Oreador secador IMSA AS-10	690	1	\$ 8.410.749
Seleccionadora gravimétrica IMSA-3	2000	1	\$ 2.296.010
SuperGrainbag Premium RZ	69*	7	\$ 76.300
Descascarilladora de cacao Desc-100 Maquiagro	100	1	\$ 6.521.000
Prensa LIBC 3	50 - 60	1	\$ 22.680.000
Filtro LBC 10 PLUS	60 - 400**	1	\$ 15.300.000
Total		14	\$ 59.161.659

*Kilogramos

**Litros

Fuente. elaboración propia.

Según la tabla 24 la inversión necesaria para la adquisición de los equipos es de \$59.161.659. Sin embargo, estos costos se pueden disminuir si se realizan varias etapas manualmente como es el caso de la selección de las semillas y el descascarillado de las mismas. Aun así, se tendría que modificar el programa de producción y tener en cuenta la afectación física que puede tener la realización manual del descascarillado empleando la descascaradora manual de la empresa INDUCAM. En contraste al descascarillado la selección de las semillas es más fácil de realizar manualmente siempre que se manejen cantidades moderadas.

Bajo ambas suposiciones se debe tener en consideración los costos asociados a la mano de obra de los operarios de la planta. Sin embargo, en este proyecto no se tuvo en consideración este aspecto.

Los costos mensuales de operación incluyen los costos asociados al consumo de energía de cada uno de los equipos al igual que los costos asociados a la preparación de la solución de hipoclorito de sodio 50 ppm para la etapa de lavado, este costo es de \$ 7.316. Teniendo en cuenta que el costo por metro cúbico de agua

para la zona industrial es de \$3.710¹⁷⁷ y que se emplea hipoclorito de sodio comercial al 5.25% en presentación de 2000 ml a un costo de \$1.999¹⁷⁸.

Para determinar el consumo de energía de cada uno de los equipos se tomó la potencia de cada equipo y se multiplicó por el tiempo de operación, de esa manera se obtuvieron los kWh consumidos y tomando como base la tarifa establecida por la empresa Enel sobre el precio de 1 kWh para la zonas industriales es de \$ 599.72¹⁷⁹, se calculó el costo de energía diario de cada equipo. A partir de este y teniendo en cuenta el programa de producción se multiplicó el consumo de cada equipo por el respectivo número de días en que operara cada uno. En la tabla 25 se observa el costo de energía asociado al consumo de energía por equipo.

Tabla 25. Costo de energía asociado al consumo de energía por equipo.

Equipo y/o insumo	Potencia (kW)	1ra semana		2,3 y 4 semana		Costo de energía
		Horas	Días	Horas	Días	
Báscula de piso Zingal	-	-	5	-	15	-
Tanque de lavado manual Maquinoxjl	-	-	5	-	15	-
Oreador secador IMSA AS-10	5	12	5	12	15	\$ 719.664
Seleccionadora gravimétrica IMSA-3	5	1	4	1	15	\$ 56.973
SuperGrainbag Premium RZ	-	-	-	-	-	-
Descascarilladora de cacao Desc-100 Maquiagro	2.05	3.94	1	4.93	3	\$ 23.045
Prensa LIBC 3	3.73	5.14	1	6.43	3	\$ 54.685
Filtro LBC 10 PLUS	0.7457	1	1	1	3	\$ 1.789
Total						\$ 856.156

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla 25 el equipo que más consume energía es el Oreador secador representando el 84.05% del requerimiento total de energía; por lo que para disminuir los costos de operación se debe buscar alternativas para el secado de las semillas, de manera que las semillas secas tengan una humedad de 3.93%, que asegure su conservación.

Al costo calculado en la tabla 25 se debe sumar el costo para la preparación de la solución de hipoclorito de sodio dando un total de \$ 859.815 para el primer mes de

¹⁷⁷ ACUEDUCTO. Agua y alcantarillado de Bogotá: tarifas 2020 [sitio web]. Bogotá D.C., 18 de febrero de 2020. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2020!/ut/p/z1/nZFN4NAEIZ_Sw8e64yTrSy9rZJqG4jZFImdS9BgN4Jxg7GV_vtKCqUWSUPnNsPzzsc7wJABN_I7ZfKusk1eD_kL-9uF9CmOJC0ILQRqT83jYK4oiQk2Z8DXIXoSaYmCQtTPq2CdpKG38gTwnXochcJgTcEMMUroP_qfna7TXwD4cvsN8Bn5diDyHxC1jhRKMRwi7n4DEExZND8I78NcWT8CmtsXXw1RTzKQBbsvXsi1b960dyvuuO57uHXSw73vXWGvq0t3Zg4NTkr09dZCNSTge0jTNsHq85eKjVzefYZwUaw!!/dz/d5/L2dB1SEvZ0FBIS9nQSEh/

¹⁷⁸ TIENDAS D1. Domicilios [sitio web]. Bogotá D.C., [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://domicilios.tiendasd1.com/aseo-hogar/limpieza-superficies-y-cocina/blanqueador-brillaking-2000-ml>

¹⁷⁹ ENEL COLOMBIA. Tarifas de energía Enel-Codensa [sitio web]. Bogotá D.C., julio de 2020. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>

operación como se evidencia en la tabla 26. Para el resto de meses la carga mensual a la descascarilladora y la prensa aumenta en 98.62 kg, incrementando la producción mensual de 269.9 kg a 284.1 kg.

De manera consecuente al incremento de la producción se incrementa el tiempo de operación de la descascarilladora y la prensa en 0.99 y 1.29 h respectivamente, lo que a su vez aumenta los costos de operación mensuales de \$ 859.815 a \$ 866.904.

Tabla 26. Costos mensuales de operación planta piloto extracción de aceite de guanábana.

Mes	Producción mensual (kg)	Costo operación
Enero	269.90	\$ 859.815
Febrero	284.10	\$ 866.904
Marzo	284.10	\$ 866.904
Abril	284.10	\$ 866.904
Mayo	284.10	\$ 866.904
Junio	284.10	\$ 866.904
Julio	284.10	\$ 866.904
Agosto	284.10	\$ 866.904
Septiembre	284.10	\$ 866.904
Octubre	284.10	\$ 866.904
Noviembre	284.10	\$ 866.904
Diciembre	284.10	\$ 866.904
Producción anual	3395.03	\$ 10.395.760

Fuente. elaboración propia.

Debido a que el aceite de guanábana no es comercializado en Colombia se realizó una proyección de ingresos por ventas tomando el valor del litro de aceite de guanábana comercializado por Best Nature's Cosmetics, quienes comercializan el aceite en presentación de 2 oz (59.14 mL) a un costo de US\$ 22.41¹⁸⁰.

Se asumió la densidad del aceite reportada por Nonalaya y Marcañaupa de la Cruz¹⁸¹ de 0.925 g/mL, a partir de este se calculó la producción mensual en litros y de acuerdo al precio comercial se determinaron los ingresos por ventas como se observa en la tabla 27.

Tabla 27. Proyección ingresos por ventas.

Mes	Producción mensual (L)	Ingresos por ventas*
Enero	291.78	\$ 419.000.786
Febrero	307.14	\$ 441.053.459
Marzo	307.14	\$ 441.053.459

¹⁸⁰ AMAZON. Aceite de guanábana de Graviola de Virgin Soursop (orgánico, sin diluir, sin refinar) 2.0 fl oz [sitio web]. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/guanabana-Graviola-Soursop-org%C3%A1nico-refinar/dp/B07F2WN22T#customerReviews>

¹⁸¹ NONALAYA y Marcañaupa de la Cruz. Op. cit., p. 49.

Tabla 27. (Continuación)

Mes	Producción mensual (L)	Ingresos por ventas*
Abril	307.14	\$ 441.053.459
Mayo	307.14	\$ 441.053.459
Junio	307.14	\$ 441.053.459
Julio	307.14	\$ 441.053.459
Agosto	307.14	\$ 441.053.459
Septiembre	307.14	\$ 441.053.459
Octubre	307.14	\$ 441.053.459
Noviembre	307.14	\$ 441.053.459
Diciembre	307.14	\$ 441.053.459
Producción anual	3670.30	\$ 5.270.588.838

Fuente: elaboración propia.

*El valor de los ingresos se calculó a un costo de dólar igual a \$ 3789.

Teniendo en cuenta los bajos costos de operación y la productividad asociada al proceso, la extracción de aceite de guanábana tiene gran potencial no solamente como alternativa a su disposición como residuo sino como idea de negocio si logra posicionarse en el mercado.

5. CONCLUSIONES

- Tras realizar la determinación de las propiedades físicas de la semilla se concluye que estas tienen una facilidad de flujo y su compresibilidad es baja en comparación con otras semillas, de igual manera al realizar el análisis proximal de las semillas se determinó que presentan un contenido de humedad (30.65%) mayor a las semillas provenientes de Venezuela y Perú y muy similar a las semillas de México. En cuanto a la pureza de la semilla se obtuvo un valor de cenizas (1.34%) menor a las semillas de México y similar a las semillas de Venezuela y Perú.
- De acuerdo con la bibliografía y con la intención de obtener un aceite que sea apto para su uso en industrias de alimentos, se seleccionó el método de prensado en frío. Este método fue adecuado en cuanto a que se obtuvo un aceite que se conserva en buen estado tras dos meses de su extracción y cumple con los límites estipulados en la resolución 2154 de 2012 para aceites vegetales.
- El diseño conceptual para la producción de aceite de guanábana a nivel planta piloto se planteó como una producción por lotes, para lo cual se creó un programa de producción; en este se establece que la planta operará 5 días a la semana, y diariamente se realizará el acondicionamiento de la semilla mientras que la etapa de descascarillado, extracción y purificación se realizará una vez a la semana con las semillas acondicionadas acumuladas hasta el quinto día. Esto con el fin de operar los equipos por días específicos, disminuyendo los costos de operación del proceso. Para el acondicionamiento de la semilla se seleccionaron los siguientes equipos: Báscula de piso Zingal, Tanque de lavado manual Maquinoxl, Oreador secador IMSA AS-10 y una Seleccionadora gravimétrica. Mientras que para la etapa de extracción y purificación se seleccionaron: una Descascarilladora de cacao Desc-100, una Prensa tipo *expeller* LIBC3 y un Filtro prensa LBC 10 PLUS. Además, se seleccionaron 7 bolsas herméticas SuperGrainbag Premium RZ con capacidad de 69 kg cada una para el almacenamiento y conservación de las semillas hasta la extracción del aceite de las mismas.
- Los costos de adquisición de los equipos ascienden a \$ 59.161.659 mientras que para tratar una alimentación diaria de 163.58 kg los costos de operación para el primer mes ascienden a \$ 859.815 con una producción de 269.90 kg de aceite de guanábana. La producción de aceite y los costos de los meses posteriores ascienden a 284.10 kg y \$ 866.904 respectivamente. En el término de un año se obtiene una producción de 3.395 ton de aceite de guanábana con unos costos de operación de \$10.395.760.

6. RECOMENDACIONES

- Sería conveniente realizar la composición de esteroides del aceite extraído por prensado en frío, ya que estos compuestos le dan un valor agregado al aceite y podría ampliar sus aplicaciones en las industrias de cosméticos y farmacéutica.
- Para asegurar la idoneidad del aceite como materia prima en la industria de alimentos se requiere realizar un análisis toxicológico.
- Teniendo en cuenta los costos asociados a la extracción de aceite de guanábana se requiere un estudio financiero completo para determinar la viabilidad del proceso y la rentabilidad del mismo.

BIBLIOGRAFIA

ACUEDUCTO. Agua y alcantarillado de Bogotá: tarifas 2020 [sitio web]. Bogotá D.C., 18 de febrero de 2020. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2020!/ut/p/z1/nZFN4NAEIZ_Sw8e64yTrSy9rZJqG4jZFImdS9BgN4Jxg7GV_vtKCqUWSUPnNsPzzsc7wJABN_I7ZfKusk1eD_kL-9uF9CmOJC0ILQRqT83jYK4oiQk2Z8DXIXoSaYmCQtTPq2CdpKG38gTwNXochcJgTcEMMUroP_qfna7TXwD4cvsN8Bn5diDyHxC1jhRKMRwi7n4DExZNDBI78NcWT8CmtsXXw1RTzKQBbsvXsi1b960dyvuuO57uHXSw73vXWGVq0t3Zg4NTkr09dZCNSTge0jTNshq85eKjVzefYZwUaw!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

AMAZON. Aceite de guanábana de Graviola de Virgin Soursop (orgánico, sin diluir, sin refinar) 2.0 fl oz [sitio web]. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/guanabana-Graviola-Soursop-org%C3%A1nico-refinar/dp/B07F2WN22T#customerReviews>

ARAQUE, R: 1967. *La guanábana*. Venezuela, Consejo de Bienestar Rural. Serie de Cultivos N°13. 15 p. Citado por: BARAONA, Marcía y SANCHO, Ellen. Fruticultura Especial: Guanábana y Macadamia [en línea]. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. 1992, 88 p. [Consultado: 5 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=w4OPt7mFaA0C&printsec=frontcover&dq=fruticultura+guanabana+y+macadamia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjzycGE8NTqAhVEZN8KHSNFBUMQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9977-64-667-8

BAILEY, Alton Edward. Aceites y grasas industriales. Reverté S.A, 1961. 740 p. ISBN 84-291-7901-1

BARAONA, Marcía y SANCHO, Ellen. Guanábana y Macadamia. En: Fruticultura Especial: 5 [en línea]. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. 1992. 88 p. [Consultado: 5 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=w4OPt7mFaA0C&printsec=frontcover&dq=fruticultura+guanabana+y+macadamia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjzycGE8NTqAhVEZN8KHSNFBUMQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q&f=false>. ISBN 9977-64-667-8

BENAIGES, A. Aceite de rosa mosqueta: composición y aplicaciones dermocosméticas. *Offarm*. 2008, vol. 27, nro 6. pp. 94-97. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). *En: Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 81-87.

[Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

BERNARDINI, E (1986). *Tecnología de aceites y grasas*. Editorial Alhambra, S.A., España. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. 93 p. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

BRAINLY. ¿cómo medirías la masa de un grano de arroz? [en línea]. [Consultado: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://brainly.lat/tarea/237472>

CALLE SAAVEDRA, Isrrael. LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y SU INCIDENCIA EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA BOTÁNICA DE GUANABANA (ANNONA MURICATA) EN EL VIVERO EXPERIMENTAL DE LA CANTUTA [en línea]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, 2015. 93 p.

CARRASCO, José. Extracción de aceite de palmiste: procesos. En: *Revista Palmas* [en línea]. 1995, vol. 16, nro. Especial. p. 129-137. [Consultado: 7 de julio de 2020]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/505/505>

CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5.000 hectáreas. En: *Agronegocios* [en línea]. Colombia: LA REPUBLICA S.A.S, mayo, 2019. [Consultado: 5 de julio de 2019]. Disponible en <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876#>

Castro, M. y C. Herrera, Composición, caracterización y potencial aterogénico de aceites, grasas y otros derivados producidos o comercializados en Costa Rica, *Acta Medica Costa Rica*: 47, 36-42 (2005). DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 37-48. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 81-

87. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 2154 (8, agosto, 2012). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá, D.C, 2012. p 1-47. [Consultado: 14 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minsaludps_2154_2012.htm

COOPERACION ALEMANA AL DESARROLLO. Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao [sitio web]. Lima, Perú; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: https://energypedia.info/images/0/08/Maquinaria_para_Cacao.pdf

DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2017. Bogotá D.C. 2019. 31 p. [Consultado: 4 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>

DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2018. Bogotá D.C 2020. 41 p. [Consultado: 25 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>

DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) Primer semestre 2019. Bogotá D.C. 2020. 38 p. [Consultado: 27 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>

DANGAREMBIZI, R et al. The fatty acid composition and physicochemical properties of the underutilized *Cassia abbreviata* seed oil, *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*: 28(3), 1005-1008 (2015). Citado por: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 37-48. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

DE MICHELIS, Antonio, *et al.* Cambios de volumen, área superficial y factor de forma de Heywood durante la deshidratación de cerezas (*Prunus avium*). En: *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea]. 2008, vol. 28, nro. 2. p. 317-321. [Consultado: 13 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0101-20612008000200008&lng=en&nrm=iso. ISSN 0101-2061

DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 37-48. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 237-245. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

ENEL COLOMBIA. Tarifas de energía Enel-Codensa [sitio web]. Bogotá D.C., julio de 2020. [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>

FAO. Fichas técnicas Productos frescos de frutas. 2014. 78 p. [Consultado: 3 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/bd3a44bf-b4cd-4095-9b25-36b4f73b73ba/>

FLÓREZ, Yesid y MARTÍNEZ, Elizabeth. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN SEMILLAS DE *Annona muricata* DE LA REGIÓN CAFETERA [en línea]. Trabajo de grado Tecnólogo químico. Pereira. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. Tecnología química, 2010. 76 p. [Consultado: 21 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1828>

GIRALDO Y., Hermógenes; VELÁSQUEZ J., Jorge y CUARTAS A., Paola. Extracción con solventes y purificación de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas*. En: *Investigaciones Aplicadas* [en línea]. Julio-diciembre, 2010, vol. 4, nro. 2. pp. 77-86. [Consultado: 9 de julio de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3688108>. ISSN 2011-0413

GRAINPRO. Storing the future [sitio web]. Massachusetts; [Consultado: 1 julio de 2020]. Disponible en: <https://www.grainpro.com/es/superbolsa-zipper>

GRASSO, Florencia Verónica. Diseño del proceso: pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna [en línea]. Tesis de doctorado en ingeniería. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química, 2013. 194 p. [Consultado: 23 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26889>

HUGO, David; AÑAZCO, Eduardo y GUZMAN, Diego. LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS [en línea]. Escuela superior politécnica del litoral. 2016. P. 1-18. [Consultado: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/DiegoGuzmanSilva/prctica-3-20161123-lab-analisis-determinacin-de-cenizas>

INDUCAM. Deshidratador LIBC5 [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/deshidratador-libc5/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del Índice de Acidez y de la Acidez. NTC 218. 3 ed. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2011. 6 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del Índice de peróxido. NTC 236. 2 ed. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2011. 7 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Grasas y Aceites vegetales y Animales. Determinación del Índice de saponificación. NTC 335 Bogotá D.C.: ICONTEC, 1998. 5 p.

JAIN R K. AND BALL S., 1997. Physical properties of Pearl millet. J. Agric. Eng. Res., 66, 85-91. Citado por: MILANI, E., *et al.* Moisture dependent physical properties of curcubit seeds. En: *Int Agrophysics*. 2007, vol. 21, p. 157-168. [Consultado: 28 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.old.international-agrophysics.org/en/issues.html?stan=detail&vol=21&numer=2&paper=656&i=7>. ISSN 0236-8722

JHA S N (1999). Physical and hygroscopic properties of makhana. Journal of Agricultural Engineering Research, 72(2), 145-150, doi:10.1006/jaer.1998. 0356. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 237-245. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

KIRK Ronald S., SAWYER Ronald, EGAN Harol; Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson; Editorial Continental; Págs. 25 – 50. Citado por: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. 165 p. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

LOPEZ, Joaquín. La guanábana nacional llegaría a 60.000 toneladas producidas al cierre de este año. En: *Agronegocios* [en línea]. Colombia: LA REPUBLICA S.A.S, marzo, 2019. [Consultado: 5 de julio de 2019]. Disponible en:

<https://www.agronegocios.co/agricultura/la-guanabana-nacional-llegaria-a-60000-toneladas-producidas-al-cierre-de-este-ano-2844095>

MACHADO OSPINA, Julio Ernesto. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia, 2001. 231 p. [Consultado: 1 de mayo de 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=2DWmqb6xP3wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=snippet&q&f=false

MAQUINOXJL S.A.S. Maquinaria en acero inoxidable [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible: <https://www.maquinoxjl.com/linea-frutas/>

MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. 165 p. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

MARTÍNEZ, J. y ZÚNIGA, G. Extracción de aceite de la semilla de guanábana (*Annona muricata* L) a nivel laboratorio, aplicando los métodos de extracción soxhlet y arrastre con vapor de agua [en línea]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. 38 p. [Consultado 10 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/2428>

MARTINI, M. introducción a la dermofarmacia y a la cosmetología., Ed, Acribia S.A., Zaragoza (España). p. 300. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). *Revista de ciencias agrícolas*. 2012, vol. 29, nro. 1. pp. 81-87.

MASSON, Lilia. Métodos Analíticos Para La Determinación De Humedad, Alcohol, Energía, Materia Grasa Y Colesterol En Alimentos. En: MORON, Cecilio; ZACARIAS, Isabel y SATURNINO DE, Pablo, eds. *PRODUCCION Y MANEJO DE DATOS DE COMPOSICION QUIMICA DE ALIMENTOS EN NUTRICION*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, 1997. pp. 147-163

MCCABE, Warren; SMITH, Julian y Harriott Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. 7th ed. México: McGrawHill, 2007. 1211 p. [Consultado: 9 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/16909707/LIBRO_operaciones_unitarias_en_ingenieria_quimica_7ma_ed

MODELOS DE diseños factoriales y diseños 2^k [Anónimo]. pp. 1-45.

MOHSENIN N N (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. Citado por: DURSUN, E. y DURSUN, I.

Some Physical Properties of Caper Seed. En: *Biosystems Engineering* [en línea]. 2005, vol. 92, nro. 2. p. 239. [Consultado: 17 de mayo de 2020]. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.06.003

MUNCH, L.; ANGELES, E. (1997). *Metodos y técnicas de investigación*, Editorial Trillas, Segunda Edición. México. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. 93 p. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. 93 p. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Norma para aceites vegetales especificados. CXS 210-1999 [en línea]. 2019. 17 p. [Consultado: 14 de julio de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS_210s.pdf

ORTUÑO, M. 2006. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. España. Ed. Aiyana, p.276. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). *Revista de ciencias agrícolas*. 2012, vol. 29, nro. 1. pp. 81-87

PANTANO, Laura y Urrego, Aura. EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE AMAPOLA MEDIANTE LOS MÉTODOS SOXHLET Y PRENSADO EN FRIO A NIVEL LABORATORIO. Proyecto de grado Ingeniero químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. 216 p. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>

PEREDO - LUNA, H. A; PALOU - GARCÍA, E. y LÓPEZ - MALO, A. Aceites esenciales: métodos de extracción. En: *Temas selectos de ingeniería de alimentos* [en línea]. México: 2009, vol. 3, nro. 1. p. 24-32. [Consultado: 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/390909125/TSIA-3-1-Peredo-Luna-et-al-2009-pdf>

Private University of the North. Course Hero [sitio web]. [Consultado: 4 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p6ngt2i/o-Densidad-aparente-aireada-Esta-medida-indica-la-relaci%C3%B3n-entre-la-masa-y-el/>

POLONIA, Alberto. Prensa hidráulica eléctrica para extracción de aceites “en frío” [video]. YouTube. Oleaginosas Colombia. (6 de noviembre de 2017). 1:49 minutos. [Consultado: 6 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?time_continue=29&v=V9eUNR7ItVU&feature=emb_title

QUERT ALVAREZ, Rolando *et al.* Rendimiento de aceite esencial en *Pinus caribaea* MorElet según el secado al sol y a la sombra. III. *Rev Cubana Farm* [en línea]. 2001, vol.35, nro.1, pp. 47-50. [Consultado 18 de agosto de 2020], Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152001000100008&lng=es&nrm=iso. ISSN 0034-7515.

RESTREPO, Jaime y VINASCO, Luz Elena. EVALUACION FISICOQUÍMICA DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*) Y LA CHIRIMOYA (*Annona cherimolia*). *Revista de ciencias*. 2010, vol. 14, pp. 117-124.

REYES, Leidy., *et al.* Análisis por tamizado. II informe de laboratorio grupo 202C. 2017. pp. 1-23

REYES-MONTERO, J., *et al.* PRODUCCIÓN DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) EN ALTA DENSIDAD DE PLANTACIÓN, COMO ALTERNATIVA PARA PRODUCTORES CON SUPERFICIES REDUCIDAS. *Agro productividad*. 2018, vol. 11, nro. 9. p. 37-42.

REYES SANCHEZ, Nadir y MENDIETA A., Bryan. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS [en línea]. Managua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de ciencia animal. Departamento de sistemas integrales de producción animal. 2000. 77 p. [Consultado: 2 de julio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3125/>.

RODRIGUEZ, Jessica. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE INDICE DE YODO PARA ACEITE DE PALMA, ACEITE DE PESCADO Y SEBO, EN LA COMPAÑÍA INDUSTRIAL DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (CIPA S.A) [en línea]. Requisito Tecnólogo químico. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías. 2013. 64 p. [Consultado: 11 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3899/6643R696.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RUIZ GALAN, Jesús. Ingeniería Básica de una Planta de Extracción de Aceite Esencial de "Mentha arvensis L." por Destilación de Arrastre con Vapor [en línea]. Trabajo fin de grado ingeniería química. Universidad de Sevilla. Departamento

Ingeniería Química y Ambiental. 2019. 129 p. [Consultado: 8 de julio de 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/94165>

SAHENA, F *et al.* Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – A review. *Journal of Food Engineering*: 95, 240-253 (2009). Citado por: DORADO, Daniela J.; HURTADO-BENAVIDES, Andrés M. y MARTÍNEZ-CORREA, Hugo A. Extracción con CO₂ Supercrítico de Aceite de Semillas de Guanábana (*Annona muricata*): Cinética, Perfil de Ácidos Grasos y Esteroles. En: *Información tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, nro. 5. p. 37-48. [Consultado: 16 de agosto de 2019]. Doi: 10.4067/S0718-07642016000500005

SALDARRIAGA, Juan F., *et al.* DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE PARTÍCULA MEDIANTE POROSIMETRIA DE MERCURIO PARA EL ESTUDIO FLUIDODINAMICO DE BIOMASA EN LECHOS MÓVILES. En: *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea]. 2014, vol. 5, nro. 2. p. 63-71. Consultado: 14 de junio de 2020. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4754535>. ISSN 0718-8706

SOLIS-FUENTES, J. A., *et al.* Caracterización fisicoquímica y comportamiento térmico del aceite de “almendra” de guanábana (*Annona muricata*, L). *Grasas y Aceites*. 2010, vol. 61, nro. 1. p. 58-66. ISSN 0017-3495

SOLORZANO OROZCO, Alejandra. “ESTUDIO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA ESFERICIDAD DE LAS PARTICULAS EN UN LECHO FLUIDIZADO TRIFASICO” [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero químico. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería química. 2015. 87 p. [Consultado: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2503>

TABIO, D., *et al.* (2017) *Extracción de aceites de origen vegetal*, Universidad tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”. Citado por: NONALAYA, Katherin y Marcañaupa de la Cruz, José. EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DEL ACEITE DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola*) Y GUANABANA (*Annona muricata*) [en línea]. Tesis Ingeniero en industrias alimentarias. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. 2017. 93 p. [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/discover>

TIENDAS D1. Domicilios [sitio web]. Bogotá D.C., [Consultado: 14 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://domicilios.tiendasd1.com/aseo-hogar/limpieza-superficies-y-cocina/blanqueador-brilla-king-2000-ml>

UNITED STATES PHARMACOPEDIA, USP. Powder F [PDF]. En: Stage 6. Harmonization. The United States Pharmacopeial Convection. Noviembre, 2016. Vol. 30, p. 3-4. Citado por: PANTANO, Laura y Urrego, Aura. EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE AMAPOLA MEDIANTE LOS MÉTODOS SOXHLET Y PENSADO EN FRIO A NIVEL LABORATORIO. Proyecto

de grado Ingeniero químico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería química. 2018. 216 p. [Consultado: 3 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6957>

VALENZUELA, A y MORGADO, N. Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. Rev. Chil. Nutr., Santiago, v.32, n. 2. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 81-87. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

VALENZUELA, A y NIETO, S. Ácidos grasos omega 6 y omega 3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. Rev. Chil. Pediatr. 2003, vol 74, nro.2. Citado por: CERÓN, Andrés; OSORIO, Oswaldo y HURTADO, Andrés. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL ACEITE EXTRAÍDO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). En: *Revista de ciencias agrícolas* [en línea]. Colombia: Universidad de Nariño, enero-junio, 2012, vol. 29, nro. 1. p. 81-87. [Consultado: 5 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104110>. ISSN 0120-0135

VIT, Patricia; SANTIAGO, Bertha y PEREZ-PEREZ, Elizabeth. Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana *Annona muricata* L. En: *Interciencia* [en línea]. 2014, vol. 39, nro. 5. pp. 350-353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33930879008>. ISSN 0378-1844

WESTERNBRINK S, *et al.* Food composition databases: The Euro FIR approach to develop tools to assure the quality of the data compilation process. Food Chem 2009; 113 (3): 759-767. Citado por: MÁRQUEZ, Betsy. CENIZAS Y GRASAS [en línea]. Tesis de grado Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería de industrias alimentarias, 2014. 165 p. [Consultado: 2 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4188>

ZINGAL [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 1 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.grupozingal.co/producto/bascula-de-recibo-300kg/>

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA

Dimensiones semillas frescas (cm)

Alto	Ancho	Espesor	Alto	Ancho	Espesor
1.79	1.3	0.58	1.76	1.03	0.6
1.68	1.1	0.62	1.69	1.07	0.66
1.72	1.17	0.64	1.59	1.07	0.61
1.74	1.02	0.6	1.77	1.12	0.64
1.8	1.25	0.58	1.92	1.06	0.68
1.84	1.14	0.63	1.75	1.12	0.57
1.7	1.02	0.58	1.7	1.05	0.62
1.9	1.77	0.64	1.83	1.05	0.63
1.72	1.12	0.6	2.1	0.87	0.72
1.8	1.08	0.7	1.52	1.19	0.54
1.78	1.06	0.6	1.8	1.14	0.62
2	1.22	0.59	1.7	1.22	0.7
1.82	1.17	0.65	1.84	1.21	0.62
1.86	1.08	0.59	1.99	1.1	0.72
1.77	1.12	0.66	1.81	1.01	0.66

Diámetros de partícula

- **Diámetro medio aritmético:** a partir de la ecuación 2 se promedian los diámetros aritméticos

$$Dap = \sum_{n=1}^{30} \frac{35.49 \text{ cm}}{30} = 1.183 \text{ cm}$$

- **Diámetro medio geométrico:** a partir de la ecuación 3 se promedian los diámetros geométricos

$$Dgp = \sum_{n=1}^{30} \frac{32.42 \text{ cm}}{30} = 1.0807 \text{ cm}$$

- **Diámetro medio cuadrado:** a partir de la ecuación 4 se promedian los diámetros cuadrados

$$Dcp = \sum_{n=1}^{30} \frac{33.98 \text{ cm}}{30} = 1.132 \text{ cm}$$

- **Diámetro promedio:** a partir de la ecuación 5 se promedian los diámetros aritméticos, cuadrados y geométricos

$$Dpp = \sum_{n=1}^{30} \frac{33.96 \text{ cm}}{30} = 1.132 \text{ cm}$$

Esfericidad: con base en la ecuación 6, se promedian las esfericidades para la muestra inicial (30 semillas)

$$\Phi = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} = \frac{Dgp}{a}$$

$$\phi = \sum_{n=1}^{30} \frac{18.15 \text{ cm}}{30} = 0.605 \text{ cm}$$

Área superficial: con base en la ecuación 7, se promedian las esfericidades para la muestra inicial (30 semillas).

$$S = \frac{\pi BL^2}{2L - B}$$

$$S = \sum_{n=1}^{30} \frac{92.89 \text{ cm}}{30} = 3.096 \text{ cm}^2$$

Densidad: con base en la ecuación 8, se promedian las densidades.

Repetición	1	2	3
Masa (g)	8.64	6.37	13.19
Volumen inicial (mL)	10	17	15
Volumen final (mL)	17	24	27
Densidad (g/mL)	1.234	0.91	1.099

$$\rho = \frac{\text{masa}}{V_{\text{total}} - V_{\text{inicial}}}$$

$$\rho_p = \sum_{n=1}^3 \frac{3.243 \text{ g/mL}}{3} = 1.081 \text{ g/mL}$$

Densidad aparente aireada y empacada: con base en las ecuaciones 9 y 10, se promedian las densidades.

Repetición	1	2	3
Masa (g)	8.64	6.37	13.19
Volumen aireado (mL)	17	15.5	23
Volumen empacado (mL)	15	11	22
Densidad aparente aireada (g/mL)	0.508	0.410	0.573
Densidad aparente empacada (g/mL)	0.576	0.579	0.599

$$\rho_{APA_{atr}} = \frac{\text{masa de semillas}}{\text{Volumen aireado}}$$

$$\rho_{PAPA \text{ Aireada}} = \sum_{n=1}^3 \frac{1.497 \text{ g/mL}}{3} = 0.497 \text{ g/mL}$$

$$\rho_{APA_{emp}} = \frac{\text{masa de semillas}}{\text{Volumen empacado}}$$

$$\rho_{p \text{ APA Empacada}} = \sum_{n=1}^3 \frac{1.754 \text{ g/mL}}{3} = 0.584 \text{ g/mL}$$

Porcentaje de compresibilidad: a partir de la ecuación 12, se toman las densidades aparente aireada y empacada promedio para el cálculo.

$$\% \text{ Compresibilidad} = \left(\frac{p \text{ APA Empacada} - p \text{ APA Aireada}}{p \text{ APA Empacada}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Compresibilidad} = \left(\frac{0.584 - 0.497 \text{ g/mL}}{0.584 \text{ g/mL}} \right) \times 100 = 14.929\%$$

Factor de forma:

$$\lambda = \frac{V_p}{D p^3}$$

$$\lambda = \frac{0.571 \text{ cm}^3}{(1.132 \text{ cm})^3} = 0.393$$

Volumen de partícula: a partir de la ecuación 14, se calcula el volumen ocupado por una semilla de guanábana.

$$V_p = \frac{(\text{Volumen final} - \text{Volumen inicial})}{\text{Numero de particulas}}$$

N° Partículas	21
Volumen inicial (mL)	15
Volumen final (mL)	27

$$V_p = \frac{27 - 15 \text{ mL}}{21} = 0.571 \text{ mL} = 0.571 \text{ cm}^3$$

Masa partícula: para determinar la masa de partícula se tomó la muestra de 30 semillas y se pesaron las semillas individualmente en balanza analítica. para luego sacar el promedio.

$$M_p = \frac{\text{Masa total}}{\text{Numero de particulas}}$$

$$M_p = \sum_{n=1}^{30} \frac{M}{24} = \frac{19.14 \text{ g}}{30} = 0.638 \text{ g}$$

Ángulo de reposo: para calcular el ángulo de reposo estático se empleó la ecuación 16, mientras que para el dinámico se leyó el ángulo con un transportador.

	Medida (cm)
Altura del montículo (H)	3
Diámetro de la base del montículo (D)	39
Angulo de reposo estático	8.74°
Angulo de reposo dinámico	15°

$$\theta = \tan^{-1}(2H/D)$$

$$\theta = \tan^{-1}(2 \times 3/39) = 8.74^\circ$$

Análisis proximal

Humedad: esta se calcula a partir de la ecuación 17 y se promedia las 4 repeticiones realizadas.

Repeticiones	1	2	3	4
# Semillas	3	3	3	3
Peso semillas (g)	1.96	1.92	1.9964	1.9628
Peso crisol (g)	37.33	35.22	32.3412	33.2143
Peso pos secado (g)	38.69	36.5	33.7433	34.6101
Pérdida de agua (g)	0.6	0.64	0.5943	0.567
% Humedad	30.612	33.333	29.768	28.887

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \sum_{n=1}^4 \frac{122.601}{4} = 30.65 \%$$

Cenizas: esta se calcula a partir de la ecuación 18, y se promedian las 4 repeticiones realizadas.

Repeticiones	1	2	3	4
# Semillas	3	3	3	3
Peso semillas (g)	1.36	1.28	1.4021	1.3958
Peso crisol (g)	37.33	35.22	32.3412	33.2143
Peso pos secado (g)	37.34	35.24	32.36	33.23
Cenizas (g)	0.01	0.02	0.0188	0.0157
% Cenizas	0.735	1.562	1.340	1.124

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_{sc}}{P_{ss}} \times 100$$

$$\% \text{ Cenizas} = \sum_{n=1}^4 \frac{4.763}{4} = 1.342 \%$$

Proporción semilla – fruto: se tomó una guanábana de 2.4 kg y se retiraron las semillas manualmente y se pesaron en una gramera.

Fruto sin semillas	2215 g	92.3 %
Semillas	185 g	7.7 %

Total	2400 g	100 %
--------------	--------	-------

Proporción cáscara – almendra: después del secado se descascaron la semilla manualmente y se pesaron la cáscara y almendra por separado en balanza analítica.

Tratamiento	A1B1	A1B1 (R)	A1B2	A1B2 (R)	A2B1	A2B1 (R)	A2B2	A2B2 (R)	Promedio
Cáscara (%)	33.96	33.43	35.01	34.48	34.60	34.08	35.89	36.38	34.73
Almendra (%)	66.03	66.56	64.98	65.51	65.39	65.91	64.10	63.61	65.26
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ANEXO B

REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS

Proporción alimentación (semillas + impurezas): para determinar el porcentaje de impurezas se realizaron tres mediciones.

Semillas + impurezas (g)	1920	1500	2582.7
Semillas (g)	1446.21	1048.35	2376.7
Impurezas (g)	473.79	451.65	206
% Impurezas	24.67	30.11	7.97

Se promediaron los resultados obteniendo un 20.91% de impurezas en relación a la alimentación.

Agua de lavado: para la preparación de la solución desinfectante de hipoclorito de sodio se empleó hipoclorito de sodio comercial al 5.25%

Alimentación (kg/día)	Volumen de solución 50 ppm (L)	Hipoclorito de sodio (5,25%) (g)	Hipoclorito de sodio (5,25%) (mL)	Volumen de agua (L)
1	0.48	0.024	0.45	0.4795
163.58	78.52	3.926	74.78	78.445

Hipoclorito al 5.25%

$$\text{Concentración Hipoclorito} = \frac{5.25 \text{ g}}{100 \text{ mL}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 52500 \text{ mg/L} = 52500 \text{ PPM}$$

A partir de la siguiente ecuación se calcula el volumen de la solución concentrada que se requiere para obtener una solución de 78.52 L de 50 PPM

$$C1V1 = C2V2$$

$$V1 = \frac{C2V2}{C1} = \frac{50 \text{ PPM} (78.52 \text{ L})}{52500 \text{ PPM}} = 0.0747 \text{ L} = 74.78 \text{ mL}$$

A partir del volumen se conoce los gramos necesarios.

$$\text{Hipoclorito de sodio (g)} = \frac{5.25 \text{ g}}{100 \text{ mL}} * 74.78 \text{ mL} = 3.926 \text{ g}$$

Capacidad de los secadores: Para establecer la capacidad de los secadores y para asegurar que las semillas estén bien distribuidas en las bandejas, se tomó el área de cada bandeja y se dividió en el área superficial de la semilla para determinar el número de semillas en cada bandeja y con la masa de partícula se determinó los kilogramos de semilla por bandeja. Se determinó la capacidad del deshidratador LIBC5 de la empresa INDUCAM.

Dimensiones de la bandeja: 40 x 85 cm

Numero de bandejas: 30

Área por bandeja: 3400 cm²

Área superficial semilla: 3.096 cm²

Número de semillas x bandeja = $\frac{3400 \text{ cm}^2}{3.096 \text{ cm}^2} = 1097.96$ semillas

Semillas totales en el deshidratador = 1097.96 x 30 = 32939.03 semillas

Se toma el número de semillas y se divide en la masa de partícula en kg

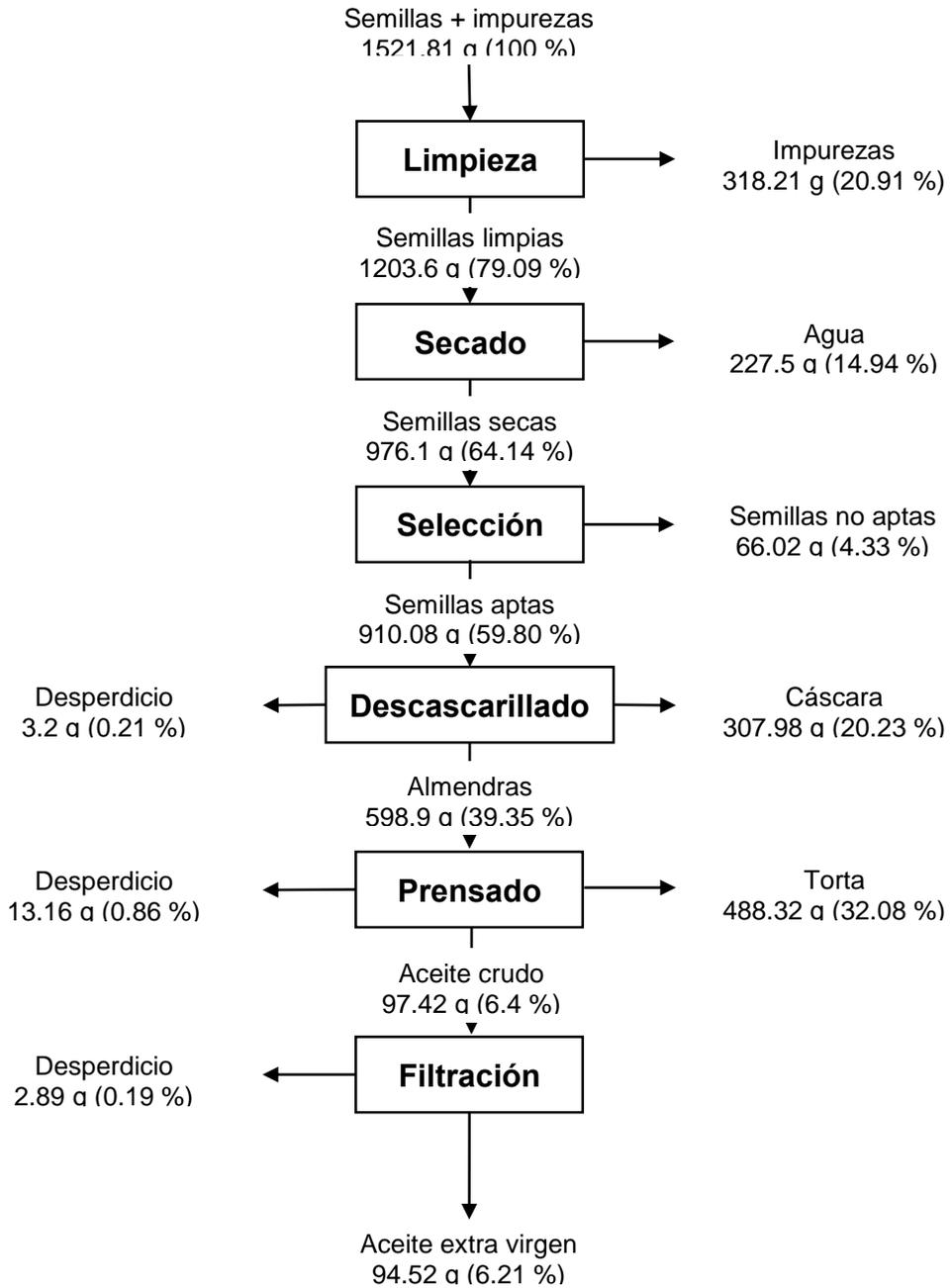
Capacidad del deshidratador (kg semillas) = 32939.03 semillas x $6.38 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{semillas}}$

Capacidad del deshidratador (kg semillas) = 21.015 kg

ANEXO C

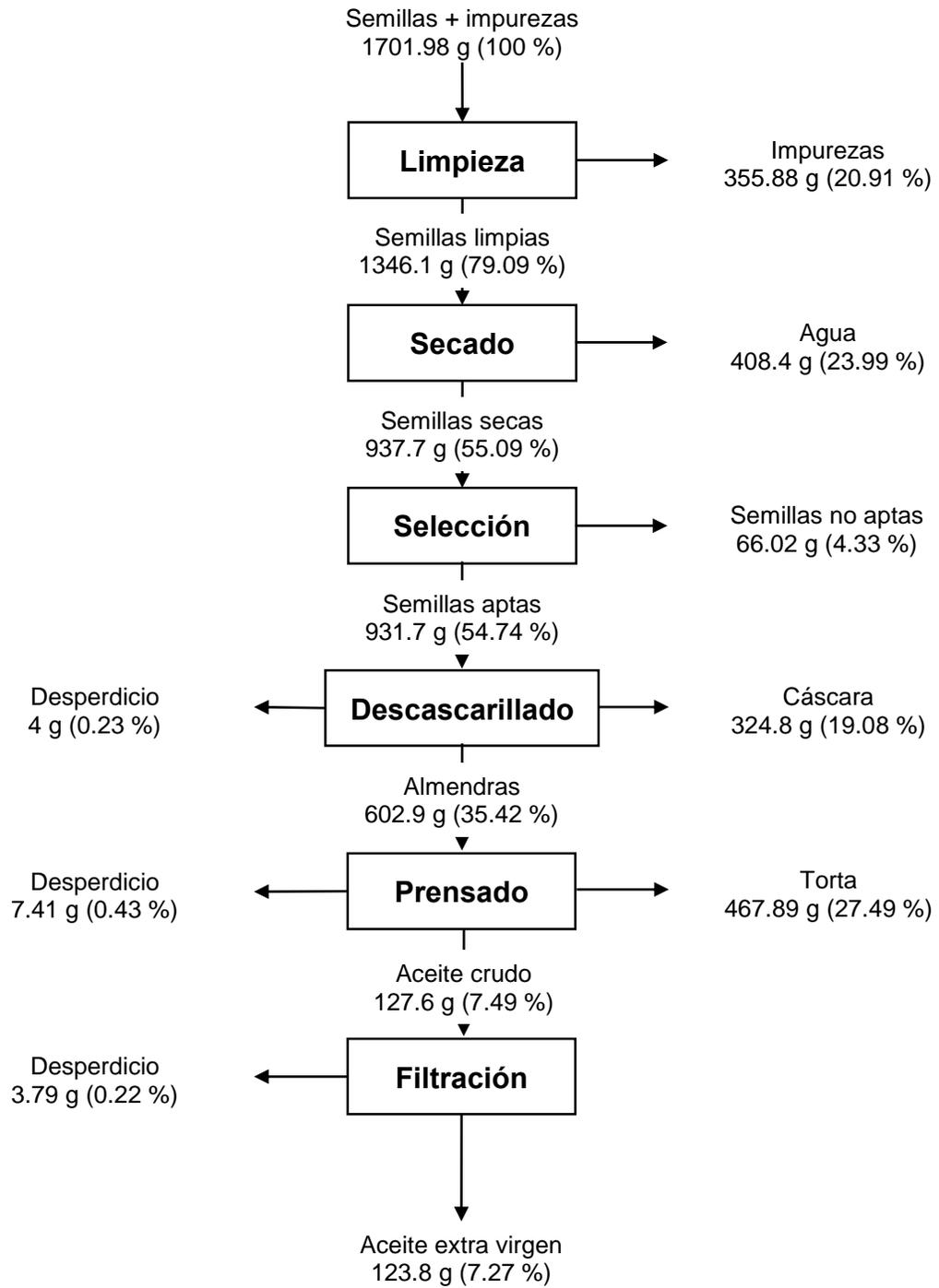
BALANCE DE MATERIA POR TRATAMIENTO

Tratamiento: A1B1



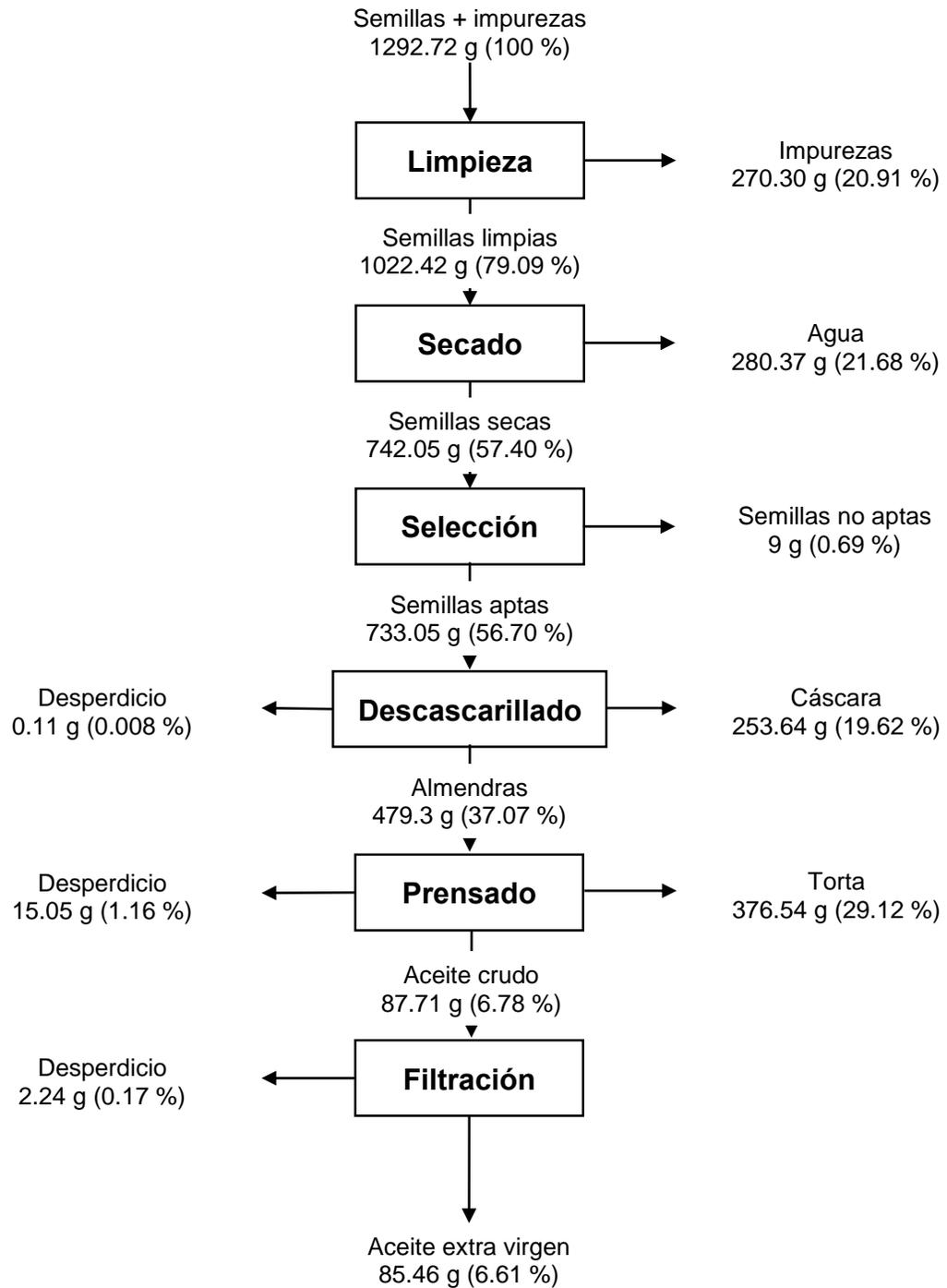
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A1B2



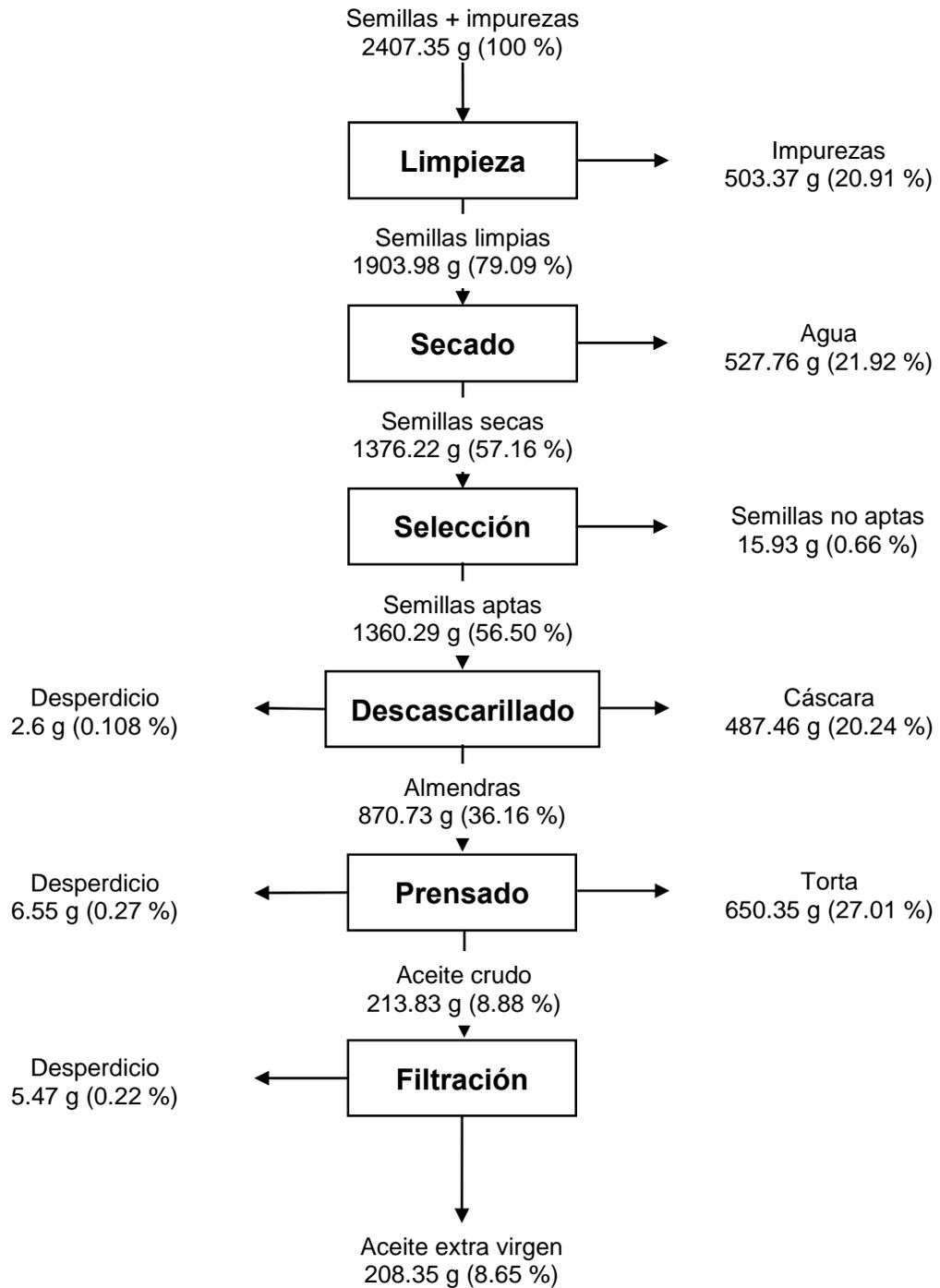
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A2B1



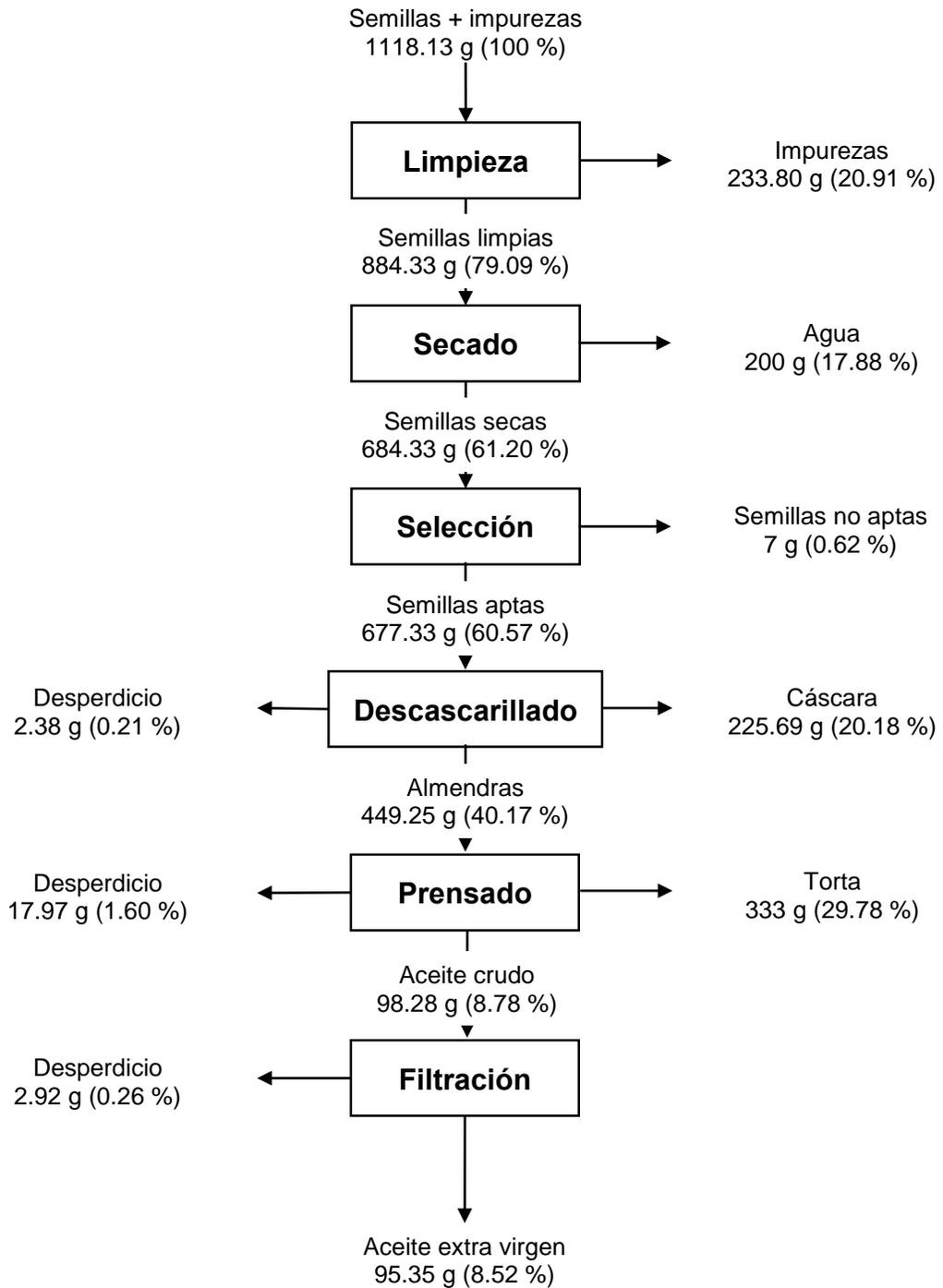
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A2B2



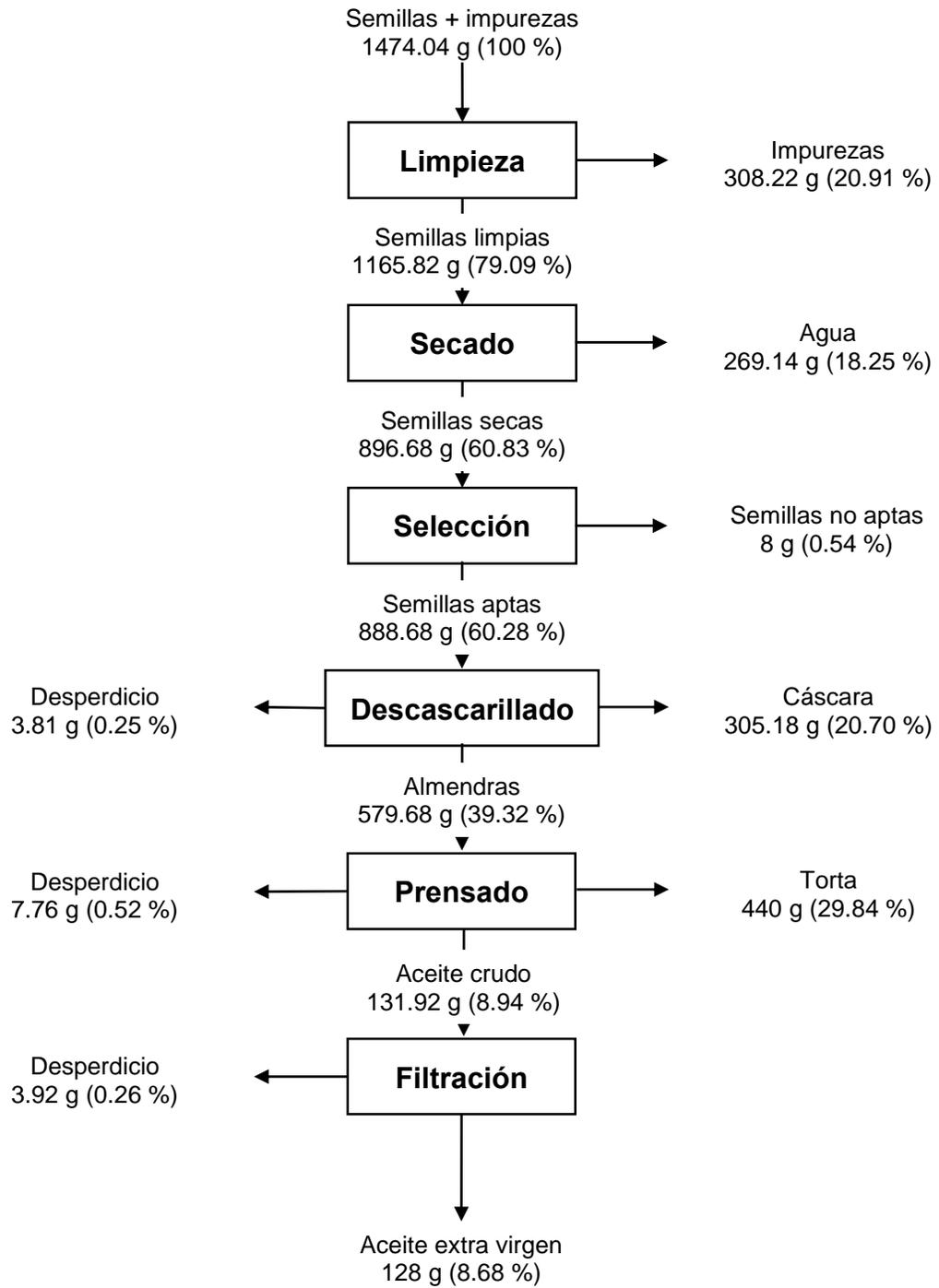
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A1B1 (R)



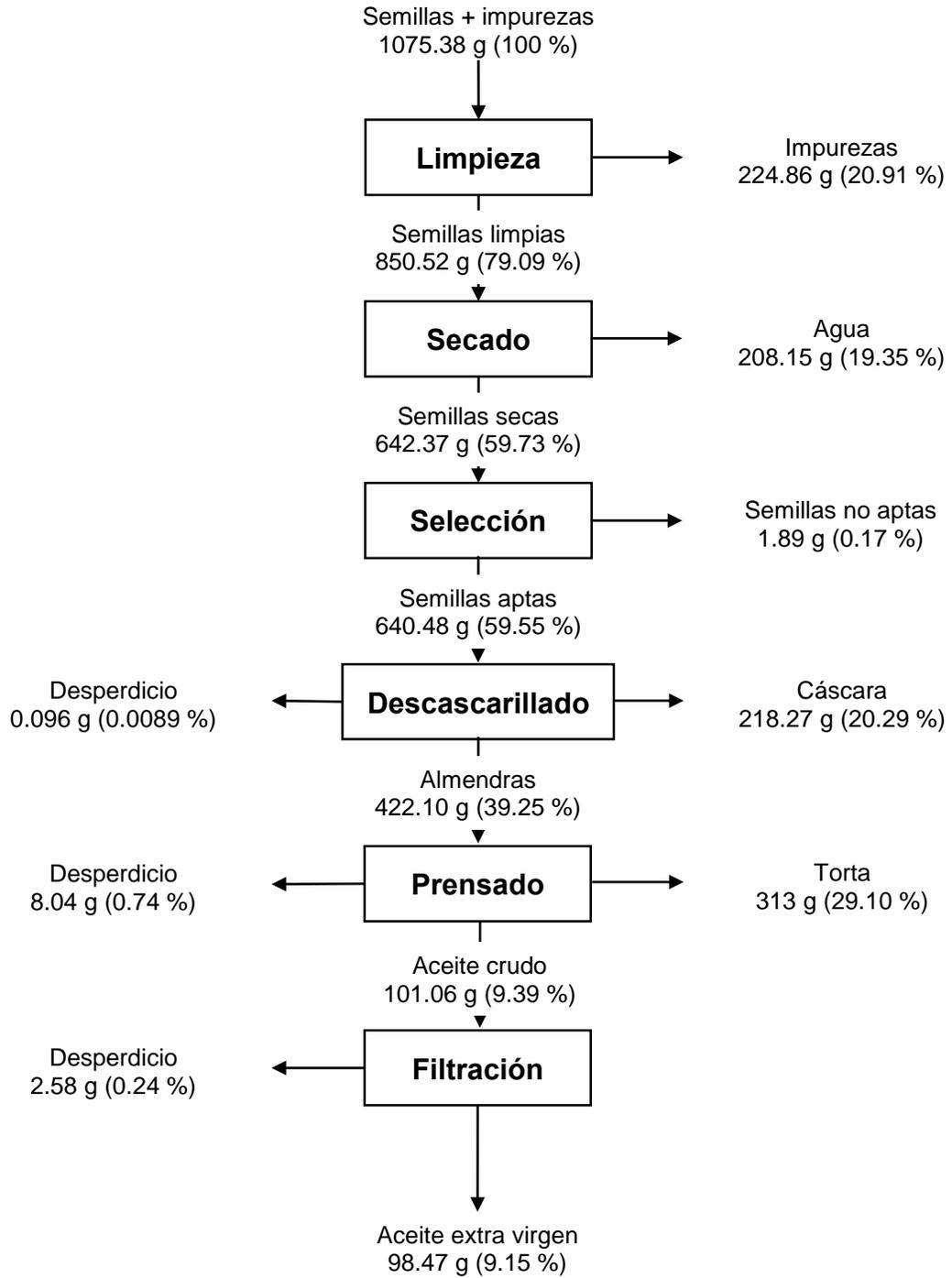
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A1B2 (R)



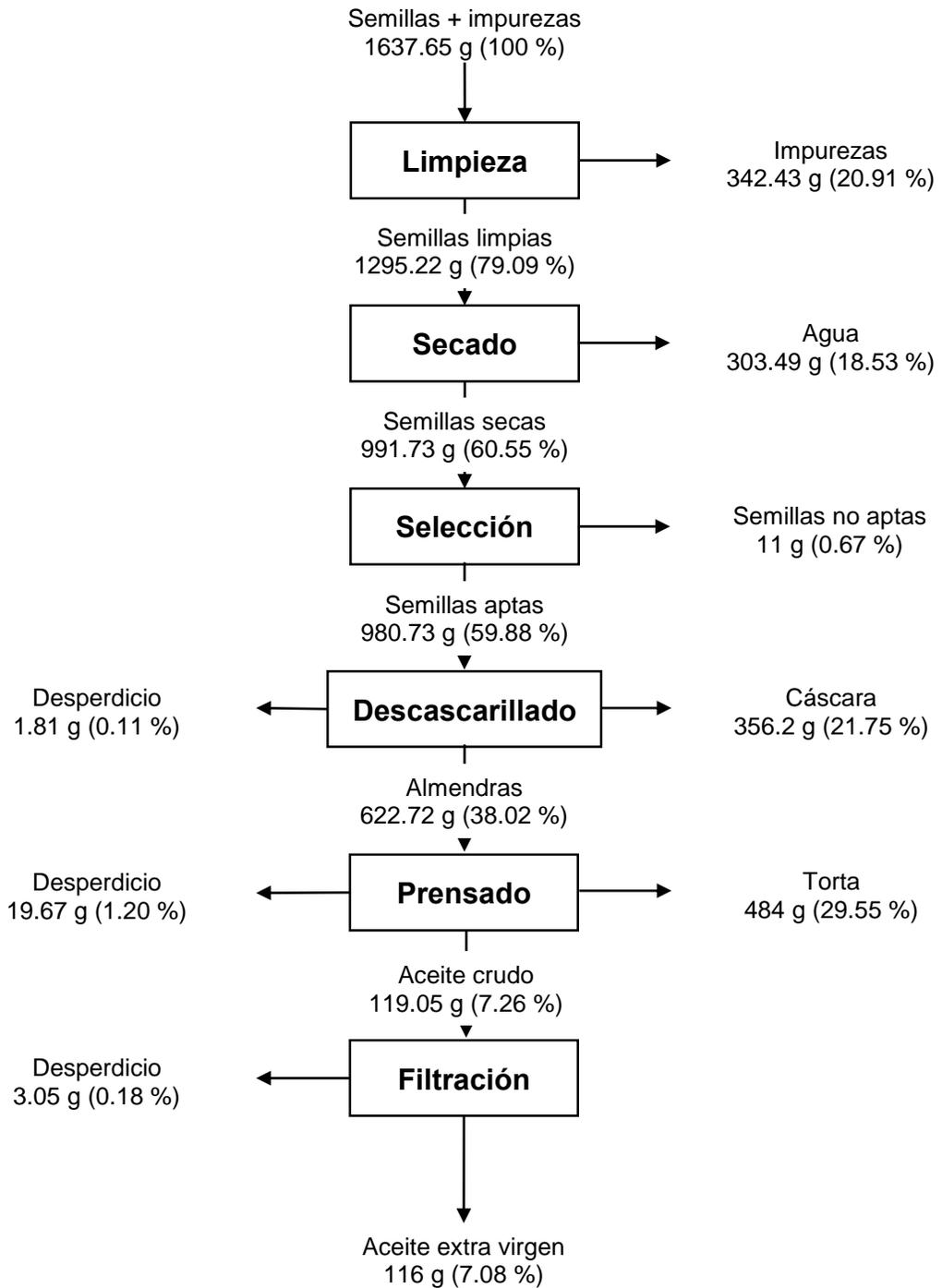
Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A2B1 (R)



Fuente: elaboración propia.

Tratamiento: A2B2 (R)



Fuente: elaboración propia.

ANEXO D

CALCULO ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con base en los rendimientos obtenidos experimentalmente se tabulan de la siguiente manera para calcular los efectos medios de las variables y a partir de estos la suma de cuadrados

Tratamiento	Replicas		Respuesta total
	1	2	
A1B1	6.21136211	8.52848111	14.73984323
A1B2	7.274351	8.68360468	15.95795568
A2B1	6.61104236	9.1568253	15.76786766
A2B2	8.65478769	7.08330631	15.738094
Suma de todos los tratamientos y sus réplicas (Y)			62.20376056

FV	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón -Fo
Efecto A	SCA	a-1	CMA = SCA/ (a-1)	CMA/CME
Efecto B	SCB	b-1	CMB = SCB/ (b-1)	CMB/CME
Efecto AB	SCAB	(a-1)(b-1)	CMAB = SCAB/ (a-1)(b-1)	CMAB/CME
Error	SCE	ab(n-1)	CME = SCE/ (ab(n-1))	
Total	SCT	abn-1		

a = # niveles de la temperatura (2)
 b = # niveles del tiempo (2)
 n = repetición (2)

Los efectos medios y las medias de cuadrados de las variables son:

$$A = \frac{(15.73+15.95-15.76-14.73)}{4} = 0.2970$$

$$B = \frac{(15.73+15.76-15.95-14.73)}{4} = 0.2020$$

$$AB = \frac{(15.73+14.73-15.95-15.76)}{4} = -0.3119$$

$$SCA = \frac{(4A)^2}{4*2} = 0.081$$

$$SCB = \frac{(4B)^2}{4*2} = 0.1765$$

$$SCAB = \frac{(4AB)^2}{4*2} = 0.1946$$

$$SCT = (6.21^2 + \dots + 7.08^2) - \frac{62.20^2}{8} = 8.6056$$

$$SCE = SCT - SCA - SCB - SCAB = 8.1528$$

A partir de la suma de cuadrados se calculan los demás factores para el análisis de varianza

$$CMA = \frac{0.081}{1} = 0.08164$$

$$CMB = \frac{0.1765}{1} = 0.1765$$

$$CMAB = \frac{0.1946}{1} = 0.1946$$

$$CME = \frac{8.1528}{4} = 2.0382$$

$$F_{OA} = \frac{0.08164}{2.0382} = 0.04005 < F_{1.4; 0.05}$$

$$F_{OB} = \frac{0.1765}{2.0382} = 0.08660 < F_{1.4; 0.05}$$

$$F_{OAB} = \frac{0.1946}{2.0382} = 0.09550 < F_{1.4; 0.05}$$

Siendo $F_{1.4; 0.05} = 7.709$

ANEXO E
FICHA TÉCNICA BÁSCULA DE PISO

Báscula de 300 KG



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Báscula electrónica semi-industrial de piso, Indicador liquidador con funciones: acumulación de productos pesados y NO pesados, función cambio, 11 memorias, luz de respaldó verde, tara y cero. Plataforma reforzada en tubo, cubierta en acero inoxidable 201 repujado, pedestal abatible, batería con autonomía de 100 horas. Plataforma de 30 x 40 cm. Capacidad: 150 Kg. d=20g

DIRECCION: CARRERA 68 G # 73 - 57
TELEFONO: 5404091 - 5401160 BOGOTÁ D.C.
www.grupozingal.com



ANEXO F
FICHA TÉCNICA TANQUE DE LAVADO MANUAL



REGIMEN COMUN
FABRICACION DE MAQUINARIA INDUSTRIAL EN ACERO INOXIDABLE
PARA PROCESOS ALIMENTICIOS.

TANQUE DE LAVADO MANUAL



1.ESPECIFICACIONES TECNICAS

Tanque de lavado tipo media caña de dos compartimentos para lavado y escurrido de frutas por inmersión por inmersión.

Fabricado en su totalidad en acero inoxidable AISI 304 calibre 14.

Estructura base en tubo rectangular de 40 x 80 mm calibre 16

Regillas de desagüe en acero inox con canastilla para retener los residuos.

Capacidad de cuatro 50 Kg por compartimento Aprox.

Dimensiones totales: Ancho 700 mm. Largo total 1600 mm. Alto 800 mm

Acabados sanitario interno y externo tipo alimentos.

Valor unitario : \$ 3.200.000 + IVA

ANEXO G

FICHA TÉCNICA OREADORA SECADORA AS-10

FICHA TECNICA 5. OREADORA SECADORA AS-10 / AS-15 / AS-30 / AS-45

I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Máquina, con sistema de distribución del calor entre las semillas de cacao, intercambiando de forma vertical hacia la parte superior y posteriormente hacia la parte inferior.
Ventajas: Secado uniforme,orea y seca a la vez, consumo mínimo de energía y fácil instalación.

IV. RECOMENDACIONES

Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina.
Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina.
Solicitar tiempo de garantía.

II. DATOS TÉCNICOS

Marca	IMSA			
Modelo	AS-10	AS-15	AS-30	AS-45
Potencia	5	5	7	7
Productividad (kg/h)	690	1150	1390	1210
Productividad qq(46kg)/h	15	25	30	25
Voltaje para la máquina (voltios)	220 ó 380			
Suministro(1Ø o 3Ø)	Motor Trifásico (3Ø)			
Vida útil (años)	10			
Peso de máquina (Kg)	1200	1300	1500	1700
Para su instalación requiere	Interruptor Termo magnético de 30 amperios			

V. DONDE SE PUEDE COMPRAR

Empresa que comercializa	Tecnatrop SRL
Costo aproximado de la máquina	AS-10 S/. 8,130.00 AS-15 S/. 13,500.00 AS-30 S/. 16,200.00 AS-45 S/. 18,900.00
Garantía	2 años
Dirección tienda	Jr. Vargas Machuca 418
Teléfonos	- Urb. Los Ficus Santa Anita - Lima 43 (51-1) 478-0186 / 9817-7975 / 9817-7971 - NEXTEL 817*7975 / 817*7971
Dirección electrónica	tecnatrop@tecnatrop.com tecnatrop@hotmail.com

III. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

Costo de electricidad S./hora	AS-10 S/.2.00/Hr AS-15 y AS-45 S/.2.00/Hr AS-30 S/.3.00/Hr aproximadamente con tarifa BT5B (S/.0.40/kwh)
Repuestos que utiliza la máquina	Correas, cojinetes, etc.
Insumos para la máquina	1/4 litros de grasa para la máquina.
Mano de obra necesaria	2 personas; 1 para cargado, 1 para recepción



ANEXO H

FICHA TÉCNICA SELECCIONADORA GRAVIMÉTRICA IMSA-3

FICHA TECNICA 3. SELECCIONADORA GRAVIMETRICA IMSA-3 / IMSA- 4 / IMSA-6

I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Es usado para separar granos de cacao de acuerdo a su peso por gravedad así mismo separa los defectos de forma rápida y mejorar la calidad del producto

Ventajas:

- Manejo simple.
- Consumo mínimo de energía.
- Control de distribución de fluido de aire.
- Mínimo ruido.

IV. RECOMENDACIONES

Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina.
Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina.
Solicitar tiempo de garantía.

II. DATOS TÉCNICOS

Marca	IMSA		
Modelo	IMSA-3	IMSA-4	IMSA-6
Potencia	5	7	7
Productividad (kg/h)	2000	3000	4000
Productividad qq(46kg)/h	43	65	87
Voltaje para la máquina (voltios)	220 ó 380		
Suministro(1Ø o 3Ø)	Motor Trifásico (3Ø)		
Vida útil (años)	10		
Peso de máquina (Kg)	200	250	300
Para su instalación requiere	Interruptor Termo magnético de 30 amperios		

V. DONDE SE PUEDE COMPRAR

Empresa que comercializa	Tecnatrop SRL
Costo aproximado de la máquina	IMSA-3 S/. 2,200.00 IMSA-4 S/. 3,080.00 IMSA-6 S/. 4,110.00
Garantía	2 años
Dirección tienda	Jr. Vargas Machuca 418 - Urb. Los Ficus Santa Anita - Lima 43
Teléfonos.	(51-1) 478-0186 / 9817-7975 / 9817-7971 - NEXTEL 817*7975 / 817*7971
Dirección electrónica	tecnatrop@tecnatrop.com tecnatrop@hotmail.com

III. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

Costo de electricidad S./hora	IMSA-3 S/.2.00/Hr IMSA-4 y IMSA-6 S/.3.00/Hr aproximadamente con tarifa BT5B (S/.0.40/kwh)
Repuestos que utiliza la máquina	Correas, cojinetes, etc.
Insumos para la máquina	1/4litros de grasa para la máquina.
Mano de obra necesaria	2 personas; 1 para cargado, 1 para recepción



ANEXO I

FICHA TÉCNICA DESCASCARILLADORA DE CACAO DESC-100

I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Máquina que separa la cascarilla del cacao tostado. Pela granos de cacao sin dañarlos, operación y mantenimiento fáciles, tiene un mecanismo con rodillo forrado de jebe corrugado para no maltratar al cacao, construido en acero inoxidable ISO 304, tiene un motorreductor de 2 HP y para el ventilador 0.75 HP

II. DATOS TÉCNICOS

Marca	MAQUIAGRO
Modelo	DESC - 100
Potencia (HP)	2.75
Productividad (kg/h)	la máquina Pela 100 kg por hora
Productividad qq(46kg)/h	la máquina Pela 2 quintales por hora
Voltaje para la máquina (voltios)	220
Suministro(1Ø o 3Ø)	Motor Monofásico (1Ø)
Vida útil (años)	25 años
Para su instalación requiere	Interruptor Termo magnético de 30 amperios

III. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

Costo de electricidad S./hora	S/.0.85/Hr aproximadamente con tarifa BT5B (S/.0.40/kwh)
Mano de obra necesaria	1 personas; una para recepción y otra para carguío.

IV. RECOMENDACIONES

Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina.
Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina.
Solicitar tiempo de garantía.

V. DONDE SE PUEDE COMPRAR

Empresa que comercializa	MAQUIAGRO
Costo aproximado de la máquina	US \$1,800.00
Garantía	1 año
Dirección tienda	Jr. Juan Soto Bermeo 406 Urb. La Virreyna, San Roque, Santiago de Surco, Lima Altura cdra. 44 Av. Tomas Marsano
Teléfonos	Telf. 01-2822751 Cel. 97650298 Nextel: 823*8365
Dirección electrónica	www.maquiagro.com Mail:ventas@maquiagro.com; maquiagro@hotmail.com



ANEXO J

FICHA TÉCNICA PRENSA LIBC3



INDUCAM SL SAS - Nit. 901.201.577-9

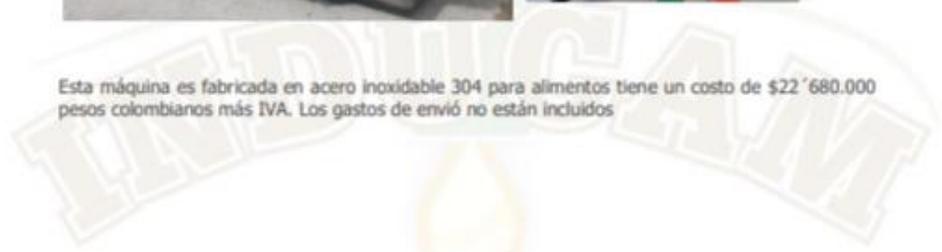
PRENSA LIBC3, esta Prensa diseñada para el uso comunitario, en cooperativas, pequeñas empresas, etc.

Motor: Accionamiento 3.73 Kw - 220 V - 60 Hz
 Velocidad: 60 rpm.
 Sistema de calefacción: resistencia de 350W. 220 v
 Sistema controlador de temperatura: de medio ambiente hasta 450 grados centígrados.

Rendimiento	Paso de semilla por hora (en kg)	Volumen de aceite por hora (en kg)	Paso de semilla por 24 hora (en kg)	Volumen de aceite por 24 horas (en kg)
Higuerilla	53	18 A 21	1272	432 A 504
Jatropha	53	16 A 19	1272	384 A 456
Coco deshidratado	60	60%	1440	864
Sacha inchi	50 a 60	35%	1200 - 1440	420 a 504



Esta máquina es fabricada en acero inoxidable 304 para alimentos tiene un costo de \$22'680.000 pesos colombianos más IVA. Los gastos de envío no están incluidos



BODEGA: Cra. 13 C No. 54-53 Sur
 OFICINA: Cra. 69M No. 69-84 P.2
 Bogotá - Colombia

 (011) (57) (1)
 300 809 4325 310 819 6062 288 6156

 contabilidad@inducam.com.co
 libardocamacho@inducam.com.co
 www.inducam.com.co

ANEXO K

FICHA TÉCNICA FILTRO PRENSA LBC. 10 PLUS



INDUCAM SL SAS - Nit. 901.201.577-9

FILTRO PARA ACEITES, VINOS, ETC.

mod. LBC. 10 PLUS

Con este filtro con placas, se puede realizar la filtración de los aceites comestibles, como el aceite vegetales (de soya, de girasol, de maíz, sacha inchi, jatropa, higuera, vinos etc.), : utilizando varios tipos de placas de celulosa, mallas tejidas o mallas no tejidas - que se colocan entre las Placas de polietileno - es posible realizar el refinado, el abrillantado (etc.) de los aceites.

El filtro se entrega con dos juegos de medios filtrantes de 3 micras.

- Está construido totalmente en acero inoxidable AISI 304 (base, estructura placas, válvula de regulación del flujo, manómetro).

- electrobomba auto aspirante de acero inoxidable (AISI 316) equipada con rotor de nitrilo e interruptor/inversor; motor trifásico HP 1 (60 Hz), 900 revoluciones por minuto. Con un variador de



velocidad con el cual podrá regular el flujo de la bomba de succión. Entre 60 a 400 litros hora, dependiendo de la densidad del fluido y el número de placas utilizado.

Esta máquina tiene un costo de - \$ 15' 300.000 pesos colombianos más IVA, se fabrica por pedido. Los gastos de envío no están incluidos.



📍 BODEGA: Cra. 13 C No. 54-53 Sur
📍 OFICINA: Cra. 69M No. 69-84 P.2
Bogotá - Colombia

(011) (57) (1)

📞 300 809 4325 📠 310 819 6062 📠 288 6156

✉️ contabilidad@inducam.com.co
✉️ lbardocamacho@inducam.com.co
🌐 www.inducam.com.co