

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DEL PROCESO
DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA SEMILLA DE PAPAYA
(CARICA PAPAYA L.) HÍBRIDO POCOCÍ.**

Informe de Proyecto de Graduación presentado ante la Escuela de Ingeniería Química
como requisito final para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería Química

JUAN DIEGO ALPÍZAR UGALDE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

2019

Tribunal Examinador

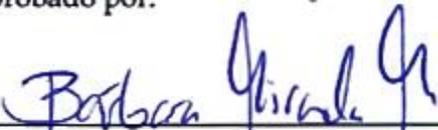
Informe de Proyecto de Graduación presentado ante la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Sustentante:



Juan Diego Alpizar Ugalde

Aprobado por:



Ing. Bárbara Miranda Morales, Ph.D.
Escuela de Ingeniería Química, U.C.R.

Presidente del Tribunal



José Francisco Ciccio Alberti, M.Sc.
Escuela de Química, U.C.R.

Director del proyecto



Ing. José Alberto Castillo Benavides, Lic.
Escuela de Ingeniería Química, U.C.R.

Miembro Lector



Randall Ramírez Loría, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Química, U.C.R.

Miembro Lector



Ing. Esteban Richmond Salazar, Lic.
Escuela de Ingeniería Química, U.C.R.

Miembro Lector Invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2019

— *La science, mon garçon, est faite d'erreurs,
mais d'erreurs qu'il est bon de commettre, car elles mènent peu à peu à la vérité —*

— *La ciencia, mi muchacho, está hecha de errores,
mas errores que es bueno cometer, porque llevan poco a poco a la verdad. —*

Jules Verne

Dedicatoria

A mi madre y
a mi padre
ingeniero agrónomo
a ambos por su esfuerzo y
valentía ante las adversidades
su ejemplo de lucha.

A mi abuelo, Danilo Ugalde Murillo
ingeniero civil
A mi bisabuelo, Ramiro Montero Sánchez
ingeniero químico
aunque yo nunca lo supe

A Dios porque
todo es suyo

Agradecimientos

A Dios, por la vida y las oportunidades, personas y retos que en ella me ha dado.

A mi familia, por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo momento.

A mi comité asesor, José Francisco Cicció, por animarme a ser mejor en todo momento, las conversaciones en su oficina y sobre todo por enseñarme el valor, la importancia y la forma de hacer investigación, le estaré por siempre en deuda; José Alberto Castillo, por su amistad y acoger mi proyecto con tanta presteza, muchísimas gracias; Randall Ramírez, por sus consejos y por la guía que me dio en este proceso cuando todo me parecía un caos, por su calidez humana y las conversaciones en los pasillos.

A todas aquellas personas que fueron de ayuda en diversos aspectos para la realización de este proyecto de graduación, en especial al personal de los laboratorios de análisis del CITA, Vanny Mora, Randall Cordero y Eduardo Calderón, gracias por su calidez humana, ayuda con las pruebas de extracción y disposición en todo momento. A Lorena Hernández, Alicia Hernández y Juan Carlos Brenes, del CIPRONA, gracias por su ayuda desinteresada y consejos, y muchas veces desahogos cuando hubo dificultades. A Luis Barboza y Andrés Hernández, del CIGRAS, por el espacio y ayuda brindada desinteresadamente. A Antonio Bogantes y Eric Mora, desarrolladores del híbrido Pococí, por los datos técnicos brindados. A Eduardo Thompson y Giovanni González de la Escuela de Tecnología de Alimentos, por su asesoría y consejos, en especial a Giovanni por su amabilidad. A Hermes Alvarado, don Marco Lobo, don Julio Mata y a don Carlos Chaverri de la Escuela de Química, por su valiosa ayuda con información, pruebas de secado y el perfil de ácidos grasos, y una que otra risa o historia que nunca estuvo de más. A don Gilberto Alpízar y a Randall Camacho por suministrar las papayas o semillas necesarias para hacer todo esto.

A mi novia, Dania Cisneros, por animarme y ser mi consejera en todo momento, por ayudarme a ser una mejor persona.

A mis amigos y compañeros; Denis, Kenneth, Diego, José, Dania, Jessica, Cristina, Clarcy, Óscar, Melissa, Natalia, Renato, James, David, Manuel, Gabriel, Castalia, Daniel y Stephanie, Eduardo; con quienes compartí durante mis años en la universidad, y cuya presencia recordaré siempre con mucha alegría.

Finalmente, un agradecimiento a don Guillermo Calderón, mi profesor de química en el colegio, cuyas lecciones ayudaron a que yo esté aquí.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es analizar la prefactibilidad técnica y financiera derivada de una planta de extracción de aceite de semilla de papaya, residuo de las procesadoras de papaya. La investigación incluye la extracción del aceite por un método altamente industrializable —a diferencia de los equipos utilizados en la literatura sobre el tema— con el cual se obtuvo un rendimiento de aceite, en base seca, del $(30.0688 \pm 0.9925) \%$

Con base en la investigación sobre las procesadoras de papaya de nuestro país, utilizando datos otorgados por el Ministerio de Salud y de llamadas telefónicas a las empresas, se plantea una capacidad de procesamiento de materia prima de 1400 kg semanales, con una producción anual de 32 312 unidades, en envases de 120 mL.

El aceite obtenido se caracteriza como alto oleico, con un porcentaje relativo de ácido oleico de 72.29 % y un valor de saponificación de 174 mg/g de KOH en el aceite, lo cual otorga a este aceite, junto con sus propiedades humectante, antioxidante, antibacteriana y antiinflamatoria reportadas en la literatura, la posibilidad de ser utilizado como cosmético directamente o en productos derivados, elevando la colocación en dicho mercado.

De acuerdo con el análisis de prefactibilidad financiero, se tiene un flujo de caja positivo con un precio de venta de 16.56 USD por unidad, en donde se buscaría exportar, con la salvedad de que se debe establecer una estrategia de diferenciación de la competencia ya existente en dicho mercado.

El endeudamiento para llevar a cabo el proyecto se da por el monto de la inversión de capital fijo (379 560 USD), el cual contempla la compra e instalación de equipos, así como la adquisición de un terreno para la obra, a 10 años con una tasa de interés de 9.75 %.

Los indicadores de rentabilidad para el proyecto, son un VAN de 478 602 USD, una TIR de 31.57 % y un período de recuperación de la inversión de 3 años y 3 meses.

Se determina así el proyecto como técnica y financieramente rentable, en su etapa de prefactibilidad, sin embargo, el proyecto tiene alta sensibilidad a los cambios en la cantidad de materia prima a procesar por semana, el precio de venta del producto, y el tipo de cambio, por lo cual se recomienda analizar opciones para abaratar los costos de producción, dentro de las cuales se cuenta el realizar la extracción por prensado mecánico.

Índice General

	<i>Página</i>
Tribunal Examinador.....	i
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vii
Resumen.....	ix
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2: ASPECTOS TEÓRICOS.....	3
I. GENERALIDADES DE LA PAPAYA.....	3
A. Origen.....	3
B. Descripción.....	3
C. Variedades e híbridos de la papaya presentes en Costa Rica.....	6
D. Generalidades de la siembra del papayo y la cosecha de su fruto.....	8
E. Zonas de cultivo y procesadoras en Costa Rica.....	9
F. Formas actuales de uso de la papaya.....	9
G. Aprovechamiento de la semilla de papaya.....	10
II. SEMILLA DE PAPAYA.....	11
A. Propiedades de la semilla.....	11
B. Morfología.....	11
C. Composición.....	13
III. SECADO.....	14
A. Generalidades del secado.....	14
B. Importancia del secado.....	14
C. Tipos de humedad en los sólidos.....	14
D. Condiciones de secado.....	16
E. Tipos de secadores.....	18
F. Curvas de secado.....	19
G. Secado de las semillas de papaya.....	23
IV. EXTRACCIÓN.....	24
A. Generalidades de la extracción.....	24

B.	Importancia de la extracción sólido-líquido.....	25
C.	Tipos de extracción sólido-líquido.....	25
D.	Condiciones de lixiviación.....	26
E.	Tipos de extractores.....	29
F.	Lixiviación del aceite de semilla de papaya.....	32
V.	CARACTERIZACIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL.....	34
A.	Color.....	35
B.	Índice de refracción.....	36
C.	Humedad y materia volátil.....	36
D.	Densidad.....	36
E.	Punto de fusión.....	36
F.	Ácidos grasos libres.....	36
G.	Valor ácido.....	37
H.	Valor de peróxido.....	37
I.	Materia insaponificable.....	37
J.	Valor de saponificación.....	37
K.	Perfil de ácidos grasos.....	37
	CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
I.	MATERIALES.....	39
II.	PROGRAMAS DE CÓMPUTO.....	41
III.	EQUIPOS.....	41
IV.	MÉTODOS.....	44
A.	Acondicionamiento inicial de la materia prima.....	44
B.	Secado de la semilla.....	44
C.	Molienda de la semilla.....	45
D.	Determinación de humedad de las semillas.....	45
E.	Determinación de las condiciones de extracción del aceite.....	45
F.	Extracción del aceite de semilla de papaya.....	47
G.	Eliminación de impurezas en el aceite de semilla de papaya.....	48
H.	Caracterización del aceite de semilla de papaya.....	48

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
I. REMOCIÓN DE LA SARCOTESTA	51
II. SECADO DE LAS SEMILLAS DE PAPAYA	52
III. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA.....	57
IV. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA	65
CAPÍTULO 5: PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA	71
I. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN.....	71
II. POSIBLES MERCADOS PARA EL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA.....	72
III. PROCESO INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA	74
A. Recibo de materia prima	74
B. Lavado y cribado.....	75
C. Secado	75
D. Almacenamiento intermedio.....	75
E. Molienda.....	75
F. Extracción.....	75
G. Recuperación del disolvente.....	76
H. Sedimentación y centrifugación del aceite	76
I. Almacenamiento del aceite.....	76
J. Propuesta de tratamiento de residuos generados en el proceso	76
IV. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA	77
A. Balance de masa y energía en el secador	78
B. Balance de masa y energía en el molino	78
C. Balance de masa y energía en el extractor	79
D. Balance de masa y energía en el evaporador	80
E. Balance de masa y energía en la centrífuga.....	80
V. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	81
VI. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN	81
VII. LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA	82
A. Localización del proyecto	82

B. Distribución de planta	83
CAPÍTULO 6: PREFACTIBILIDAD FINANCIERA	85
I. COSTO DE PRODUCCIÓN	85
A. Inversión de capital total.....	85
B. Servicios.....	86
C. Materia prima	87
D. Mano de obra y gastos administrativos	88
E. Capital de Trabajo	88
F. Costo total del producto y precio de venta.....	89
G. Financiamiento	91
II. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD FINANCIERA	91
A. Escenario A.....	91
B. Análisis de sensibilidad del proyecto.....	92
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
I. CONCLUSIONES	97
II. RECOMENDACIONES.....	99
CAPÍTULO 8: NOMENCLATURA	101
CAPÍTULO 9: REFERENCIAS.....	103
CAPÍTULO 10: APÉNDICES	113
I. APÉNDICE A: DATOS EXPERIMENTALES.....	113
II. APÉNDICE B: RESULTADOS INTERMEDIOS	121
III. APÉNDICE C: MUESTRA DE CÁLCULO.....	140
ANEXOS.....	149

Índice de Cuadros

	<i>Página</i>
Cuadro 2. 1. Análisis proximal de semillas de papaya	13
Cuadro 2. 2. Algunos tipos de extractores y sus características	30
Cuadro 2. 3. Especificaciones para los aceites y grasas.....	34
Cuadro 3. 1. Constantes químicas, físicas y peligrosidad de las sustancias utilizadas en las pruebas de caracterización del aceite	40
Cuadro 3. 2. Datos del software utilizado para la realización de esta investigación	41
Cuadro 3. 3. Datos de los equipos utilizados para la extracción del aceite y su caracterización	42
Cuadro 3. 4. Factores y niveles para el diseño con respuesta Y, rendimiento de extracción	46
Cuadro 3. 5. Diseño experimental elegido para optimizar las variables independientes dentro del ámbito de estudio.....	47
Cuadro 4. 1. Composición en base seca del endospermo y sarcotesta de la semilla de papaya	52
Cuadro 4. 2. Resumen de resultados de las pruebas de secado a 70 °C, para la semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa y sin sarcotesta.....	55
Cuadro 4. 3. Rendimiento de aceite de semilla de papaya, híbrido Pococí, para diferentes condiciones de extracción en Soxhlet	58
Cuadro 4. 4. Resultados del diseño experimental: rendimiento de extracción en función de razón másica disolvente/sólido y temperatura.....	60
Cuadro 4. 5. Estadísticos de la regresión del modelo de segundo orden.....	61
Cuadro 4. 6. Resultados de la comprobación del MSR, DCCR.....	64
Cuadro 4. 7. Caracterización del aceite de semilla de papaya.....	66
Cuadro 4. 8. Perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de papaya.....	67
Cuadro 5. 1. Características de diferentes aceites similares al aceite de semilla de papaya	73
Cuadro 5. 2. Balance de materia en el secador	78
Cuadro 5. 3. Balance de materia en el molino	79
Cuadro 5. 4. Balance de materia en el extractor	79
Cuadro 5. 5. Balance de materia en el evaporador	80
Cuadro 5. 6. Balance de materia en la centrífuga	80
Cuadro 5. 7. Tiempos de operación para los equipos de proceso principales.....	80
Cuadro 5. 8. Dimensionamiento de equipos de producción.....	82
Cuadro 5. 9. Dimensionamiento de zonas de producción	84
Cuadro 6. 1. Inversión de capital fijo para el proyecto	85
Cuadro 6. 2. Consumo eléctrico por las unidades de proceso y auxiliares.....	86
Cuadro 6. 3. Consumo de vapor y LPG por las unidades de proceso y auxiliares.....	87

Cuadro 6. 4. Consumo de agua por las unidades de proceso y auxiliares.....	87
Cuadro 6. 5. Costo de materia prima.....	87
Cuadro 6. 6. Costo total de mano de obra y personal administrativo	88
Cuadro 6. 7. Capital de trabajo del proyecto para tres meses	89
Cuadro 6. 8. Costo total del producto.....	90
Cuadro 6. 9. Criterios de evaluación del proyecto.....	92
Cuadro 6. 10. Sensibilidad a costos del proyecto, preliminar	93
Cuadro 6. 11. Variaciones porcentuales efectuadas para la sensibilidad	93
Cuadro 6. 12. Sensibilidad del proyecto a la fluctuación de las variables elegidas	94
Cuadro A. 1. Resultados de la primera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, <i>t</i> , y masa, <i>m</i> , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	113
Cuadro A. 2. Resultados de la segunda corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, <i>t</i> , y masa, <i>m</i> , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	114
Cuadro A. 3. Resultados de la tercera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, <i>t</i> , y masa, <i>m</i> , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	115
Cuadro A. 4. Determinación de humedad de las semillas usadas en la cinética de extracción	116
Cuadro A. 5. Determinación del rendimiento de extracción con isopropanol, semilla con sarcotesta (1) y sin sarcotesta (2)	116
Cuadro A. 6. Determinación del rendimiento de extracción con etanol (EtOH) y hexano (Hex) en semilla sin sarcotesta.....	116
Cuadro A. 7. Datos de masa y tiempo para realizar la curva de cinética de extracción	117
Cuadro A. 8. Otros datos empleados para realizar la curva cinética de extracción.....	117
Cuadro A. 9. Valores reales utilizados para las corridas del DCCR	117
Cuadro A. 10. Determinación de humedad de las semillas usadas las corridas del DCCR	118
Cuadro A. 11. Resultados experimentales de las corridas del DCCR.....	118
Cuadro A. 12. Determinación de humedad de las semillas usadas en la comprobación del MSR por DCCR.....	118
Cuadro A. 13. Datos de la comprobación del DCCR.....	119
Cuadro A. 14. Otros datos del experimento de la comprobación del DCCR.....	119
Cuadro A. 15. Resultados de la prueba de color del aceite	119
Cuadro A. 16. Resultados del índice de refracción del aceite	119

Cuadro A. 17. Resultados del contenido de humedad y materia volátil del aceite.....	119
Cuadro A. 18. Resultados la prueba de densidad del aceite.....	119
Cuadro A. 19. Resultados la prueba de punto de fusión del aceite	120
Cuadro A. 20. Resultados la prueba determinación de ácidos grasos libres del aceite	120
Cuadro A. 21. Resultados la prueba determinación de valor ácido del aceite	120
Cuadro A. 22. Resultados la prueba determinación de valor de peróxido del aceite	120
Cuadro A. 23. Resultados la prueba determinación de materia insaponificable del aceite.....	120
Cuadro A. 24. Resultados la prueba determinación de valor de saponificación del aceite.....	120
Cuadro B. 1. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)	121
Cuadro B. 2. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)	122
Cuadro B. 3. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)	123
Cuadro B. 4. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	128
Cuadro B. 5. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	129
Cuadro B. 6. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	130
Cuadro B. 7. Datos para la curva de comportamiento energético para la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	133
Cuadro B. 8. Datos para la curva de comportamiento energético para la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	134
Cuadro B. 9. Datos para la curva de comportamiento energético para la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de <i>Carica papaya</i> L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2).....	135
Cuadro B. 10. Humedades promedio de las semillas utilizadas en diferentes pruebas	136
Cuadro B. 11. Rendimiento experimental y regresión utilizando Polymath para la curva cinética de extracción.....	136

Cuadro B. 12. Concentración y rendimiento experimental de cada una de las corridas del DCCR 136

Cuadro B. 13. Concentración y rendimiento experimental de la comprobación del modelo 137

Cuadro B. 14. Datos del préstamo y amortización del financiamiento del proyecto a 10 años 137

Cuadro B. 15. Flujo de caja para el proyecto, escenario A, valores en USD..... 138

Índice de Figuras

	<i>Página</i>
Figura 2. 1. Flores del papayo, abiertas.....	4
Figura 2. 2. Flores del papayo, cerradas.....	5
Figura 2. 3. Frutos del papayo	5
Figura 2. 4. Semilla de papaya; izquierda: semilla fresca con exotesta, derecha: semilla seca sin exotesta (se muestra la mesotesta).....	12
Figura 2. 5. Estructura interior de la semilla sin exotesta.....	12
Figura 2. 6. Tipos de humedad en los sólidos	16
Figura 2. 7. Curva típica de velocidad de secado, datos de humedad libre contra tiempo. 20	
Figura 2. 8. Curva típica de velocidad de secado, datos de velocidad de secado contra humedad libre.....	20
Figura 2. 9. Curva de velocidad de secado, datos de velocidad de secado contra tiempo..	22
Figura 2. 10. Curva de velocidad de secado, datos de fracción de agua evaporada contra tiempo	23
Figura 2. 11. Escala de color en el espacio CIE 1976 L*a*b*.....	35
Figura 3. 1. Equipos utilizados durante la realización de esta investigación	43
Figura 4. 1. Curva de consumo energético contra porcentaje de humedad residual en la muestra, para las semillas sin sarcotesta.....	57
Figura 4. 2. Curva de consumo energético contra porcentaje de humedad residual en la muestra, para las semillas con sarcotesta	57
Figura 4. 3. Cinética de extracción del aceite de semilla de papaya, utilizando	59
Figura 4. 4. Superficie de respuesta en 3D y 2D de la variable rendimiento de extracción en función de razón másica disolvente/sólido y temperatura	61
Figura 4. 5. Significancia de los coeficientes de los efectos del modelo de regresión de segundo orden.....	62
Figura 4. 6. Gráficos de probabilidad normal de residuos estudentizados y de residuos... 63	
Figura 4. 7. Color del aceite de semilla de papaya	65
Figura 4. 8. Diferentes ácidos grasos y sus conformaciones	70
Figura 5. 1. Vista previa del diagrama de flujo de proceso	81
Figura 5. 2. Distribución de planta propuesta para el proceso	84
Figura 6. 1. Flujo de caja acumulado para el proyecto.....	91
Figura B. 1. Masa contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	124
Figura B. 2. Masa contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	124
Figura B. 3. Masa contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	124

Figura B. 4. Masa contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	125
Figura B. 5. Masa contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	125
Figura B. 6. Masa contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	125
Figura B. 7. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	126
Figura B. 8. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	126
Figura B. 9. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	126
Figura B. 10. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	127
Figura B. 11. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	127
Figura B. 12. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	127
Figura B. 13. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	131
Figura B. 14. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	131
Figura B. 15. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	131
Figura B. 16. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	132
Figura B. 17. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta	132
Figura B. 18. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta	132

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la producción agrícola de Costa Rica, la piña, el banano y el café han tenido gran importancia para el mercado de exportación, sin embargo otros frutos también tienen un gran valor comercial para nuestro país. La papaya (*Carica papaya* L., familia Caricaceae) es uno de dichos cultivos cuya producción y comercialización ha crecido tanto dentro como fuera de nuestras fronteras; así lo demuestran las estadísticas de exportación y producción. La inserción en el mercado internacional como producto fresco ha aumentado gradualmente, de manera que las exportaciones del año 2016 fueron más de nueve veces las del año 2002, situándose entre las primeras veinte frutas que más generan ingresos por concepto de exportación (PROCOMER, 2018). Así también lo explicitan Schweiggert, Steingass, Esquivel y Carle (2012), quienes indican que desde 1992 al año 2012 la producción mundial de papaya creció a un alto ritmo; en el caso de Centroamérica, este aumento fue de un 300 %, de (0.39 a 1.08) millones de toneladas. En otros lugares del mundo la producción aumentó hasta 8 veces durante esos años. De igual manera, según las estadísticas de la FAO, para el año 2007 la producción mundial rondaba las 9.5 millones de toneladas, mientras que para el año 2016 (último año con estadísticas disponibles) alcanzó 13 millones de toneladas (FAO, 2017)

El procesamiento industrial de la papaya genera varios residuos o subproductos que pueden ser aprovechados por el mismo sector agroindustrial, por ejemplo, para su uso como abono (Wadhwa y Bakshi, 2013). Uno de esos residuos lo constituye la semilla de la fruta, que se descarta junto con parte de la pulpa y cáscara, así como la planta, el papayo, una vez finalizado su ciclo productivo.

Estudios realizados a las semillas de papaya han mostrado que contienen un aceite con potencial para la cocina, para emplearlo como cosmético o para su uso en motores de combustión y producción de biodiesel (Kalayasiri, Krisnangkura y Jeyashoke, 1996; Puangsri, Abdulkarim, y Ghazali, 2005; Winayanuwattikun et al., 2008).

En nuestro país, la papaya, dependiendo de su variedad, puede pesar entre 1500 g y 2500 g, en donde las semillas de papaya podrían representar un 8 % del peso (Schweiggert et al., 2012). A partir de la semilla seca, se puede extraer, con el uso de disolventes, aproximadamente un 30 % de aceite sobre la masa seca de semilla (Malacrida, Kimura, y Jorge,

2011). El proceso se ha estudiado principalmente fuera de nuestras fronteras, por lo que implementar un procedimiento en nuestro país, podría ser de beneficio tanto para el productor, así como para las procesadoras de la fruta que funcionan actualmente, promovándose una nueva industria para la extracción del aceite.

Este tema es relevante para la ingeniería química ya que involucra operaciones y procesos asociados con el tratamiento y aprovechamiento de los subproductos, y la transformación de la materia prima (en este caso, la extracción del aceite de la semilla de papaya), por métodos químicos o mecánicos, y así dar un mejor uso y valor agregado a los subproductos de la actividad papayera nacional. Asimismo, el tema es de interés para las labores del ingeniero químico ya que se plantea como un estudio de prefactibilidad que involucra el estudio de costos e ingresos asociados.

CAPÍTULO 2: ASPECTOS TEÓRICOS

I. GENERALIDADES DE LA PAPAYA

A. Origen

La papaya es una especie originaria de América Central, que pertenece a la familia Caricaceae. El primer registro escrito de la misma es en la “Historia Natural y General de las Indias” de Oviedo, que describe esta planta en una carta de 1535 al rey español, Carlos I, así como su zona de crecimiento (sur de México y Centroamérica). Es fácil suponer que a través del proceso de colonización y el comercio, la papaya se expandió por todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo (García, 2010). Esto concuerda con investigaciones genéticas recientes sobre la papaya silvestre, que no es sino la papaya que no ha sido cultivada y que crece sin la acción del hombre (VanBuren et al., 2015).

La papaya silvestre es dioica y por tanto su reproducción es de tipo biparental. Esta es una condición común de las plantas arcaicas. La investigación genética realizada apunta a que la secuencia genética asociada al hermafroditismo (en las actuales plantas monoicas), es muy similar a uno de los haplotipos encontrados en las papayas del Pacífico norte de nuestro país (VanBuren, et al., 2015), situando su origen silvestre muy cerca de nuestro país. Es necesario recalcar que la papaya silvestre es diferente a la papaya criolla, ya que esta última es cultivada y, por lo tanto, sometida al proceso de domesticación (Bogantes, 2016).

B. Descripción

El papayo no se clasifica como árbol sino como una planta (arbustiva) gigante, ya que no cuenta con un tronco duro. El tallo es hueco excepto por los nudos y la base del tallo, y si se deja crecer, puede llegar hasta los 10 m de altura y 30 cm de diámetro, lo cual hace que la recolección del fruto sea difícil y, al arrancar la planta, el terreno queda muy removido. Las raíces principales pueden llegar a crecer hasta 1 m, y las secundarias hasta 80 cm. El tallo se desarrolla en no más de un eje, a menos de que se hiera la planta con este propósito. Sus hojas crecen de forma palmada y el limbo (o lámina) puede medir de 25 cm a 75 cm y a su vez puede dividirse en 7 a 10 lóbulos. El peciolo es largo, de unos 125 cm (García, 2010).

En términos generales, las flores pueden ser de tipo masculino, femenino o hermafrodita; son pequeñas, con olor agradable y suave, y de color blanco o crema (ver Figura 2. 1).



Figura 2. 1. Flores del papayo, abiertas
a) Flor hermafrodita b) Flor femenina
(Bogantes, Mora, Umaña, y Loría, 2011)

El tipo de flor determina la forma del fruto que se obtendrá de la planta. Por su forma se han descrito hasta 13 tipos de flores, que se incluyen, para mayor facilidad, en cinco categorías (Guzmán, 1998), siendo tres las principales, y en donde la última tiene tres subtipos, dando el total de cinco:

i. Flor masculina (o estaminada)

Las plantas masculinas se caracterizan por presentar inflorescencias sobre un pedúnculo largo con gran cantidad de flores, estaminadas, pero pueden a veces aparecer hermafroditas en periodos fríos o lugares altos. Los frutos que da esta planta no son de valor comercial por ser muy pequeños (Guzmán, 1998).

ii. Flor femenina

Las plantas femeninas presentan flores con ovarios y sin estambres, dispuestas sobre pedúnculos cortos. Su forma es oval y alargada, con un ensanchamiento típico en la base, reconocible como “las caderas” de la flor femenina (ver Figura 2. 2. b). Los frutos que da son de forma redonda, conocidos como tipo bomba (ver Figura 2. 3. b), presentan una cavidad interna mayor que los de la planta hermafrodita, por lo cual tienen menor aceptación comercial, tanto dentro como fuera de nuestro país (Bogantes et al., 2011).

iii. Flor hermafrodita

Las plantas hermafroditas teóricamente dan una producción de descendientes de hermafroditas a hembras de 2:1 (Bogantes et al., 2011). Por su forma se divide en los subgrupos **pentandria**, que es muy similar a la flor femenina, y difiere de ella en que poseen 5 estambres fértiles (las femeninas no tienen ninguno), colocados en las hendiduras del pistilo; la

perfecta o elongata, más parecida a la flor masculina y la más común del tipo hermafrodita, es alargada, cilíndrica y gamopétala, es decir pétalos unidos congénitamente en más de un tercio de la parte inferior (ver Figura 2. 2. a). Tienen 10 estambres fértiles y un ovario cilíndrico y alargado. Los frutos son cilíndricos, elipsoidales o piriformes (ver Figura 2. 3. a). Finalmente, las **intermedias o irregulares** tienen 10 estambres o menos, y sus frutos son de forma irregular —les confiere en algunos casos menor valor comercial— desde alargados hasta globosos (Guzmán, 1998).



Figura 2. 2. Flores del papayo, cerradas
a) Flor hermafrodita b) Flor femenina
(Bogantes et al., 2011)



Figura 2. 3. Frutos del papayo
a) Planta hermafrodita b) Planta femenina
(Bogantes et al., 2011)

El fruto, la papaya como es conocido en nuestro país, se categoriza como una baya, proveniente de un ovario súpero. El pericarpio es carnoso y succulento, puede variar en su

color desde amarillo hasta un naranja-rojizo. En su interior normalmente contiene gran cantidad de semillas, agrupadas en 5 hileras en la pared interna del ovario (Guzmán, 1998).

Las semillas son alargadas, de unos 5 mm de diámetro y oscuras, recubiertas por una “masa gelatinosa” descrita como mucílago, y que le confiere una apariencia redonda (Guzmán, 1998). El término para esta piel que recubre a la semilla es sarcotesta. La cantidad de semillas en una papaya depende de la variedad. Se dice que un fruto contiene de 300 a 800 semillas, de sabor picante y considerable contenido de una “grasa amarilla” (García, 2010).

C. Variedades e híbridos de la papaya presentes en Costa Rica

En Costa Rica, a través de los años, se han utilizado diversas variedades e híbridos de papaya. La variedad criolla es propia de Costa Rica y tiene dos líneas con baja calidad sensorial. Por ese motivo se han introducido variedades provenientes de diferentes países para mejorar genéticamente la especie, de modo que tenga mejor sabor, y se traduzca en un mayor consumo por parte del mercado. Ya en el año 2011, se reportaba la existencia en Costa Rica de las variedades Criolla, Sunset y Sunrise (que pertenecen al grupo Solo y originarias de Hawaii), la variedad Maradol (introducida de Cuba), así como los híbridos Tainung (de origen taiwanés) y Pococí (de origen costarricense) (Bogantes et al., 2011).

En la actualidad, de acuerdo con el Ing. Antonio Bogantes (2016) —que labora en la Estación Experimental los Diamantes— los cuatro materiales principales que se cultivan en el país son la variedad criolla (en sus dos líneas), así como los híbridos Pococí y Maradonna, los cuales son híbridos del tipo F1 (primera generación). A continuación, se describen esos materiales.

i. Variedad criolla

Papaya criolla es una variedad de polinización abierta, con un grado de selección bajo que realizan los mismos productores. Es poco estable, poco homogénea y muy variable. Se presentan dos materiales o líneas, que no se pueden considerar variedades porque no son puras y son inestables genéticamente, estas son la Lucia y la Parriteña. Son materiales similares. La Parriteña es un poco más cuadrada que la Lucia con una masa de 2000 g a 2200 g, mientras que la Lucia tiene de 1800 g a 2000 g. Los rendimientos por hectárea pueden llegar

a 60 t/ha o 70 t/ha, superados por mucho en las variedades mejoradas. Los materiales criollos tienen poco dulzor (y mayor palidez) comparados con los materiales híbridos, situándose entre 8 y 10 grados Brix. Su piel carece de manchas. Su pulpa tiene un buen grosor para proceso, en especial la Parriteña por ser de mayor tamaño. Inicialmente se sembraba más Lucía en las zonas Atlántica y Norte de Costa Rica, mientras que la Parriteña crecía en la zona de Parrita. A partir de finales de la década de los años 90 e inicios de los años 2000, las variedades comenzaron a mezclarse en cuanto a lugar de producción (Bogantes, 2016).

ii. Maradonna

Es un híbrido con plantas bajas y fuertes. Sus frutas tienen una masa de 1500 g a 2000 g y son uniformes en tamaño y forma. De carne gruesa, firme y muy dulce con valores de grados Brix entre 12 y 14. Es resistente al virus de mancha anular y a la antracnosis (East-West Seed International, 2011).

iii. Pococí

Es el híbrido y el material de papaya más sembrado actualmente en nuestro país. De origen costarricense, fue desarrollado bajo el convenio INTA-UCR a cargo de los señores Ing. Antonio Bogantes del INTA y el Ing. Erick Mora de la UCR. Más de un 80 % de la papaya que se siembra actualmente en Costa Rica es híbrido Pococí. Este material fue desarrollado para tener un mejor rendimiento, mejor sabor, y mayor homogeneidad que los materiales criollos, colocando así de mejor manera el fruto en el mercado, tanto nacional como internacional (Bogantes, 2016). Su investigación se realizó entre los años 1995 y 2001 (Bogantes y Mora, 2004), y se liberó al público oficialmente, en el transcurso de los años 2005-2006. El rendimiento del híbrido Pococí puede llegar a las 200 t/ha (Bogantes, 2016). En la escala Brix, tiene un valor promedio de (11.2 ± 0.4) °Bx (Schweiggert et al., 2012), por lo que es más dulce y con una mayor aceptación por parte del consumidor. La papaya Pococí es un híbrido que tiene una forma de fruta más aperada, su masa oscila entre 1300 g a 1800 g. Por fuera es pecosa (moteada). La planta del híbrido Pococí es muy vigorosa y esto la puede diferenciar en el campo, además tiene muy buena carga de fruta. En cuanto a propensión a enfermedades, Pococí es ligeramente más resistente a la antracnosis que la Lucía y que la Parriteña. La semilla de este híbrido se ha manejado de tal manera que el productor deba adquirirla en el MAG, lo que garantiza que no haya tanto cruce y que el híbrido sea cada

vez más puro (Bogantes, 2016). Como se mencionó antes, la cantidad de semillas por papaya depende del material, pero se ha encontrado que este valor es bajo en el híbrido Pococí con relación a otras variedades, situándose en un porcentaje en peso con respecto al fruto de 8.3 ± 1.8 . Haciendo referencia a la pulpa del fruto, al ser más rojiza que la de las variedades criollas, su contenido de carotenos es mayor. El valor de pH de la misma es de 5.3 ± 0.1 y su contenido (gramos por cada 100 gramos de fruta fresca) de D-glucosa, D-fructosa y sacarosa es 3.1 ± 0.5 , 2.6 ± 0.4 y 1.2 ± 0.2 respectivamente (Schweiggert et al., 2012).

D. Generalidades de la siembra del papayo y la cosecha de su fruto

La papaya se debe sembrar a una altitud entre (0 y 600) m.s.n.m., con temperaturas anuales promedio entre (23 y 27) °C, y con una buena distribución de precipitación a través de todo el año (por lo que en la zona Pacífica del país, requiere de sistema de riego durante la época seca), para así obtener una producción de buena calidad comercial. La máxima calidad gustativa se obtiene con una alta luminosidad. El viento puede afectar la planta, provocando daños mecánicos en el fruto y volcamiento de plantas en etapa de producción. En zonas ventosas el cultivo debe estar protegido en nichos. La selección del suelo es de vital importancia, siendo ideales aquellos con texturas livianas (franco a franco arenoso), y profundidad no menor a 1.20 m. Se requiere además de un excelente drenaje, ya que el encharcamiento afecta mucho la planta, aún por pocas horas (Bogantes et al., 2011). La humedad relativa de la zona puede rondar entre el 70 % y el 85 % (Guzmán, 1998).

Para la siembra es de especial mención arar bien el suelo para que quede suelto, y poner cuidado en que sea uniforme alrededor del punto de inserción, de manera que no se generen pozos que afecten la humedad en las partes inferiores de la planta, dando lugar a la proliferación de hongos. Se siembra la planta en diferentes puntos con buena distancia entre ellas para evitar la competencia de nutrientes, agua y suelo. Existen diferentes configuraciones de siembra (cuadrada, rectangular o el tresbolillo conocido como “pata de gallo”), pero en todas ellas la distancia entre plantas es no menor a 2 m, y puede llegar hasta los 3 m; mientras que la distancia entre las hileras varía de 2 m a 3 m. En cuanto a la fertilización, el potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y boro son elementos básicos (Guzmán, 1998). Las enfermedades más comunes son la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y el hongo de agua (*Phytophthora palmivora*, *Phytophthora capsici*) en el fruto; nematodos u hongos (el mismo que

el del hongo de agua) en las raíces; y como plagas la mosca de papaya (*Toxotrypana curvicauda*) y el salta hojas (*Empoasca spp.*) que depositan sus larvas y destruyen el fruto desde dentro, por lo cual se hace necesario la fumigación constante (Bogantes et al., 2011).

En términos generales, el cultivo se puede dividir en tres etapas: la etapa vegetativa, que se da entre la germinación de la semilla y el inicio de la floración, desde 0 hasta los 2.5 ó 3 meses; la segunda etapa desde el inicio de floración hasta inicio de cosecha se da de los 2.5 ó 3 meses hasta los 8 meses; y la tercera es la etapa de cosecha continua, de los 8 meses hasta los 18 a 20 meses (Bogantes et al., 2011). La finalización realmente la define el productor, dependiendo del tamaño del árbol para no dificultar la cosecha y la extracción de la planta del terreno. Previo a estas etapas hay una etapa de vivero, pues la planta es muy delicada en sus primeros días. Esta etapa dura aproximadamente 22 días, hasta que la plántula alcanza unos 10 cm a 15 cm (una altura equivalente a la profundidad del sustrato en la que se encuentra, para que las raíces no giren sobre sí mismas).

E. Zonas de cultivo y procesadoras en Costa Rica

Varias zonas del país se han caracterizado como productoras del cultivo. En la provincia de San José, los cantones de Turruabares, Acosta y Pérez Zeledón; en Alajuela los cantones de Orotina, San Mateo y San Carlos (sobresaliendo en los últimos años); en Puntarenas, los cantones de Puntarenas, Garabito, Parrita (de donde procede la línea criolla Parriteña), Aguirre (distritos Quepos, Savegre y Naranjito) y Buenos Aires. En la provincia de Heredia solamente el cantón de Sarapiquí; en Guanacaste el cantón de Abangares, y en Limón el cantón de Pococí (específicamente en Cariari, de donde procede el híbrido Pococí), y en Río Jiménez de Guácimo (Guzmán, 1998).

En cuanto a las zonas de proceso, lo usual es que las plantas de procesamiento estén cerca de las zonas de cultivo o incluso tengan su propio cultivo. Algunas de ellas son TropiFrost (en Sarapiquí), Fructa (en Siquirres), El Ángel (en San Carlos) y CONAPROSAL en Guanacaste (Bogantes, 2016).

F. Formas actuales de uso de la papaya

La forma de uso más frecuente en el país es el consumo fresco y la exportación como fruta fresca al extranjero. También se exporta de forma procesada, en donde la presentación

habitual es troceada y congelada para su envío (Bogantes, 2016). Se puede aprovechar también para la elaboración de jugo, mermelada, almíbar y fruta confitada, entre otros (Fundación Produce, s.f.).

G. Aprovechamiento de la semilla de papaya

En el país, los subproductos del procesamiento de la papaya se han utilizado poco, siendo la aplicación rudimentaria a los suelos el uso más extendido. En ocasiones, los subproductos se han utilizado como alimento para ganado, pero, en el ganado bovino, puede producir timpanismo (acumulación de gases en el rumen), por lo que se desaconseja su uso (Bogantes, 2016). Otros usos naturalistas tanto en el país como de forma internacional se describen en la Sección 2.II.A a continuación.

En cuanto la extracción de la semilla para obtener aceite, dentro de nuestras fronteras recientemente se han realizado avances por parte de estudiantes emprendedoras del Tecnológico de Costa Rica (TEC), quienes lo obtuvieron por la extrusión de la semilla, como muestran en las redes sociales asociadas a dicho emprendedurismo, con usos generales para el cuidado de la piel (Tecnológico de Costa Rica, 2016). Por otra parte, en el mercado internacional de igual manera se tienen muchos ejemplos de empresas que comercializan el aceite de semilla de papaya de forma pura, también con un uso cosmético. Ejemplos de dichas empresas son Aromatic en el Reino Unido, Katyani Exports en India, HBNO y Lotus Garden Botanicals en Estados Unidos, Cosmark Aromatics en Australia, Dupert y Co. Ltd. en Chile, entre otras, donde gran parte de las empresas indican que el aceite que comercializan ha sido extraído por prensado en frío, con calidad virgen y sin refinar (Future Market Insights, 2018).

De igual manera existen muchísimas páginas de carácter personal (*blogs*) que indican cómo extraer el aceite en casa (utilizando prensas de cocina) y los beneficios tanto de la semilla como de su aceite. Dejando de lado la credibilidad de dichas páginas, es notable que el número de noticias sobre el consumo de semilla de papaya y del uso de su aceite crece con rapidez, por lo cual las personas están más al tanto de los usos y de los beneficios que producen en la salud.

II. SEMILLA DE PAPAYA

A. Propiedades de la semilla

La semilla de papaya, tal como muchas otras semillas de frutos frescos, es desechada a la hora de consumir el fruto. También se desecha a la hora de preparar productos procesados, siendo esta de escaso valor alimenticio o comercial para el ser humano, excepto el de volver a sembrar plantas.

Es también una práctica común, sobre todo de los pueblos no occidentales, el utilizar las semillas y consumirlas según sus propiedades medicinales, ya sea de manera independiente o mezclada con otros ingredientes. Algunos de esos usos, conocidos a través de informes científicos o transmitidos de manera oral, incluyen propiedades como agente anti-helmíntico (o vermífugo) y anti-amebiano (Okeniyi, Ogunlesi, Oyelami, y Adeyemi, 2007) antimicrobiano y antibacteriano, incluso como remedio contra la tiña y la psoriasis. Además, se usa como digestivo gracias a sus propiedades carminativas (Krishna, Paridhavi, y Patel, 2008). Es importante mencionar que algunos atributos de la semilla nombrados anteriormente se deben precisamente a su componente oleaginoso, por lo cual se puede decir que las propiedades anteriormente mencionadas son parte de los usos y propiedades del aceite de semilla de papaya. Otras posibilidades se dan en industria alimenticia, ya que al ser un aceite alto oleico tiene la opción de ser usado para consumo directo, freír alimentos o para el atomizado sobre galletas y otros productos horneados o frutos secos y cereales, con el objetivo de aumentar su calidad y sabor, sin embargo para estas aplicaciones requieren estudios de toxicidad previos (Puangsri et al., 2005). También, el aceite de semilla de papaya se podría usar como combustible, donde uno de los indicadores principales es el índice de cetano (CI, por sus siglas en inglés). El CI del aceite de semilla de papaya es 60.3 (Kalayasiri, Jeyashoke, y Krisnangkura, 1996), lo cual es promisorio ya que un buen combustible debe tener un CI mayor a 51 según las normas de calidad para gasóleo utilizado en automoción (E.S. Guntin, 2016). Más adelante se ampliará la información de usos posibles del aceite, con base en la composición del mismo.

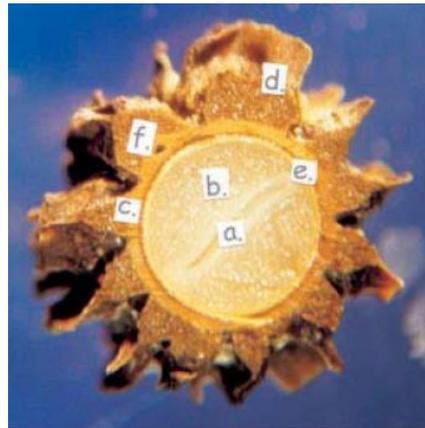
B. Morfología

En la Figura 2. 4 se muestra la semilla de papaya, entera y sin su piel exterior. Para entender un poco la morfología de la semilla de papaya, que corresponde a la semilla de

una planta angiosperma, se muestra en la Figura 2. 5, la sección transversal de una semilla de papaya sin sarcotesta. Las semillas de las plantas angiospermas pueden dividirse en tres partes: embrión, endospermo y cubierta seminal. En algunos casos (semillas bitegumentadas) la cubierta seminal se divide a su vez en dos estructuras, la testa y el tegmen (Gil y Miranda, 2008).



Figura 2. 4. Semilla de papaya; izquierda: semilla fresca con exotesta, derecha: semilla seca sin exotesta (se muestra la mesotesta)
(Fotos: J. D. Alpízar Ugalde)



a) embrión b) endospermo c) endotesta d) mesotesta e) tegmen f) rafe

Figura 2. 5. Estructura interior de la semilla sin exotesta
(Gil y Miranda, 2005)

En la semilla de papaya, la testa está compuesta por la exotesta jugosa (llamada también sarcotesta), la mesotesta (formada por mesotesta externa e interna) y la endotesta. Por otra parte, la estructura del tegmen se compone por el exotegmen, mesotegmen, y endotegmen,

al que sigue la cutícula nuclear y finalmente el endospermo. A su vez, las semillas se hallan unidas a los funículos o tejidos placentarios, que a su vez conectan con paredes internas de las cavidades en la pulpa. (Gil y Miranda, 2008).

C. Composición

La constitución básica de cualquier materia vegetal y/o alimenticia, se determina mediante ensayos químicos en los que se analizan, entre otros, humedad, proteínas, lípidos y carbohidratos. Este es llamado análisis próximo o proximal (Speight, 2015), en donde usualmente se determinan los carbohidratos por diferencia. A continuación, se muestra el análisis proximal según varias fuentes de la literatura para las semillas de papaya. Es una práctica común de los autores citados, reducir el contenido de humedad de la semilla a menos del 10 % antes de realizar el análisis, por lo que se debe advertir que la humedad no es la de una semilla recién obtenida del fruto, que tiene una humedad superior al 70 % (base húmeda) (Chan y Heu, 1978).

Cuadro 2. 1. Análisis proximal de semillas de papaya

Referencia	1	2	3	4
Componente	Valor (g/100 g de materia)			
Humedad	6.2 ± 0.05	6.43 ± 0.12	7.2 ± 0.0	6.8 ± 0.1
Lípidos	28.3 ± 1.04	29.16 ± 0.88	30.7 ± 0.7	31.13 ± 0.24
Proteína	27.8 ± 0.04	25.63 ± 0.29	28.3 ± 0.8	26.78 ± 0.42
Fibra	22.6 ± 0.12	{ 30.51	19.1 ± 0.2	21.4 ± 0.17
Carbohidratos	11.67		25.6	10.69
Cenizas	3.50 ± 0.36	8.27 ± 0.01	8.2 ± 0.1	3.2 ± 0.12

1. (Marfo, Oke, y Afolabi, 1986) 2. (Malacrida et al., 2011) 3. (Puangsri et al., 2005) 4. (Bouanga-Kalou et al., 2011)

Como se puede observar, existe un gran contenido de lípidos en la semilla de papaya, superando en todos los casos reportados el 25 % (en base seca). Este valor es relativamente alto comparado con el de otros frutos, tales como higos (23.5 %) peras (14.1 %), manzanas (19 % a 23 %), uvas (12 % a 22 %) o el *cantaloupe* (variedad de melón, 30.4 %) (Chan y Heu, 1978). También, es interesante comparar el valor con otras semillas oleaginosas de uso extendido, como la soya (9.72 % a 19.5 %) (Ari, Ayanwale, Adama, y Olatunji, 2012) o la oliva (31 % a 59%) (Aparicio y Harwood, 2013). Todos los valores mostrados se refieren a contenido de lípidos en base seca.

En la semilla de papaya, los lípidos y proteínas se encuentran mayoritariamente dentro del endospermo, almacenados en los oleosomas y los granos de aleurona, respectivamente (Gil y Miranda, 2008)

III. SECADO

A. Generalidades del secado

El secado es la remoción de un líquido de una matriz sólida, que puede ser un sólido compacto, lodo, solución o pasta, para dar como resultado un producto con baja o ninguna humedad. Adicionalmente este se da al enfriar un vapor condensable para separarlo de un gas no condensable, así como la eliminación de humedad de un líquido o gas por sorción (absorción y adsorción actuando conjuntamente para eliminar el agua). La operación unitaria de secado es una de gran uso a nivel industrial, siendo esta de utilidad en las industrias farmacéutica, química, alimentaria, entre otras (Seader, Henley, y Roper, 2011).

Pese a que generalmente se habla de la eliminación de agua, el líquido que se retira también podría ser un líquido orgánico. Esta operación difiere de la evaporación en que se requiere llevar el líquido a eliminar hasta su punto de ebullición, mientras que, en el secado, la remoción se hace por medio del arrastre con una corriente de aire (Geankoplis, 2006)

B. Importancia del secado

Esta operación unitaria permite una serie de ventajas sobre el material húmedo. Entre ellas, se encuentra la mayor manejabilidad de los materiales al reducir el volumen del sólido, disminuyendo así, los costos de transporte o embarque, y aumentando la capacidad relativa de los equipos en caso que sea necesario un procesamiento posterior, con el consecuente ahorro de los costos. El secado permite la preservación de productos que puedan sufrir afectaciones por humedad durante el transporte o almacenamiento, como lo son los productos naturales y alimenticios. Finalmente, el secado aumenta el valor o utilidad de productos residuales o subproductos (Vian y Ocón, 1976).

C. Tipos de humedad en los sólidos

La humedad en los sólidos se define bajo diferentes categorías. Para entender estas categorías, es necesario partir del hecho de que, generalmente, el aire utilizado para secar un

sólido, no está completamente seco, sino que ya tiene un cierto contenido de humedad, expresado usualmente en términos de humedad relativa (McCabe, Smith, y Harriot, 2007). El contenido de humedad se refiere a la fracción de masa de agua y de masa de sólido húmedo (o bien seco), expresado como porcentaje (Treybal, 1988):

$$X = \frac{\text{kg de humedad}}{\text{kg de sólido seco}} \quad (2.1)$$

$$\frac{X}{1 + X} = \frac{\text{kg de humedad}}{\text{kg de sólido húmedo}} \quad (2.2)$$

donde X = fracción de humedad libre en base seca, adimensional.

La fracción de contenido de humedad en base seca se calcula como:

$$X = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (2.3)$$

donde m_h = masa del sólido húmedo, kg o g

m_s = masa del sólido seco, kg o g

Por otra parte la humedad relativa es la saturación relativa de humedad, en este caso para el aire (Treybal, 1988):

$$\text{Humedad relativa} = \frac{P}{P} = \text{saturación relativa} \quad (2.4)$$

donde P_{vap} = presión parcial del vapor en el gas, kPa

P_{vap} = presión de vapor de agua pura, kPa

Un sólido no puede tener una humedad menor a la humedad del aire con el que se encuentra en equilibrio y, por lo tanto, el agua total del sólido que exceda dicha humedad en equilibrio, es llamada humedad libre, que es la de mayor interés en los sistemas y cálculos de secado (McCabe et al., 2007).

A estas dos definiciones se suman las de humedad no ligada y ligada. La humedad no ligada es aquella humedad de sólido que iguala o supera la humedad en equilibrio de un sólido con un aire a 100 % de humedad relativa (McCabe et al., 2007) (es decir un sólido cuyo contenido de agua ejerce una presión parcial de vapor en equilibrio, igual o mayor a la del líquido puro a la misma temperatura); mientras que la humedad ligada es aquella que no supera este valor (Treybal, 1988). También, se les llama humedad retenida y no retenida.

Lo anterior se puede visualizar en la Figura 2. 6:

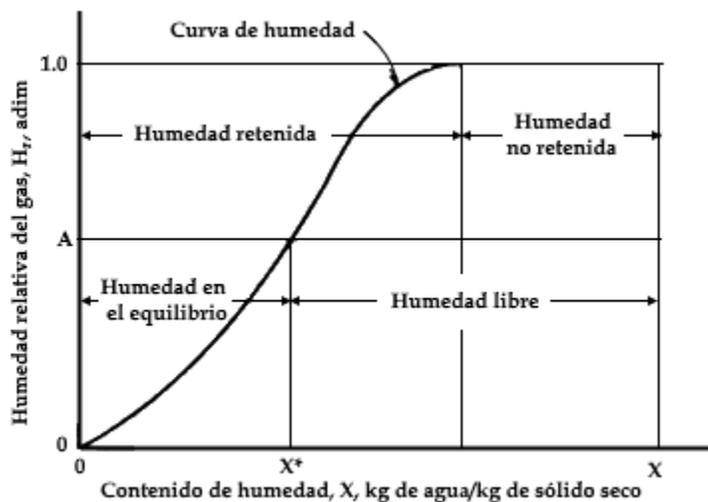


Figura 2. 6. Tipos de humedad en los sólidos
[Figura modificada de (Treybal, 1988)]

D. Condiciones de secado

El secado puede variar según las condiciones que se presenten o se planteen para el mismo. Los tres criterios más usados para definirlo son las características del sólido a secar, la forma de transferencia de calor, el tipo de operación según la carga de alimentación; con estos criterios es posible definir el tipo y diseño del secador. Aparte de estas características, un buen diseño debe tomar en cuenta condiciones ambientales y de hidrogeografía del lugar donde se vaya a colocar, seguridad, minimización de la contaminación, así como costos de inversión y operación. Se discuten a continuación la primera serie de criterios:

i. Tipos de sólidos a secar

En términos generales, la sustancia puede ser de tipo sólido rígido, como madera, o bien flexible como la tela o papel. Así también puede ser de naturaleza granular, donde se encuentran los sólidos cristalinos, porosos y no porosos, características que pueden afectar mucho la difusión y secado de los sólidos; y también se encuentran los materiales fibrosos, las pastas, lechadas, lodos y soluciones (Treybal, 1988; Perry y Green, 1997).

ii. Formas de transferencia de calor

El arrastre de la humedad por medio de aire o algún otro gas, involucra la vaporización de la humedad contenida en el sólido, por lo cual es claro que se debe generar una transferencia de calor hacia el sólido. Esta puede darse por convección (calor del gas en contacto con el sólido), conducción (calor de algún sólido en contacto con el sólido), radiación (de un gas o sólido en contacto con el sólido a secar) o bien generación de calor por medio de ondas de radio o microondas (calentamiento dieléctrico) (Seader et al., 2011). A los secadores que utilizan gas caliente para secar los sólidos, se les llama secadores directos o adiabáticos, mientras que los que utilizan un medio externo, como vapor de agua que transfiere el calor por medio de una superficie metálica en contacto con el sólido, se les llama indirectos o no adiabáticos. Algunos secadores son de ambos tipos simultáneamente (McCabe et al., 2007).

iii. Tipo de operación por alimentación de carga

La operación de secado puede ser por alimentación de material continua o discontinua (carga por lotes, que generalmente corresponde más bien a una operación por semi-lotes, donde la sustancia se alimenta y se descarga, pero el flujo de aire es continuo). Es claro que en los secadores que operan en lotes o semi-lotes, no se llega al estado estacionario, mientras que en los secadores continuos sí (Treybal, 1988).

La operación por lotes es relativamente costosa, por lo cual es solamente adecuada para trabajos en pequeña escala (50 kg/h en promedio), como lo son la investigación en laboratorio o en plantas piloto. Al darse por períodos discontinuos, es de gran importancia conocer con certeza los parámetros de la operación, por lo que se hace necesario realizar pruebas de secado previas a la construcción de equipos de mayor escala, y así fijar bien las condiciones de tamaño, tiempos y condiciones del secador, que garanticen una operación precisa y efectiva (Treybal, 1988)

Las pruebas de secado no dejan de ser de importancia en la operación continua. Los equipos de secado continuos presentan la ventaja sobre los equipos de secado por lotes, al ser generalmente más pequeños para la misma cantidad de material a secar (soportan alimentaciones de 1 T/h o más). Además, no requieren de un almacenamiento intermedio, el producto tiene un contenido final de humedad más uniforme y el costo de secado por unidad de producto es menor que en el secado por lotes (Treybal, 1988).

E. Tipos de secadores

El método de transferencia de calor y de tipo de operación, finalmente reducen la gama de diseños de secadores en el mercado, con lo cual se facilita su escogencia. Cada una de estas características depende de la naturaleza de sólido a secar, quien es el que impone el problema de secado y da la pauta para su resolución.

Perry y Green (1997) clasifican los sólidos a secar en materiales líquidos (soluciones verdaderas y coloidales o emulsiones), lechadas, pastas y lodos, polvos de flujo libre, sólidos granulares, cristalinos o fibrosos, sólidos grandes (y/o de formas y contornos especiales), materiales laminares continuos y materiales laminares discontinuos. Las semillas de papaya representan un sólido granular fibroso. Para este tipo de sólido el equipo más versátil es el equipo rotatorio de secado directo, que trabaja de manera continua, ya se acopla a todos los materiales de tipo granular y a distintas capacidades, aunque el polvo o cristales pueden causar abrasión en el equipo. También el secador de lecho fluido es bastante adaptable, logrando trabajar en operaciones continuas y por lotes (*batch* en inglés), y por secado directo e indirecto. Otros equipos útiles que trabajan de manera continua y transferencia directa son túnel de secado y bandejas continuas para lotes semicontinuos de gran escala; así como bandejas vibratorias (en caso de sólidos que puedan ser transportados por estas) para el caso de transferencia de calor indirecta. Si el material es poco pegajoso y no sensible a la temperatura, el equipo de transporte por tornillo y el rotatorio de secado indirecto tienen la ventaja de causar poca pérdida de polvo. En cuanto a equipos que trabajan por lotes, en especial si el lote es pequeño, son de utilidad los equipos de bandejas (secado indirecto), bandejas y compartimentos (secado directo) y el secador de circulación a través (secado directo o indirecto), en este último caso para materiales que tengan un tamaño de partícula de 30 mesh

(0.6 mm) o más (secado directo e indirecto); mientras que si el lote es grande, se puede utilizar el equipo rotatorio de secado al vacío (secado indirecto), con el inconveniente de que se dé alguna pulverización del sólido. En este caso es recomendable acoplar un colector de polvo.

F. Curvas de secado

Para poder diseñar, escalar o escoger un secador, es necesario contar con datos sobre las condiciones que logren obtener una reducción de humedad de manera adecuada. Esto se hace importante por el hecho de que el mecanismo de secado no se conoce suficientemente para todos los materiales, por lo cual es indispensable contar con medidas experimentales (Geankoplis, 2006).

A la hora de realizar los experimentos de secado, se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones para que los valores obtenidos en pequeña escala sean de máxima utilidad. Así, la muestra no debe ser muy pequeña y se debe colocar en una bandeja o sistema lo más similar al diseño que se plantea para gran escala. Otros valores que deben mantenerse iguales o proporcionales, tomando en cuenta el diseño que se vaya a tener, son la relación de materia superficial expuesta, y la no expuesta, así como la profundidad de capa de material. También la velocidad, humedad, temperatura y dirección del aire deben ser iguales y constantes para simular un caso real deseado, y utilizar el mismo método de transferencia de calor (Geankoplis, 2006).

Al realizar experimentos en secado se obtienen datos de la pérdida de humedad, medida como pérdida de masa del sólido, y tiempo. Con estos datos es posible realizar gráficas como la mostrada en la Figura 2. 7, en donde se grafica la humedad libre, en unidades de base seca, contra el tiempo. Como se muestra en la figura, existe una zona desde A-B, que corresponde al tiempo en que el sistema adquiere la temperatura de estado estacionario, dado que el sólido generalmente tiene una temperatura menor, o bien si se trata de un equipo en arranque. Si el sólido tuviera una temperatura similar a la del sistema, se dice que empieza en A'. Las tres siguientes zonas son las realmente importantes en la teoría del secado, en donde la zona B-C corresponde a la zona de secado a velocidad constante, que da

paso a la zona de secado a velocidad decreciente, C-D, en donde la disminución es proporcional a la pérdida de humedad, y finalmente la zona D-E, también de velocidad decreciente (Geankoplis, 2006).

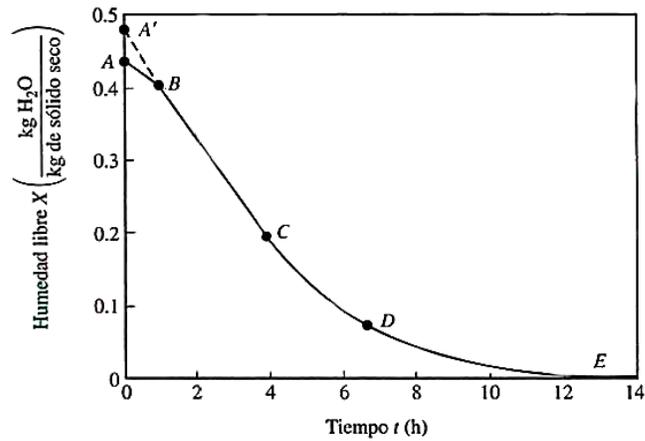


Figura 2. 7. Curva típica de velocidad de secado, datos de humedad libre contra tiempo [Figura modificada de (Geankoplis, 2006)]

Estas zonas se aprecian con mayor facilidad al graficar los datos obtenidos como velocidad de secado contra humedad, como se muestra en la Figura 2. 8.

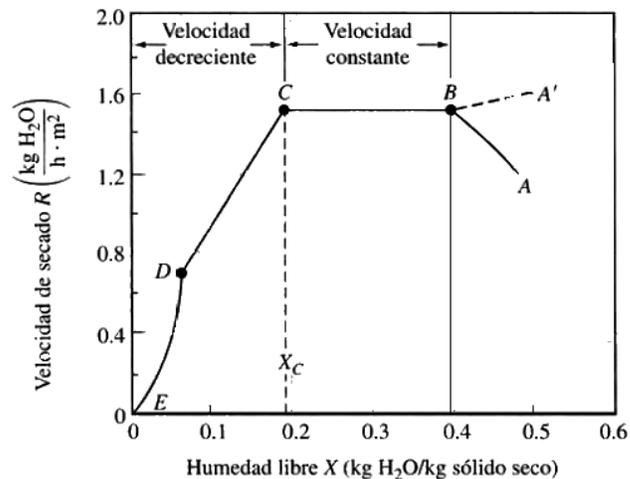


Figura 2. 8. Curva típica de velocidad de secado, datos de velocidad de secado contra humedad libre [Figura modificada de (Geankoplis, 2006)]

Para obtener la velocidad de secado, se calcula la derivada de la humedad con respecto al tiempo, tomando los datos de la Figura 2. 7, de manera que utilizando la misma nomenclatura de la Figura 2. 8, se tiene que:

$$R = -\frac{m_s}{A_d} \frac{dX}{dt} \quad (2. 5)$$

donde R = velocidad de secado de humedad, $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
 m_s = masa del sólido seco, kg
 A_d = área superficial expuesta al secado, m^2
 t = tiempo, h

En el trayecto de B hasta E de ambas figuras, se encuentran 2 puntos de gran importancia, a saber, el punto C, donde se da el contenido de humedad crítico y el cambio de velocidad constante a velocidad decreciente. La teoría sobre el secado dice que, en el período de velocidad constante, el secado se da de manera que el movimiento de humedad interno al sólido es suficientemente rápido para mantener toda la superficie del mismo húmeda, donde se da la evaporación. En el primer período de velocidad decreciente, no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua, por lo cual el movimiento interno controla la velocidad de secado. En el segundo período de velocidad decreciente, el subfrente de evaporación es insuficiente, por lo cual comienzan a formarse islas secas que igualmente se transportan hasta la superficie hasta que el sólido queda en equilibrio o bien totalmente seco (Geankoplis, 2006). El otro punto de importancia es el E, donde se alcanza el contenido de humedad en equilibrio. En el caso de usar una balanza de secado, la humedad final en el punto E corresponde con un contenido de humedad igual a cero. La importancia de estos dos puntos radica en que se necesita conocer la masa del sólido totalmente seco para poder realizar los cálculos de secado, y en el caso del punto crítico, porque un valor alto del mismo implica un lapso mayor de la totalidad del secado que obedece una cinética de orden cero, en donde la operación depende de la presión de vapor del agua superficial, la cual que se mantiene constante mientras haya líquido cubriendo la superficie del sólido. En cuanto se supera este punto crítico, entran en juego otras variables como la humedad residual y el área fluxional de la interfase sólido-aire, que toma en cuenta limitaciones de

transporte interno, porosidad, entre otros (Puente, Morales, Sik, y Mata, 2016). Es entonces a partir del punto crítico, cuando el calor suministrado por un secador se vuelve realmente importante, y cuando el consumo energético del mismo es mayor.

Existen varias maneras de visualizar los datos de secado, por ejemplo en lugar de graficar la velocidad de secado con respecto al contenido de humedad (Figura 2. 8.) se puede graficar contra el tiempo, como se muestra en la Figura 2. 9.

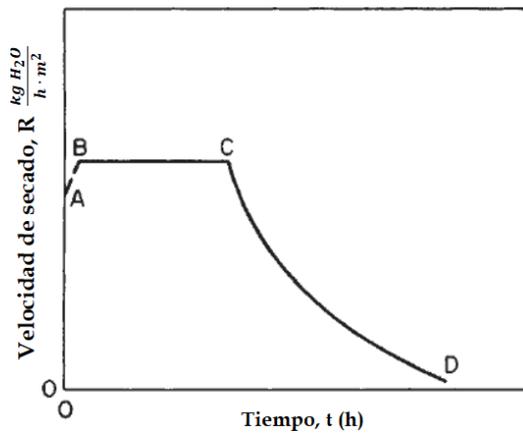


Figura 2. 9. Curva de velocidad de secado, datos de velocidad de secado contra tiempo [Figura modificada de (Perry y Green, 1997)]

También se pueden utilizar variables diferentes a las convencionales para el secado. Puente et al. (2016), reemplazan el contenido de humedad por una relación que indica la fracción de agua evaporada en un momento determinado (Figura 2. 10), para luego obtener la derivada de esta relación, como una razón de velocidad al igual que en las gráficas convencionales de velocidad de secado. Dicha relación se expresa matemáticamente en la ecuación (2. 6.)

$$x = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_\infty} \quad (2. 6)$$

donde x = fracción de agua evaporada en el tiempo t , adimensional

m_0 = masa inicial del sólido a secar, kg

m_t = masa del sólido en cualquier momento t del secado, kg

m_∞ = masa del sólido al finalizar el secado, kg

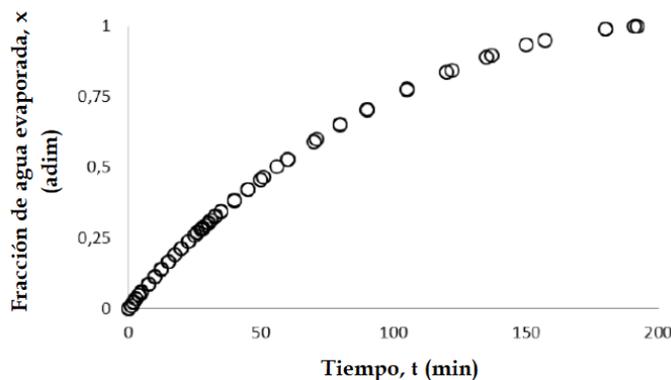


Figura 2. 10. Curva de velocidad de secado, datos de fracción de agua evaporada contra tiempo
[Figura modificada de (Puente et al., 2016)]

G. Secado de las semillas de papaya

Una revisión de la literatura provee bastantes ejemplos de estudios del secado de las semillas de papaya con diversos fines. Entre ellos se menciona acerca de los efectos de distintos tipos de secado (al sol, secador tipo tienda y túnel de secado), en donde se concluye que no hay diferencia significativa en cuanto a los cambios en las características físicas de la semilla ni propiedades fisicoquímicas del aceite extraído por medios químicos y mecánicos luego del secado, para los tipos de secado mencionados (Korir, 2017). Por otro lado, Chielle, Bertuol, Meili, Tanabe, y Dotto (2016) hablan sobre el rendimiento de aceite en la extracción dependiendo de las condiciones en una etapa previa de secado de las semillas, utilizando un túnel de secado. Dichos autores explican que para un ámbito de temperaturas de secado, los valores un poco más altos de mejoran la transferencia de calor y de masa, asimismo la eficiencia de difusión interna, sin embargo hacen la importante mención de que altas temperaturas en conjunto con velocidades de flujo del aire de secado altas, generan modificaciones estructurales en la semilla durante la operación, las cuales obstruyen las vías de eliminación de agua, dificultando y aumentando el tiempo total requerido para secar las semillas. Es por esto que en su estudio concluyen que para un túnel de secado, las mejores condiciones para obtener un secado adecuado, con tiempo mínimo y en donde posteriormente se logre extraer la mayor cantidad de un aceite, con buenas propiedades, son una velocidad de flujo de aire de 2 m/s y una temperatura de 70 °C.

IV. EXTRACCIÓN

A. Generalidades de la extracción

En términos generales, la extracción (química) es aquella operación unitaria en donde se utiliza un disolvente en fase líquida, para separar (ya sea aislar o purificar) un componente de una mezcla que puede ser sólida o líquida. En caso de que se separe un componente de una mezcla sólida (o bien se remuevan varios componentes considerados impurezas), la operación recibe el nombre de lixiviación (parte de las extracciones sólido-líquido), que tiene características en común con la filtración y el lavado. Por otra parte, si se extrae de una mezcla líquida, se categoriza como extracción líquido-líquido, también llamada extracción de líquido. En ambos casos se utiliza las diferencias en la estructura química para lograr la separación, en lugar de las diferencias de volatilidad como en el caso de la destilación (McCabe et al., 2007).

El caso de la extracción de un aceite de origen vegetal utilizando disolventes, por ejemplo de una semilla oleaginosa, esta pertenece al primer tipo de extracción descrito, por lo que en adelante se hará referencia solamente a la lixiviación. Esta es una disolución selectiva—que puede o no incluir el fenómeno de la difusión como parte de su mecanismo— de un componente o fracción soluble, y extraído de una fracción que es permeable e insoluble en el disolvente, y en donde la fracción de interés se encuentra asociada de alguna manera. Es relevante mencionar que generalmente la fracción soluble será líquida, pero también puede ser sólida, y la misma puede estar incorporada, químicamente combinada, adsorbida o bien mecánicamente atrapada dentro de la red porosa del material insoluble (Perry y Green, 1997).

En la industria de extracción de aceites vegetales a partir de semillas, la mezcla de aceite-disolvente es conocida como miscela; esta, generalmente contiene una pequeña cantidad de sólidos suspendidos que deben ser filtrados de alguna manera. Por otra parte, a los sólidos lixiviados, dentro de la corriente del disolvente, se les conoce como “marco” (del inglés *marc*) (Vian y Ocón, 1976). Otros nombres dados a la miscela son sobreflujo, extracto, disolución y lixiviado (*lixivate* y *leachate*, ambos términos en inglés) (Perry y Green, 1997).

Otra forma importante de extracción en las materias oleaginosas es aquella que se realiza por prensado o extrusión, es decir de forma mecánica. Este método de extracción ha

sido utilizado por cientos de años y fue reemplazado por la extracción química solamente hasta después de la Segunda Guerra Mundial. A pesar de que gran parte de las extracciones de aceite se realizan ahora con disolventes, los llamados aceites especializados (*specialty oils*) siguen utilizando la antigua tecnología, incluso cuando el rendimiento de extracción por sí solo es menor, pues se logra un aceite más saludable, más puro, de mejores cualidades sensoriales y de mayor calidad (Matthäus, 2012). En el aceite de oliva por ejemplo, las calidades extra virgen y virgen se obtienen por extrusión, para luego generar las calidades refinado y aceite de orujo de oliva, los cuales incluyen tratamientos con calor o extracción con disolventes, con cierta pérdida de propiedades como color, sabor y muy posiblemente en compuestos antioxidantes (Aparicio y Harwood, 2013).

B. Importancia de la extracción sólido-líquido

Esta operación es de uso extendido en varios campos de la industria, uno de los mayores usos se da en la industria metalúrgica para minerales o metales valiosos de las mezclas en las cuales se hallan contenidos. Asimismo, muchos productos orgánicos naturales de importancia alimenticia o farmacéutica se extraen de las partes aéreas de las plantas y de raíces, entre otros, por medio de la lixiviación. Otro de los usos extendidos es la extracción de aceites de origen vegetal, en donde la lixiviación puede ser la operación principal, o bien ser una operación secundaria a la extrusión o prensado mecánicos. Es también una de las formas de lavado de precipitados químicos en aguas madre industriales. Finalmente, la lixiviación no es una operación solamente de uso industrial, pues la preparación en locales u hogares de las infusiones de té (*Camellia sinensis*), café (*Coffea spp.*) y otras plantas, también se realizan por lixiviación (Treybal, 1988).

C. Tipos de extracción sólido-líquido

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de esta operación ha sido notable en diversas industrias, tanto antiguas como actuales, dando lugar a variedad de nombres para la misma, como extracción, extracción sólido-líquido, lixiviación, percolación, infusión, lavado y decantación por sedimentación (Perry y Green, 1997). La diferenciación de cada uno de estos, viene dada por la naturaleza de la sustancia extraída, así como el interés y la forma final en la que se desea obtener el extracto, ya sea una fracción deseada, o eliminar una

fracción de impurezas; si se quiere aislar el producto puro, o mantenerlo en disolución, como es el caso de las infusiones (Vian y Ocón, 1976).

D. Condiciones de lixiviación

La primera serie de condiciones a considerar en una lixiviación, son aquellas que se refieren al proceso de disolución, ya que la misma es una disolución selectiva como se mencionó anteriormente. Uno de los factores principales que afectan la solubilidad es la naturaleza química del soluto y la del disolvente, por lo cual es necesario elegir un disolvente o mezcla de disolventes que sean afines a la polaridad del soluto, aumentando la atracción y por tanto la solubilidad (Brown, LeMay, Bursten, y Burdige, 2004). A este respecto se suma el efecto de la temperatura, puesto que generalmente esta afecta la solubilidad, al aumentar la energía cinética de las moléculas involucradas y sus interacciones, así como la entalpía del sistema (Brown et al., 2004). En cuanto al uso de esta variable para modificar la solubilidad, se puede aplicar un principio similar al utilizado en la operación de cristalización o recristalización, en donde se logra que un disolvente actúe sobre el soluto a temperatura elevada, pero no lo disuelva a temperatura baja (Geankoplis, 2006). A mayor temperatura se reduce la viscosidad del líquido y aumenta la difusividad, con lo que la lixiviación es más rápida, sin embargo, al elevar demasiado la temperatura se pueden lixiviar materiales indeseables o estropear el sólido en caso de productos orgánicos (Treybal, 1988). Asimismo, la disolución puede ser promovida por la agitación mecánica (la cual es indeseable en una recristalización). La agitación no solamente promueve la transferencia de calor y la suspensión de las partículas sólidas, sino que también provoca mayor interacción entre las fases, de un modo análogo —a nivel macro— a lo que se comentaba para la temperatura (McCabe et al., 2007). Finalmente, entre más pequeñas sean las partículas a disolver, mayor es el área de contacto entre el soluto y el disolvente, por lo que mejora la solubilidad (Vian y Ocón, 1976). En el caso de los extractores por percolación, no se recomienda que los sólidos pasen por un proceso de molienda muy fino, pues se provocaría una resistencia muy alta al flujo del disolvente (Geankoplis, 2006)

Una segunda serie de condiciones son aquellas sobre el tipo de operación a utilizar, que se relacionan también con el tipo de equipo. Estas son un poco más complejas que en la operación de secado, las cuales se detallan a continuación:

i. Operación continua o discontinua

La extracción de aceite de semillas oleaginosas encuentra un gran aliado en los extractores continuos (estado estacionario) y semicontinuos (llamada también operación por semilotes, estado no estacionario), no así tanto en la operación por lotes, aunque para ciertos casos puede ser preferible. Este tipo de operaciones (continua y semicontinua) tienen la ventaja de que se obtienen miscelas más concentradas, en comparación con la operación por lotes (estado no estacionario). Esto tiene además la ventaja de que el consumo de energía es menor, y la demanda de mano de obra se reduce, sin embargo los equipos son caros y el volumen de disolvente requerido es mayor, por lo cual encuentran cabida principalmente en la realización de producciones grandes (Vian y Ocón, 1976).

ii. Lecho fijo, lecho móvil y lecho agitado

En la lixiviación, se pone en contacto una fase líquida (disolvente) y una fase sólida (materia prima que contiene el aceite vegetal). Tanto una fase, o ambas pueden ser cargadas en un solo momento y mantenerse inmóviles o con muy poco movimiento, o bien ser flujos continuos que atraviesan el equipo. En el caso del disolvente, este puede manejarse por aspersión o goteo desde la parte superior, o bien por inmersión del sólido en el líquido; esto dependiendo de las características del sólido y del líquido, y del equipo, entre otros (Treybal, 1988).

El lecho (o carga sólida) es un o lecho fijo o estacionario (no confundir con estado estacionario) cuando dicha carga se soporta en placas o platos perforados (extractor por percolación), llamado fondo falso, de manera que el disolvente pueda pasar a través del sólido, que se mantiene sin movimiento, y remover todo el soluto (aceite) hasta un valor que sea despreciable y por tanto no hayan pérdidas económicas de importancia (McCabe et al., 2007). En los tanques de percolación, el disolvente puede entrar luego de haber cargado el sólido, y permanecer en contacto durante un tiempo establecido, para luego ser drenado a través del fondo falso, o bien hacer circular disolvente fresco varias veces (parte de este puede ser disolvente recirculado) para recuperar la mayor cantidad de soluto (Treybal, 1988).

El lecho móvil, como su nombre lo indica, es aquel donde la carga de sólidos se mueve, generalmente por acción mecánica, y circula en contracorriente al disolvente (Vian y Ocón,

1976). Como se mencionaba anteriormente, los métodos continuos y semicontinuos tienen mucha ventaja en la extracción de oleaginosas. Ejemplos de equipos con este sistema son los extractores Rotocel (extractor de celdas rotatorio), extractor francés de canasta estacionaria (variante del Rotocel), extractor de Bollman (uno de los más utilizados en Europa para la extracción de aceites de semillas), extractor horizontal continuo (variante del Bollman) y el extractor de Kennedy (Treybal, 1988; Vian y Ocón, 1976).

Los equipos donde el lecho es de tipo agitado, surgieron como una solución al acanalamiento del disolvente en lechos fijos, o bien a la lixiviación lenta y en algunos casos incompleta (Treybal, 1988). La agitación se genera a través de paletas o propelas en un tanque, o bien por el giro del mismo tanque en forma horizontal. No es un método que se utilizara en el pasado para la extracción de sólidos molidos (Vian y Ocón, 1976), y es de raro uso en Norteamérica, aunque sí se ha utilizado bastante en fábricas antiguas de Europa y en Sudamérica para la extracción de aceites de semillas (Treybal, 1988), y en los casos donde antes o durante la lixiviación se generan lechos impermeables. La separación de la miscela y el “marco” se realiza por filtración o por sedimentación, utilizando uno o varios espesadores o bien se puede utilizar centrífugas continuas de transporte helicoidal (McCabe et al., 2007).

iii. Equipo de contacto continuo y operado por etapas

Los equipos de contacto continuo son los más sencillos, y en estos simplemente se carga el sólido y el disolvente y se deja remojar un cierto tiempo, con o sin agitación. Un solo equipo de contacto continuo puede ser equivalente a varias etapas, dependiendo del manejo de condiciones. Ahora bien, si en un mismo equipo, por ejemplo un tanque de percolación, se hace pasar líquido repetidamente con o sin recirculación del flujo total, este se convierte en un equipo donde se han realizado varias etapas, de donde se entiende que no necesariamente debe haber un equipo por cada etapa, aunque sea lo general. En el caso de las operaciones en co-corriente (ver siguiente sección), varios equipos acoplados en este sistema proveerán solamente una etapa (Treybal, 1988). Con todo lo anterior, se puede definir una etapa de lixiviación como aquella en la que el sólido no ha sido lixiviado anteriormente por el líquido con el que se encuentra en contacto (o mayor parte del líquido, en el caso de haber una porción que se recircula).

iv. Flujo co-corriente, corriente cruzada y contra corriente

El flujo co-corriente en la lixiviación, que consiste en ingresar la carga de sólidos y de disolvente y hacer que fluyan juntos, es una operación poco utilizada en general, aunque tiene algunas aplicaciones como la extracción de metales raros (Jamrack, 1963). Su gran desventaja es que el disolvente se satura más rápidamente que en una lixiviación contracorriente, y tiene por tanto una menor eficiencia. Los conceptos de diseño de intercambiadores de calor, son análogos a la transferencia de masa en extractores micro canales (Malengier y Pushpavanam, 2012), de donde se entiende que la lixiviación co-corriente es menos preferible. Por otra parte, el flujo de corriente cruzada, a pesar de ser más eficiente que el flujo co-corriente, tiene la desventaja de necesitar mucho disolvente, dado que se debe alimentar solvente fresco a cada una de las etapas de un sistema de extracción (Anantharaman y Meera, 2011). El flujo a contracorriente es el más efectivo y utilizado en las operaciones de lixiviación, que adquiere su mayor potencial al colocar varios equipos en una serie de etapas de extracción, esto último para producciones grandes en operación continua. Es relevante saber que, aunque se presente un lecho fijo o el sólido no se mueva de una etapa a otra, el hecho de que el disolvente se mueva a través en una batería de extracción, con concentración de sólidos decreciente, hace que la operación se pueda tratar como flujo contracorriente (McCabe et al., 2007).

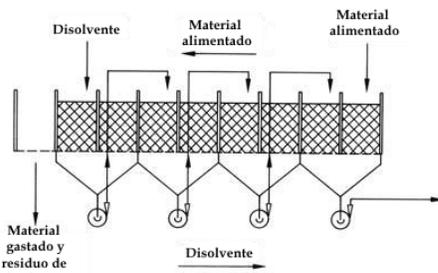
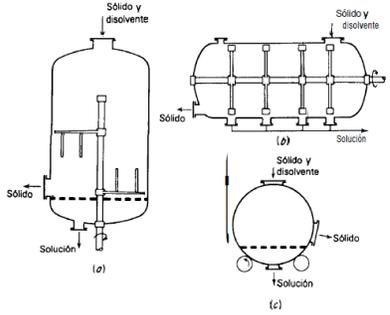
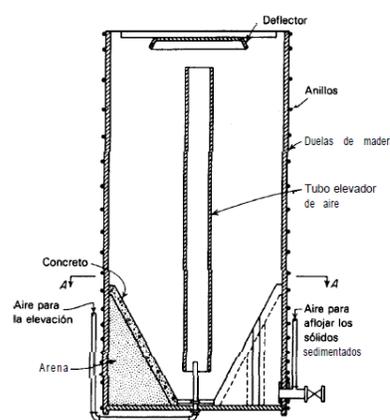
v. Otras condiciones a tomar en cuenta en la lixiviación:

Otros factores a tomar en cuenta se refieren a las propiedades del disolvente de extracción, tales como densidad, inflamabilidad, volatilidad, y otros que afecten el diseño del extractor o extractores (Vian y Ocón, 1976). Asimismo es importante algunas características del sólido, como su densidad y densidad aparente, la capacidad de retención de miscela una vez separado el extracto (Vian y Ocón, 1976), y por supuesto condiciones de preparación del sólido como descascarillado, reducción del contenido de humedad y del tamaño (molienda, rebanado u otros), precocinado, prensado, entre otros (Treybal, 1988).

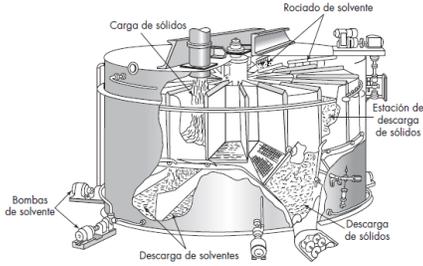
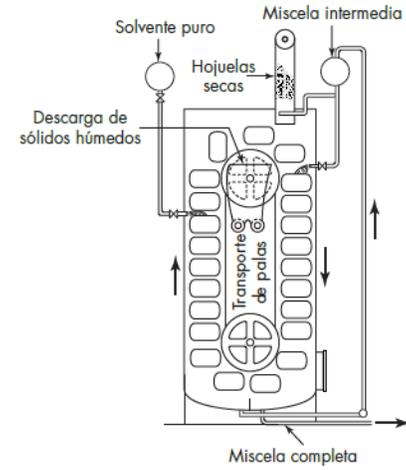
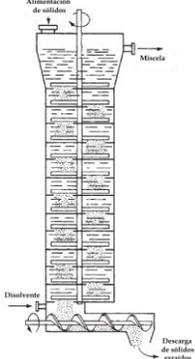
E. Tipos de extractores

A continuación se presenta una breve descripción de los algunos tipos extractores comerciales.

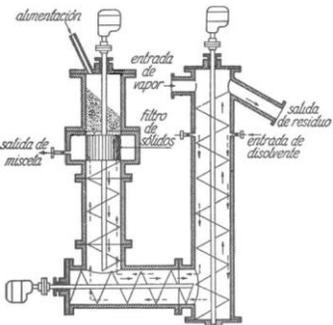
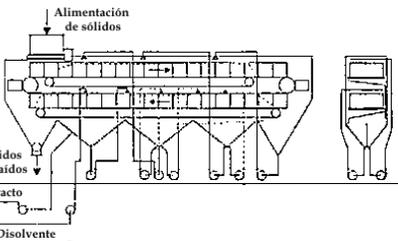
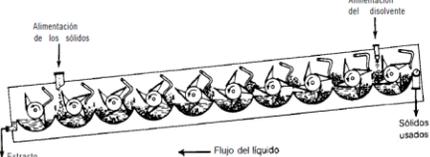
Cuadro 2. 2. Algunos tipos de extractores y sus características

Tipo de extractor	Características
<p data-bbox="276 399 584 430">Extractor por percolación¹</p> 	<p data-bbox="649 336 1352 367"><i>Estado no estacionario</i></p> <p data-bbox="682 399 1352 766">Para sólidos de tamaño intermedio, se pueden utilizar este tipo de extractores, en donde el sólido descansa en una cama perforada, mientras que el disolvente se rocía por la parte superior. Cuando se acoplan varios se les llama batería de extracción (estado estacionario). Algunos son tanques cerrados, llamados también difusores, en donde se bombea el líquido, ya que la caída de presión es muy grande para que se dé el flujo por gravedad. Tienen la ventaja de evitar pérdidas en disolventes volátiles o cuando se desea trabajar a temperaturas por encima del punto de ebullición del disolvente²</p>
<p data-bbox="308 798 552 829">Agitado por carga²</p> 	<p data-bbox="682 798 1352 1333">Al moler algunos materiales se pueden formar sólidos muy pequeños. Si se da el caso en que el sólido tiende a formar lechos impermeables, se pueden impedir por agitación de la carga. Al proporcionar un mezclado total del contenido, estos extractores trabajan generalmente en una sola etapa de eficiencia intermedia-alta a alta, ya que el equilibrio sólido-líquido tiende a alcanzarse en el tanque. Se debe tener el cuidado de que no haya acumulación de sólidos. También se los suele acoplar en serie (unos 3 tanques en estado estacionario) junto con sedimentadores-espesadores para separar el sólido posteriormente a la extracción. Otra forma de separar el sólido es por medio de la filtración y la centrifugación². La agitación se logra a través de paletas, o propelas usualmente tipo turbina (a) o bien el giro del mismo extractor (b y c)⁵.</p>
<p data-bbox="324 1354 535 1386">Tanque Pachuca²</p> 	<p data-bbox="682 1354 1352 1564">Utilizados en la industria de metalúrgica, es otro tipo de tanque en el que se agita la carga, pero en el caso del Pachuca, esto se logra a través del uso de aire impulsado a través del eje central del mismo. Estos tanques tienen la parte inferior de forma cónica, lo cual ayuda a que el sólido recircule y sea agitado en forma vertical⁴.</p>

Cuadro 2. 2. (continuación) Algunos tipos de extractores y sus características

Tipo de extractor	Características
<p data-bbox="456 401 553 428">Rotocel³</p> 	<p data-bbox="760 401 954 365"><i>Estado estacionario</i></p> <p data-bbox="760 401 1425 730">Extractor de tipo rotatorio, tiene su nombre debido a las celdas o compartimentos acomodados alrededor de un eje que gira de manera que en cada celda se dé el llenado y vaciado de sólido y disolvente de uno a otro y en contracorriente. El sólido descansa sobre placas perforadas que se abren para descargarlo cuando se ha gastado, y el disolvente se rocía por arriba y pasa de una celda a otra por bombeo inferior. De esta manera se tiene en un mismo equipo lo que simularía varios extractores por percolación⁶.</p>
<p data-bbox="451 764 565 791">Bollman³</p> 	<p data-bbox="760 764 1425 1297">Es uno de los extractores que se han utilizado más en Europa para la extracción de semillas oleaginosas⁵. La carcasa, herméticamente cerrada, contiene una serie de cangilones que acarrean el sólido que ingresa una vez ha sido acondicionado y molido. El disolvente entra por la parte opuesta y fluye en contracorriente con el sólido, mientras que una parte se recircula (miscela intermedia) para extraer más el soluto. Esta fluye en co-corriente con el sólido. Al finalizar la extracción, se extrae el lixiviado (miscela completa) y el sólido ya gastado se vacía en un compartimento central⁶.</p>
<p data-bbox="451 1331 565 1358">Bonotto⁴</p> 	<p data-bbox="760 1331 1425 1753">Extractor de platos de tipo vertical. El sólido cae a través de los platos en sucesión alternando en aberturas colocadas en lados opuestos de la torre (similar a una torre de destilación de platos) e impulsado por un aspa rotatoria radial. Al final son acarreados por un tornillo sinfín y un compactador. El disolvente se bombea de abajo hacia arriba. Así como el Bollman, el Bonotto ha sido virtualmente reemplazado por los extractores de banda horizontal o los de placas perforadas en la industria de extracción de semillas oleaginosas⁴.</p>

Cuadro 2. 2. (continuación) Algunos tipos de extractores y sus características

Tipo de extractor	Características
<p data-bbox="349 399 511 430">Hildebrandt⁵</p> 	<p data-bbox="665 346 876 378"><i>Estado estacionario</i></p> <p data-bbox="690 409 1347 630">Este extractor viene a ser un intento por mejorar la característica de flujo en contracorriente (mal lograda al recircular miscela intermedia, más densa) en el extractor Bonotto. Consiste en tres tornillos sin fin acoplados en forma de U para mover y compactar al sólido a través del extractor, mientras que el disolvente fluye en contracorriente⁷.</p>
<p data-bbox="389 798 470 829">Lurgi⁶</p> 	<p data-bbox="690 798 1347 1060">Es un tipo de variante lineal del Rotocel, y parte de los extractores horizontales⁴. Se compone de una banda sin fin que transporta al sólido en compartimentos que fluyen en contra corriente con el disolvente, que entra por la parte inferior. El sólido pasa de la banda superior a la inferior y luego descargados por una zona de drenado, mientras que el disolvente se descarga por una etapa de filtración¹.</p>
<p data-bbox="373 1113 487 1144">Kennedy²</p> 	<p data-bbox="690 1113 1347 1333">Su uso es más limitado comparado con el Bonotto y el Hildebrandt. Está integrado por una serie de tanques acoplables de fondo redondo en una carcasa cerrada, por donde pasa el disolvente hacia abajo y en contracorriente con el sólido que es transportado de un tanque a otro por paletas rotatorias. Al final se descargan por un sistema de noria. Una unidad al final clarifica la miscela.</p>

1: (Ullmann, 2011) 2: (Treybal, 1988) 3: (McCabe et al., 2007) 4: (Perry y Green, 1997) 5: (Vian y Ocón, 1976) 6: (Sattler y Feindt, 1995) 7: (Geankoplis, 2006)

F. Lixiviación del aceite de semilla de papaya

En la literatura científica se pueden encontrar varios ejemplos de la extracción con disolventes del aceite de semilla de papaya, así como su caracterización; sin embargo pocos de ellos retratan un método de lixiviación diferente a la extracción de aceites y grasas con el equipo Soxhlet (Agunbiade y Adewole, 2014; Bouanga-Kalou et al., 2011; Malacrida et al., 2011) Dicho equipo es ciertamente muy utilizado ya que además de ser la forma más conocida y estandarizada, provee una forma efectiva para extraer las grasas de un sustrato dado.

Otros métodos con los que se ha obtenido el aceite de semilla de papaya son la extracción supercrítica (Barroso et al., 2016) o la extracción asistida por ultrasonido (UAE) (Samaram, Mirhosseini, Tan y Ghazali, 2013); sin embargo estas técnicas tienen dificultad para ser escaladas a nivel industrial, debido al alto costo de construcción, técnico y financiero, además de que incluso la UAE logra apenas un 76 % de lo extraído con Soxhlet (Samaram et al., 2013). Existen además opciones como la extracción acuosa enzimática (Puangsri et al., 2005) y la extracción utilizando algas como *Chlorella protothecoides* (Heller, Kissinger, Matsumoto, y Keith, 2015), sin embargo estas no tienen tan buen rendimiento como las técnicas anteriormente mencionadas o tienen otro tipo de complicaciones biológicas. Finalmente, otra de las técnicas más convencionales de extracción de aceites es el prensado, el cual puede ser en frío o en caliente, y es también llamado extrusión o extrusión-expulsión, pero de nuevo se presenta el problema del menor rendimiento con respecto a la extracción con disolventes (Lee, Lee y Su, 2011).

A la hora de extraer grasas o aceites de origen vegetal utilizando disolventes, Treybal (1988) apunta que lo usual es que dicho disolvente sea éter de petróleo (el cual es una combinación de varios hidrocarburos y por tanto de composición variable según la fracción de destilado del petróleo de donde se extrae), además es propuesto entre los métodos oficiales de análisis de la AOAC (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Otro disolvente muy utilizado es el *n*-hexano, mientras que los hidrocarburos clorados son indeseables por el residuo altamente tóxico que pueden dejar en el lixiviado o bien en el sólido gastado. El uso de *n*-hexano se ha extendido por su alta eficiencia en la extracción y alta volatilidad, que hace que la recuperación del mismo sea menos costosa. Sin embargo recientemente se ha reducido su uso dado que es también altamente inflamable y sus vapores causan daños en el sistema nervioso central de las persona que están muy expuestas al mismo, por lo cual la entidad Clean Air Amendment de EE.UU. lo incluyó dentro una lista de 189 contaminantes ambientales en el año 1990 (Gallegos-Infante, Rocha-Guzmán, González-Laredo, Zuno-Floriano, y Vidaña, 2003), de ahí que sea importante estudiar alternativas en cuanto a disolventes de extracción.

Gallegos-Infante et al. (2003), apuntan en sus estudios con diferentes variedades de girasol, que las diferencias entre el rendimiento de extracción de aceite con isopropanol (IPA)

y el *n*-hexano no son muy significativas, así como tampoco lo es el contenido de carotenoides extraídos junto con el aceite. Es importante mencionar que el uso de isopropanol como medio de extracción tiene aspectos de costos positivos y negativos con respecto al *n*-hexano: por una parte el costo del isopropanol es menor, sin embargo el costo de recuperación por evaporación es mayor (Abu-Arabi, Allawzi, Al-Zoubi, y Tamimi, 2000). Por otra parte, el isopropanol demuestra ser más seguro debido a su mayor punto de ebullición y bajo límite de explosión. El rendimiento de extracción del isopropanol como disolvente ha sido probado y en el caso de las hojuelas de soya alcanza hasta el 95.6 % del contenido extraído usualmente con otros disolventes comunes pero dañinos. El isopropanol es considerado un disolvente eco-amigable, ya que aunque proviene de una fuente no renovable (petróleo crudo), es inofensivo para los seres humanos y el medio ambiente. Los disolventes eco-amigables tienen además un buen récord en los aspectos de salud, seguridad, y medio ambiente (*HSE* por sus siglas en inglés) (Chemat, 2017).

V. CARACTERIZACIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL

El Reglamento Técnico Centroamericano, norma 67.04.40:07 (versión 2007), especifica una serie de características mínimas a reportar y los valores máximos permitidos para cada una de estas, en cuanto a aceites comestibles. A continuación se adjunta la tabla 3 de dicho documento:

Cuadro 2. 3. Especificaciones para los aceites y grasas

Parámetro	Límites Máximos Permitidos
Color	Característico del producto designado.
Olor y sabor	Característico del producto designado. Exento de olores y sabores extraños y rancios.
Apariencia	El producto debe estar libre de materia extraña.
Ácidos grasos libres	0.10% No aplica para grasas con emulsificantes
Índice de peróxidos	5 mEq peróxido / kg
Humedad y materia volátil	0.10%
Perfil de ácidos grasos	Ver Tablas No. 1 y No. 2 del reglamento (i.e. depende de la fuente del aceite)

Como se puede observar, el reglamento dicta que se especifiquen características sensoriales y luego algunas características químicas de importancia en cuanto a la estabilidad y pureza del aceite.

A. Color

El color, junto con la densidad, punto de fusión, índice de refracción y viscosidad, es parte de las características físicas de un aceite que pueden ser usadas para identificarlo (Belitz, Grosch, y Schieberle, 2009). En el caso de un aceite refinado, un color oscuro puede ser indicativo de una mala refinación. Es una característica importante sobre todo para los aceites comestibles, ya que el consumidor puede verse influenciado en su decisión de compra, por este parámetro. El color en un aceite puede deberse a compuestos con colores característicos, como los carotenoides, clorofilas y antocianinas, entre otros (MacDougall, 2002).

El color es una característica que se somete a la subjetividad del observador, más aún si existen deficiencias visuales, por lo que se han establecido escalas de color para evitar confusiones a la hora de caracterizar un material o alimento por su color. Una de dichas escalas es la CIE 1976 $L^*a^*b^*$, que sirve para localizar la característica en un espacio de color uniforme bajo los parámetros L^* , a^* y b^* . La coordenada L^* indica la luminosidad, y va de 0 a 100, mientras que las coordenadas a^* y b^* indican el verde/rojo, azul/amarillo como opuestos y no tienen un ámbito definido, sino que un valor negativo de a^* está más cerca del verde que del rojo, y un valor negativo de b^* más cerca del azul que del amarillo.

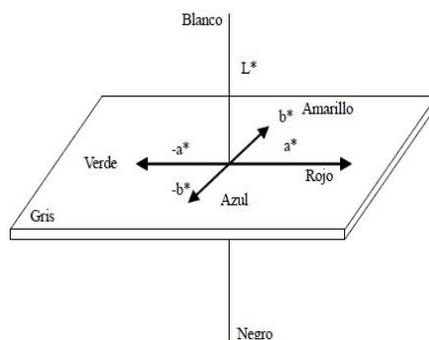


Figura 2. 11. Escala de color en el espacio CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (Domínguez, Román, Prieto, y Acevedo, 2011)

B. Índice de refracción

El índice de refracción es un indicativo de la pureza de un aceite y, el contenido de ácidos grasos libres, el grado de oxidación y el calentamiento pueden afectarlo. Para los aceites generalmente se determina entre (20 a 25) °C, mientras que para las grasas se prefiere a 40 °C, de manera que la misma se encuentre líquida. Esta característica se correlaciona linealmente con el índice de yodo, ya que las insaturaciones en los ácidos grasos provocan que este cambie, y permite identificar a los aceites (Nielsen, 2017).

C. Humedad y materia volátil

La humedad es un parámetro de calidad en un aceite, puesto que un contenido de humedad alto y prolongado en puede inducir a la hidrólisis de sus triglicéridos, conduciendo a elevar el contenido de ácidos grasos libres, con lo que se da oxidación, acidez y malos sabores. En la prueba de determinación de humedad de un aceite, las pérdidas en masa pueden incluir a parte o todos los compuestos volátiles del mismo (O' Brien, 2008).

D. Densidad

La densidad es un valor importante para fines comerciales, puesto que permite convertir entre la masa y el volumen del aceite. Esto puede utilizarse ya sea en el almacenamiento del aceite, o bien en relaciones de intercambio, ya que el aceite es medido en volumen, pero vendido según su masa. Además es una medida de la pureza del aceite y una forma de identificarlo, ya que depende de la composición de triglicéridos otros y componentes de mismo (Belitz et al., 2009).

E. Punto de fusión

El punto de fusión es una medida de la pureza de un compuesto. En un material como un aceite, puede indicar cierto grado de contaminación o degradación (Belitz et al., 2009).

F. Ácidos grasos libres

Es el porcentaje de ácidos grasos que se han hidrolizado y ya no pertenecen a un triglicérido. Generalmente se expresa como porcentaje del ácido graso mayoritario en el aceite (por ejemplo ácido oleico) (Nielsen, 2017).

G. Valor ácido

Está directamente relacionado con el parámetro anterior, e incluso un sencillo cálculo permite calcular el valor ácido a partir del porcentaje de ácidos grasos libres. El valor ácido indica la cantidad en miligramos de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres de 1 gramo de aceite (Nielsen, 2017).

H. Valor de peróxido

Es un indicativo de la rancidez del aceite causada por la oxidación. Mide los productos transitorios de la oxidación, ya que los peróxidos e hidroperóxidos se descomponen en otros compuestos. Se mide en miliequivalentes de oxígeno (mEq O₂) por cada kilogramo de aceite, sin embargo en el SI la unidad corresponde a milimoles de O₂ por cada kilogramo de aceite (Nielsen, 2017).

I. Materia insaponificable

Las grasas y aceites contienen un promedio de 0.2 % a 1.5 % de materia insaponificable, con algunas excepciones. La materia insaponificable puede contener hidrocarburos, esteroides, tocoferoles y carotenoides. Además, se pueden encontrar contaminantes o aditivos de la grasa o aceite, como aceite mineral, plastificantes o residuos de pesticidas (Belitz et al., 2009).

J. Valor de saponificación

La saponificación es el proceso de romper o degradar una grasa neutra en glicerol y sales de ácidos grasos. El valor de saponificación indica los miligramos de base (KOH, aunque se puede saponificar con otras bases) necesarios para saponificar 1 g de muestra. También es una medida del peso molecular promedio de los triglicéridos en un aceite. Entre más grande el valor de saponificación, más pequeñas son las cadenas de ácidos grasos, pues significa que la base debe degradar un ácido que contiene muchos grupos carboxílicos en ácidos de cadena corta (si fueran de cadena larga, no habría tantos grupos carboxílicos disponibles para saponificar) (Nielsen, 2017).

K. Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos permite conocer con precisión cuales ácidos grasos se encuentran presentes en el aceite, así como su porcentaje. Con esto se logra obtener información de

un aceite relacionada con ácidos grasos saturados, insaturados, monoinsaturados, poliinsaturados, y porcentaje de “grasas” *trans*. Es de gran importancia pues indica la composición de ácidos grasos, y con esta se puede elucidar algunas propiedades por comparación con otros aceites que tengan composición similar. Además la composición de ácidos grasos es característica de cada aceite (dentro de cierto ámbito), y existen normativas que regulan la cantidad máxima que puede contener un aceite de determinado ácido graso, con miras a evitar adulteraciones. Para obtener el perfil, generalmente se realiza una transesterificación de los ácidos grasos que constituyen los glicéridos a sus ésteres metílicos, que luego son analizados mediante la técnica de cromatografía de gases con detector de ionización de llama (Nielsen, 2017).

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar la prefactibilidad técnica y financiera del proceso de extracción de aceite de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí. Para conseguir dicho cometido, se realizó la siguiente serie de pasos:

- i. *Se extrajo el aceite, y se le determinaron ciertas características relevantes*
- ii. *Se definió el volumen de producción, así como posibles mercados*
- iii. *Se definió el proceso de extracción de aceite de semilla de papaya a considerar para una escala industrial*
- iv. *Se realizaron los balances de materia y energía, y con base en ellos se dimensionaron los equipos de producción*
- v. *Se calculó el costo de producción total y se analizó la prefactibilidad financiera del proceso.*

Estos pasos implicaron una serie de materiales, equipos y métodos, que se detallan en las secciones a continuación. Todas las pruebas fueron realizadas en diversos centros de investigación de la Universidad de Costa Rica (UCR).

I. MATERIALES

Las semillas de papaya para las pruebas de secado, molienda y extracción preliminares, se obtuvieron de los residuos de procesadoras en la zona Central Norte del país. Para la extracción definitiva y caracterización, se utilizaron papayas enteras, obtenidas de un productor de la zona de Guácimo, Limón. La diferencia entre las fuentes se da debido a que las empresas de la zona Central Norte, procesan mayormente variedades diferentes al híbrido Pococí, por lo cual dicho residuo no se podía utilizar según lo propuesto inicialmente. Es relevante mencionar que las diferencias entre los materiales no eran sustanciales ni importantes en cuanto a poder utilizar otro material de fácil acceso para las pruebas preliminares.

En cuanto a los reactivos utilizados en las pruebas de caracterización del aceite, la información fisicoquímica y toxicológica de los mismos se detalla en el Cuadro 3. 1.

Cuadro 3. 1. Constantes químicas, físicas y peligrosidad de las sustancias utilizadas en las pruebas de caracterización del aceite

Sustancia	Fórmula molecular	Masa Molecular / (g/mol)	Punto de fusión /° C	Punto de ebullición /° C	Densidad, ρ_{25} / (g/cm ³)	Solubilidad	Toxicidad ^a
Etanol	C ₂ H ₆ O	46.068	-114.14	78.29	0.7893 ²⁰	H ₂ O, éter, acetona, cloroformo, benceno	Alta volatilidad e inflamabilidad. Causa irritación ocular y es tóxico por ingestión
Fenolftaleína	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	328.323	262.5	---	1.277 ³²	Benceno, EtOH, acetona, éter, cloroformo	Puede causar cáncer, sospecho de causar daño genético e infertilidad
Hidróxido de sodio	NaOH	39.997	323	1388	2.13	EtOH, MeOH	Peligroso por contacto, inhalación e ingestión. Corrosivo
Agua	H ₂ O	18.015	0.0	100.0	0.9970	EtOH, MeOH, acetona	
Hidróxido de potasio	NaOH	56.105	406	1327	2.044	EtOH, MeOH	Corrosivo y tóxico por ingestión
Óxido de calcio	CaO	56.077	2898	---	3.34	Reacciona con H ₂ O, soluble en ácidos	Serío daño ocular. No respirar polvo
Cloruro de hidrógeno	HCl	36.461	-30	> 100	1.2	Solubilidad limitada en H ₂ O	Tóxico, corrosivo, causa quemaduras en la piel, irritación respiratoria
Éter etílico	C ₄ H ₁₀ O	74.121	-116.2	34.5	0.7138 ²⁰	H ₂ O, EtOH, benceno, acetona	Líquido y vapores extremadamente inflamables. Nocivo por ingestión. Puede provocar somnolencia o vértigo, y formar peróxidos explosivos
Acetona	C ₃ H ₆ O	58.079	-94.7	56.05	0.7845	H ₂ O, EtOH, éter, cloroformo, benceno	Líquido y vapores muy inflamables. Provoca irritación ocular grave, somnolencia y vértigo

Cuadro 3. 1. (continuación) Constantes químicas, físicas y peligrosidad de las sustancias utilizadas en las pruebas de caracterización del aceite

Sustancia	Fórmula molecular	Masa Molecular / (g/mol)	Punto de fusión / ° C	Punto de ebullición / ° C	Densidad, ρ^{25} / (g/cm ³)	Solubilidad	Toxicidad ^a
Ácido acético	CH ₃ COOH	60.052	16.64	117.9	1.0446	H ₂ O, EtOH, éter, acetona, cloroformo, Benceno, CS ₂	Causa irritación en piel y ojos
Cloroformo	CHCl ₃	119.378	-63.41	61.17	1.4788	H ₂ O, EtOH, éter, acetona, benceno	Tóxico por inhalación, contacto. Sospechoso cancerígeno. Daño a órganos en exposición prolongada
Yoduro de potasio	KI	166.003	681	1323	3.12	EtOH, H ₂ O	Contamina ligeramente medio acuático. Daño en tiroides por exposición prolongada, ingesta
Almidón	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	variable	---	---	1.5	Insoluble en H ₂ O fría	Peligroso en grandes cantidades. Explosivo en aire
Tiosulfato de sodio	Na ₂ S ₂ O ₃	158.108	Descomposición a 100 ° C	---	1.69	Insoluble en EtOH, soluble en H ₂ O	No respirar ni tocar sin protección. No ingerir

Constantes: (Lide, 2007)

a: (Merck, 2018)

II. PROGRAMAS DE CÓMPUTO

Cuadro 3. 2. Datos del software utilizado para la realización de esta investigación

Programa	Versión
Universal Software (colorímetro)	4.10
Microsoft Office Excel	MS Office Profesional Plus 2016
STATISTICA	10
AutoCAD	2016 Student Version
Polymath	6.10 Educational Version
LabSolutions, Shimadzu GCsolution™	Versión 2.3
Chromatography Data System software	Versión 1.21
GCMSsolution™ software	

III. EQUIPOS

Se presentan los datos técnicos de los equipos utilizados en la realización del presente trabajo en el Cuadro 3. 3

Cuadro 3.3. Datos de los equipos utilizados para la extracción del aceite y su caracterización

Equipo	Fabricante	Modelo	Placa UCR	Ámbito	Incertidumbre
Procesador de alimentos	Hamilton-Beach	Big Mouth Duo Plus 70580	---	(0 - 12) tz	---
Balanza de humedad	Ohaus	MB35-20A	328690	(0 - 35) g	0.001 g
Secador			110524		
Molino	Retsch	Cyclone Mill Twister	336378	(10000, 12000, 14000) min ⁻¹	---
Soxhlet	Lab-Line Instruments Inc.	5000	---	(40 - 300) °C	---
Biorreactor	Brunswick Scientific	Bioflo 110	281708	(0 - 70) °C (0 - 1200) min ⁻¹	0.3 °C 1 min ⁻¹
Evaporador rotatorio (Rotavapor)	Büchi	R-300	393214	220 min ⁻¹ (780 - 0) mbar (Ambiente-180) °C	1 min ⁻¹ <1 mbar 1 °C
Centrífuga	Thermo Scientific	Sorvall ST16	375280	0-15200 (5000)	---
Balanza analítica	Sartorius	BP 221S	183504	(0 - 220) g	0.0001 g
Cromatógrafo de gases	Shimadzu	GC-2014	271256	---	---
Cromatógrafo de gases acoplado a Espectrómetro de masas	Shimadzu	GC-17A acoplado a GCMS-QP5000 ver. 2	183939 acoplado a 293982	---	---
Refractómetro de Abbé	Atago	Nar-1T	162583	(1.3000 - 1.7000) (Ambiente - 100) °C	0.0002
Baño de agua con agitación	GCA Precision	66800-26 Modelo 25	68050	(30 - 200) balanceo/min 220 min ⁻¹	0.1 °C ---
Evaporador rotatorio (Rotavapor)	Büchi	RE 111	67085	(780 - 0) mbar (Ambiente-180) °C	1 min ⁻¹ <1 mbar 1 °C
Estufa al vacío	Napco	5831	78027	(0 - 30) in Hg (35 - 200) °C	1 in Hg 1 °C
Colorímetro	HunterLab Colorflex	45/0 serie CX1192	218297	(400 - 700) nm	< 0.3 nm
Plantilla de agitación	Corning	PC-353	107563	(0 - 1000) min ⁻¹	50 min ⁻¹



Procesador de alimentos



Balanza de humedad



Secador



Molino



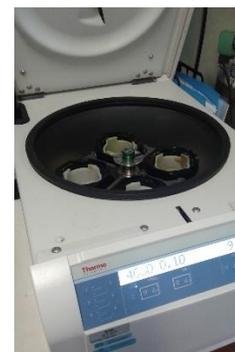
Soxhlet



Biorreactor



Rotavapor R-300



Centrífuga



Balanza analítica



Cromatógrafo de gases acoplado a Espectrómetro de masas



Refractómetro de Abbé



Baño de agua con agitación



Rotavapor RE 111



Estufa al vacío



Colorímetro



Plantilla de agitación

Figura 3. 1. Equipos utilizados durante la realización de esta investigación

IV. MÉTODOS

A. Acondicionamiento inicial de la materia prima

Las semillas fueron obtenidas de un productor como fruta entera, o recibidas en bolsas de polietileno como residuo de una procesadora. A las frutas proveídas por el productor, se las partió y se sacaron las semillas de forma manual, a veces con asistencia de una cuchara pequeña. Posteriormente los pasos de acondicionamiento fueron los mismos indistintamente de la fuente, lo cual consistió principalmente en realizar una limpieza utilizando agua y frotando suavemente contra un tamiz, dados los tejidos que se hayan unida a la semilla. A su vez los residuos de las procesadoras pueden contener partes de pulpa o incluso cáscara de papaya.

Como parte de las pruebas, se eliminó la sarcotesta a una parte de las muestras, con el fin de evaluar la diferencia que esta producía en el secado y en el rendimiento de extracción. Los métodos para remover la sarcotesta reportados en la literatura no son muchos, los principales son 1) remoción manual, 2) colocar las semillas sobre un tamiz y frotar con presión suficiente (mayor a la aplicada en el lavado), 3) frotar en arena autoclavada y, 4) utilizar una licuadora (Araujo, Evangelista, Gomes, Pinheiro, y Mara, 2014).

Para el presente trabajo se utilizó el llamado método del tamiz, dentro de las instalaciones del Centro de Investigación en Productos Naturales (CIPRONA), cuando las pruebas no implicaban una cantidad de semilla a procesar muy grande. Se hizo uso de un tamiz cuyo tamaño fue el suficiente para romper la sarcotesta, pero no muy grande para que las semillas no caigan por los espacios del mallado. En las pruebas realizadas se utilizó una malla de (1.5-2) mm. Para las pruebas definitivas, que necesitaban una cantidad de semilla mayor, se empleó un procesador Hamilton Beach Big Mouth Duo Plus 70580 en el Centro para Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS) siguiendo además algunos lineamientos indicados por investigadores del mismo centro (Barboza, 2017).

B. Secado de la semilla

Los ensayos para determinar las curvas de secado de la semilla se realizaron en el Laboratorio de Biomasa de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, con una atmósfera controlada en una humedad relativa de $(60 \pm 5) \%$ y presión barométrica igual a

87 kPa. Se tomaron manualmente los datos de una balanza de secado Ohaus MB35-20A, hasta que la muestra alcanzo masa constante (Ulate y Mata, 2014).

Por otra parte, para el secado de las semillas utilizadas en las pruebas preliminares de extracción, y de la extracción final del aceite de semilla de papaya, se utilizó un secador de gabinete de flujo cruzado (flujo a través del sólido), placa UCR 110524, ubicado en el CI-PRONA, con una temperatura de 70 °C, colocando la carga en bandejas tipo tamiz de malla fina y dejando secar durante 16 h hasta obtener un porcentaje de humedad menor al 8 %.

C. Molienda de la semilla

Se redujo el tamaño de partícula de las semillas en las instalaciones del Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), utilizando un molino Retsch Cyclone Mill Twister y un tamaño de tamiz de 2 mm. El equipo fue ajustado a 12 000 min⁻¹.

D. Determinación de humedad de las semillas

Una vez que se limpiaron, secaron y molieron las semillas, se determinó la humedad final por triplicado en una estufa de vacío en el Laboratorio de Química del CITA, siguiendo el método oficial de la AOAC 925.09: Sólidos (totales) y pérdida por secado (humedad) en harinas (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Para medir la masa de las cápsulas en los diferentes pasos del método, se utilizó una balanza Sartorius BP 221S.

E. Determinación de las condiciones de extracción del aceite

Para la determinación de las condiciones de extracción del aceite, se emplearon dos biorreactores New Brunswick Scientific Bioflo 110 de 2 L (volumen total de trabajo), en el Laboratorio de Microbiología del CITA. Se determinó el tiempo de saturación de aceite en el disolvente, el cual fue isopropanol, efectuando una cinética de extracción. Para dicha cinética, se realizaron pruebas preliminares de suspensión del sólido en el disolvente, y utilizando la razón másica disolvente/sólido (R_{ds}) de 4:1 y temperatura de 50 °C. Esto se eligió así por ser una relación intermedia en el ámbito de pruebas posteriores variando la R_{ds} y la temperatura. La prueba de suspensión resultó en una velocidad de giro de la propela en 300 min⁻¹ hasta 400 min⁻¹ para la carga utilizada. Una vez que el sistema estuvo estable, se tomaron alícuotas de 5 mL aproximadamente, las cuales fueron filtradas en un pre-filtro o

filtro de laboratorio con un papel Whatman No. 4, de manera que se obtuvieran alícuotas líquidas de 3 mL aproximadamente. Esta alícuota se secó, se midió su masa en una balanza Sartorius BP 221S y con esto se calculó la concentración de aceite en el disolvente. De esta manera se calculó entonces el rendimiento de aceite como función del tiempo.

Una vez establecida la condición de tiempo de saturación por análisis gráfico y regresión matemática de los datos, se realizó una optimización con superficie de respuesta (MSR), a través de un diseño central compuesto rotatable (DCCR) para obtener un modelo de segundo orden de las variables independientes estudiadas, a saber, 1) la razón másica disolvente/sólido y 2) la temperatura. Se codificaron las variables y se estableció un valor de α (distancia de los puntos axiales del diseño) igual a $f^{1/2}$ (es decir $\sqrt{2}$, pues los factores, f , son dos) para asegurar los supuestos de rotabilidad y esfericidad del modelo. Asimismo, se utilizaron cinco repeticiones de la corrida central (Montgomery (2004), recomienda de tres a cinco), para un total de 13 corridas experimentales. Se eligieron los puntos axiales del modelo ($-\sqrt{2}$, $+\sqrt{2}$) en 3 y 6 para la variable 1, mientras que para la variable 2 fueron 30 y 60. Dichos valores fueron elegidos para tener un ámbito amplio de estudio sin llegar a utilizar demasiado disolvente, y provocar que el proceso se vea económicamente comprometido, además de no elevar la temperatura muy cerca del punto de ebullición, para evitar peligros y pérdidas de disolvente. El MSR de segundo orden tiene la forma siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_{11} \cdot x_1^2 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_{22} \cdot x_2^2 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \varepsilon \quad (3.1)$$

donde $\beta_0, \beta_1, \beta_{11}, \beta_2, \beta_{22}, \beta_{12}, \varepsilon$ son los coeficientes del modelo

y es la variable de respuesta

x_1, x_2 son las variables independientes

El diseño elegido se muestra a continuación:

Cuadro 3. 4. Factores y niveles para el diseño con respuesta Y , rendimiento de extracción

Factores de diseño	Notación	Niveles				
		$-\sqrt{2}$	-1	0	+1	$+\sqrt{2}$
Razón másica disolvente/sólido	R_{ds}	3.00	3.44	4.50	5.56	6.00
Temperatura	T	30.0	34.4	45.0	55.6	60.0

Cuadro 3. 5. Diseño experimental elegido para optimizar las variables independientes dentro del ámbito de estudio.

Orden estándar	Variable codificada		Variable real		Orden aleatorio
	R _{ds}	T	Razón másica disolvente/semilla, R _{ds} (g/g)	Temperatura, T/°C	
1	-1	-1	3.44	34.4	7
2	-1	+1	3.44	55.6	6
3	+1	-1	5.56	34.4	15
4	+1	+1	5.56	55.6	8
7	-√2	0	3.00	45.0	2
8	+√2	0	6.00	45.0	14
5	0	-√2	4.50	30.0	5
6	0	+√2	4.50	60.0	12
9	0	0	4.50	45.0	7
10	0	0	4.50	45.0	4
11	0	0	4.50	45.0	11
12	0	0	4.50	45.0	3
13	0	0	4.50	45.0	13

Para saber el rendimiento de cada par de variables, se realizó el mismo tratamiento que fue efectuado para obtener las concentraciones en la cinética de extracción. Se tomaron tres alícuotas en cada caso.

Finalmente, se evaluó estadísticamente el modelo, según su significancia y cumplimiento de los supuestos de normalidad y varianza homogénea o constante, haciendo uso tanto del software STATISTICA, como Microsoft Office Excel. Además se realizó una corrida final utilizando los valores máximos para comprobar la predicción del modelo.

F. Extracción del aceite de semilla de papaya

En las pruebas preliminares para extraer el aceite de la semilla y determinar el contenido total de grasa, se utilizó un sistema de extracción Soxhlet Lab-Line Instruments Inc. 5000, ubicado en el CIPRONA, evaporando el disolvente con un rotavapor Büchi R-300. Para esto se siguió la metodología de Puangsri et al (2005), realizando ciertas variaciones debido a la disponibilidad de equipos y a intereses particulares como probar el efecto de diferentes factores en la extracción del aceite. En general se utilizaron Soxhlet de 200 mL (volumen cámara extractora 100 mL), acoplados a balones de fondo plano de 250 mL previamente

secos y pesados. La masa de semilla seca fue de fue cerca de 30 g, con un volumen de disolvente de 150 mL. Aparte de estas variaciones, como se comentó anteriormente, se probó utilizar semilla molida y sin moler, con sarcotesta y sin sarcotesta, así como el efecto de distintos disolventes en la extracción como etanol, hexano e isopropanol. El tiempo de extracción en todos los casos fue de 8 h y se realizaron 3 réplicas. Una vez finalizada la extracción, se evaporó el disolvente en un rotavapor, y se pesó el balón para determinar el rendimiento de aceite extraído bajo las diferentes modalidades.

La extracción final del aceite y comprobación del modelo de segundo orden se realizó en un biorreactor New Brunswick Scientific Bioflo 110, con un recipiente de 11 L (volumen total de trabajo), utilizando los valores máximos del modelo experimental seguido.

G. Eliminación de impurezas en el aceite de semilla de papaya

Las operaciones realizadas para purificar el aceite en el presente trabajo fueron tres. La primera se llevó a cabo en el Laboratorio de Química del CITA, y consistió en una filtración utilizando papel filtro Whatman No. 4, para eliminar los sólidos gruesos del aceite. Se utilizó un sistema de vacío para acelerar la operación. La segunda operación fue una evaporación completa del disolvente (el cual fue reservado para su posterior purificación y reutilización), en un rotavapor Büchi R-300 del CIPRONA. La última operación fue una centrifugación que eliminó algunos sedimentos formados en el aceite, y llevada a cabo en el Laboratorio de Química del CITA en una centrífuga Thermo Scientific Sorvall ST16. Con esto el aceite estuvo listo para las pruebas de caracterización.

H. Caracterización del aceite de semilla de papaya

Todas las pruebas fueron realizadas por triplicado, a continuación se especifica cada una de los ensayos realizados:

i. Color del aceite

Se utilizó un colorímetro HunterLab Colorflex 45/0 serie CX1192 y su software "Universal Software Ver. 4.10". Se siguieron las instrucciones de uso del equipo, lo cual consistió en colocar una serie de patrones para calibrar el equipo, y luego la muestra de aceite en una celda específica para la lectura. Las lecturas eran proporcionadas por el software en la escala internacional CIE 1976 $L^*a^*b^*$. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química de Alimentos de la Escuela de Tecnología de Alimentos.

ii. Índice de refracción

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 921.08 Índice de refracción de aceites y grasas (AOAC INTERNATIONAL, 2012), haciendo uso de un refractómetro de Abbé Atago Nar-1T. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química de Alimentos de la Escuela de Tecnología de Alimentos.

iii. Humedad y materia volátil

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 926.12 Humedad y materia volátil en aceites y grasas. Método del horno al vacío (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Esto fue realizado en una estufa al vacío Napco 5831, y las masas medidas en una balanza Sartorius BP 221S. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

iv. Densidad

Se pesó un balón aforado de 25 mL en una balanza analítica. Luego se sumergió el balón y la muestra en un baño de agua a 25 °C durante 30 min. Seguidamente, se aforó el aceite en el balón todavía sumergido, utilizando una pipeta Pasteur. Luego de un tiempo se verificó la marca de aforo, se pesó nuevamente el balón en balanza analítica, y se calculó de la densidad a 25 °C. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del CIPRONA.

v. Punto de fusión

Para la determinación del ámbito de fusión del aceite, se siguió el método oficial AOAC 920.157 Punto de fusión de grasas y ácidos grasos. Método del tubo capilar (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Las mediciones se realizaron en las instalaciones del CIPRONA.

vi. Ácidos grasos libres

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 940.28 Ácidos grasos (libres) en aceites crudos y refinados. Método de titulación (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

vii. Valor ácido

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 940.28 Ácidos grasos (libres) en aceites crudos y refinados. Método de titulación (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

viii. Valor de peróxido

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 965.33 Valor de peróxido de aceites y grasas. Método de titulación (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

ix. Materia insaponificable

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 933.08 Residuo (insaponificable) de aceites y grasas. Método de extracción con éter (AOAC INTERNATIONAL, 2012). La masa del residuo fue medida en una balanza analítica Sartorius BP 221S. Para la saponificación se utilizó un baño de agua con agitación GCA Precision 66800-26 Modelo 25. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

x. Valor de saponificación

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 920.160 Valor de saponificación (Número de Koettstorfer) de aceites y grasas. Método por titulación (AOAC INTERNATIONAL, 2012). Para la saponificación se utilizó un baño de agua con agitación GCA Precision 66800-26 Modelo 25. En cuanto a la agitación durante un día para preparar la disolución alcohólica de hidróxido de potasio, se utilizó una plantilla de agitación Corning PC-353. Las mediciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Química del CITA.

xi. Perfil de ácidos grasos

Para el análisis del perfil de ácidos grasos se siguió en términos generales la norma ISO (the International Organization for Standardization) 5509, (ISO, 1978). Brevemente, la muestra fue preparada tomando 0.1 mL de aceite, y disolviendo en 2.5 mL de hexano. Luego se agregó 0.5 mL de una mezcla KOH/MeOH 2 M, para realizar la transesterificación, agitando vigorosamente durante 15 min. Finalizado dicho tiempo, se agregaron 5 μ L de agua saturada con NaCl, se separaron las fases y se llevó la fase orgánica a un vial de 3 mL con Na₂SO₄ anhidro para secar los restos de agua. Posteriormente, se inyectó 1 μ L de las muestras preparadas en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-2014 (con detector de ionización de llama) y en un equipo Shimadzu GC-17A, acoplado a un espectrómetro de masas Shimadzu GCMS-QP5000. Estos experimentos se realizaron en las instalaciones del CIPRONA.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. REMOCIÓN DE LA SARCOTESTA

Se practicaron dos métodos para remover la sarcotesta de la semilla de papaya. El primero de ellos fue de forma manual presionando las semillas contra un tamiz con tamaño de malla de 1.5 mm a 2 mm. El segundo método fue utilizar un procesador de alimentos con un aspa serrada, y una velocidad de giro ajustada en 750 min^{-1} . En ambos casos el consumo de agua fue considerable, pues se requiere de un medio fluido para acarrear con facilidad esta capa de piel y separarla del endospermo, lugar donde se encuentra todo el contenido de aceite y por lo cual no existe diferencia en la cantidad de aceite que se pueda extraer de una semilla con esta capa o sin ella, según se verá en el Cuadro 4. 3. Este contenido se calcula según la ecuación:

$$Y = \frac{m_{\text{aceite}}}{m_{\text{semilla}}} \cdot 100 \quad (4. 1)$$

donde Y = rendimiento de aceite, g aceite/100 g de semilla seca

m_{aceite} = masa de aceite extraído, g

m_{semilla} = masa de semilla seca, g

Remover la sarcotesta no solamente representa un reto tecnológico, puesto que se tendría que encontrar un equipo que emule a nivel industrial lo que se realizó con el procesador de alimentos (o bien emplear muchísima mano de obra, si se realiza por el método manual), sino que conduce a un gasto de agua mayor y además elimina algunos componentes que pueden ser interesantes de conservar ya sea en el aceite lixiviado, o bien en el “marco” o semilla gastada luego de la extracción. En el Cuadro 4. 1, se resume la composición proximal de la sarcotesta (Passera y Spettoli, 1981). Como se puede ver, la sarcotesta podría tener un contenido de fibra y proteína importantes para el uso del “marco”, una vez finalizado el proceso de extracción. Además de esto, la sarcotesta contiene compuestos fenólicos (Tokuhisa, Fernandes, Mantovani, Hilst, y Demuner, 2007), los cuales se correlacionan con la estabilidad oxidativa y actividad antioxidante, que podrían tener un efecto importante en

las propiedades de los extractos de la semilla (Maisarah, Nurul, Asmah, y Fauziah, 2013). Por otro lado, se ha observado durante las pruebas en el presente trabajo, que no remover la sarcotesta puede atraer insectos y plagas hacia el lugar de almacenamiento si este no está bien resguardado.

Cuadro 4. 1. Composición en base seca del endospermo y sarcotesta de la semilla de papaya

	Endospermo	Sarcotesta
	Valor (g/100 g de materia seca)	
Cenizas	4.08 ± 0.07	11.04 ± 0.18
Proteína (N ₂ x 6.25)	20.49 ± 0.79	30.54 ± 1.02
Grasa	60.41 ± 0.84	---
Carbohidratos	12.72	---
Fibra cruda	2.30 ± 0.04	58.42 ± 1.05

Fuente: (Passera y Spettoli, 1981).

Se concluye que es mejor no remover la sarcotesta, por el costo técnico y económico que implica la operación a gran escala, aunque en pequeña escala puede ser viable.

II. SECADO DE LAS SEMILLAS DE PAPAYA

Antes de efectuar la extracción del aceite de las semillas, es necesaria la operación de secado. Por las ventajas del secado mencionadas anteriormente, este se constituye en un paso importante, de modo que los equipos de extracción puedan contener una cantidad mayor de semilla por lote. Asimismo, da la posibilidad de tener separada previamente la humedad de la semilla del aceite a extraer, y así centrarse en otro tipo de impurezas a la hora de purificar el aceite extraído. El secado de las semillas también permite el almacenamiento de las semillas para su posterior extracción, y evitar que la humedad provoque que la materia prima se estropee por acción biológica.

Dado que la semilla se puede secar tanto con su sarcotesta como sin ella, se realizaron pruebas de secado para poder analizar el comportamiento en ambos casos, y determinar si la remoción de sarcotesta sería de utilidad, siempre y cuando se logre dar con un método industrial sencillo para realizarlo. Otro objetivo de esta prueba de secado, fue observar el comportamiento de consumo energético necesario para reducir la humedad en las semillas.

Inicialmente se utilizó una temperatura de 50 °C. Con esta temperatura, el equipo (balanza de secado Ohaus MB35) tardó entre seis horas y ocho horas en eliminar la humedad

en la semilla con sarcotesta. A partir de estos resultados preliminares se realizó una revisión en la literatura y se encontró que Chielle et al. (2016), indican que una temperatura de 70 °C provoca una maximización del rendimiento de aceite extraído en la fase posterior (extracción en Soxhlet), y al mismo tiempo se obtiene un aceite de buenas características con base en el perfil de ácidos grasos. Además, en dicho estudio, en donde se utilizó un túnel de secado por convección, Chielle et al. (2016) determinan que una velocidad de flujo de aire de 2 m/s maximiza la extracción. La preocupación que surgió a la hora de usar las condiciones de dicha investigación, es si las altas temperaturas podrían degradar el aceite en la fase de secado, sobre todo si esta supera el punto de humeo (o punto de humo) del aceite, que es aquel punto “en donde los productos de la degradación del aceite se desprenden en suficiente cantidad para hacerse visibles”. Sin embargo, la literatura reporta que la mayor parte de los aceites tiene un punto de humo superior a 100 °C (Bailey, 1984). Una medida que se correlaciona con la degradación de los aceites a altas temperaturas es la estabilidad oxidativa, en donde se emplea el método Rancimat para determinar la cantidad en horas que tarda un aceite en mostrar rancidez al calentarlo a cierta temperatura en una cámara y con un flujo de aire que transporta los productos de descomposición a un detector. Para el aceite de semilla de papaya, el valor de estabilidad oxidativa a 100 °C con un flujo de aire de 0.02 m³/s para recoger los productos de descomposición, es de (77.97 ± 0.89) h, es decir, tres días y seis horas para detectar los primeros indicios de descomposición (Malacrida et al., 2011). De esta manera, se repitieron las pruebas en balanza de humedad con una temperatura de 70 °C, teniendo la suficiente confianza en que un secado a 70 °C no provocara daños mayores en el aceite.

En el Cuadro 4. 2 se resumen los valores que se obtuvieron en balanza de secado. El primer valor en este cuadro es valor crítico de la fracción de agua evaporada, que es equivalente al contenido de humedad crítico en lo que se refiere al cambio del régimen de velocidad constante de secado al de velocidad decreciente de secado. En la difusión de líquido a través de materiales porosos, tres propiedades de los sólidos son determinantes: la misma porosidad del material, la constrictividad (razón del diámetro de partícula en difusión y el diámetro de los poros) y la tortuosidad de los poros. Se ha podido correlacionar el parámetro x_c , con la difusividad y porosidad de los materiales sólidos porosos (Ulate y Mata, 2014),

lo que indica que la difusión en la semilla con sarcotesta fue mayor, con un valor relativo 1.95 veces más alto con respecto a aquella sin sarcotesta. A pesar de que se habla de una relación con la porosidad, no se concluye que exista una mayor porosidad en la semilla con sarcotesta (obviando la permeabilidad de la sarcotesta) sino que a partir de los datos obtenidos y la morfología de la semilla de papaya, se explica que hay una porción de la semilla que es líquido libre, fuera de la matriz sólida de la misma, y de ahí que la difusividad es mayor en la semilla completa, debido a que una parte de ella presenta menor resistencia al flujo de humedad.

En segundo valor mostrado y de interés es el área fluxional, aquella área a través de la cual se da el flujo de humedad desde el interior de la semilla hacia el exterior, como parte de la operación de secado. Por la anatomía de la semilla en sus dos formas, en el caso de la semilla con su sarcotesta, el área de flujo es la propia superficie de la sarcotesta, una capa de cierta permeabilidad que cubre la semilla formando una esfera. En el caso de la semilla a la que se removió esta capa exterior, el área de flujo incluye una superficie rugosa, y la porosidad interna de la matriz, lo cual conduce en apariencia a un área de flujo mayor, sin embargo, cuando se observó la desviación estándar de los datos, se llegó a la conclusión de que estas son equivalentes.

El coeficiente de difusión, expresado por unidad de área, indica la facilidad de difusión a través del área de flujo en la fase de velocidad de secado decreciente. En teoría, en esta fase la humedad superficial de ambas formas de la semilla se ha eliminado, pero el comportamiento es sumamente distinto, en donde se observa que la facilidad de difusión de agua es mucho mayor en la semilla con sarcotesta. La explicación de esto no es muy clara, pero se infiere la posibilidad de que la sarcotesta haga que aún se conserve algo de agua sobre la superficie de la semilla propiamente (matriz sólida), y dentro de esta capa externa, dando lugar a una rápida difusión a través de esta y aumentando el valor del coeficiente de difusión en velocidad de secado decreciente.

Cuadro 4. 2. Resumen de resultados de las pruebas de secado a 70 °C, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa y sin sarcotesta.

Parámetro	Semilla con sarcotesta	Semilla sin sarcotesta
Valor crítico de la fracción de agua evaporada, x_c	0.80 ± 0.02	0.41 ± 0.07
Área fluxional específica, $A_f / (m^2(kg \text{ seco})^{-1})$	1.76 ± 0.06	1.95 ± 0.14
Coefficiente de difusión, $k / (s^{-1}m^{-2})$	13.97 ± 0.93	5.34 ± 0.49
Porcentaje de humedad total, b. h. / (g agua / 100 g materia)	80.57 ± 0.95	72.06 ± 0.65
Consumo de energía térmica en el tiempo crítico, $E_c / (MJ/kg \text{ húmedo})$	0.54 ± 0.02	0.17 ± 0.03
Consumo de energía térmica en el tiempo final, $E_f / (MJ/kg \text{ húmedo})$	1.01 ± 0.07	0.88 ± 0.01

El porcentaje de humedad, como se esperaba, es mayor en la semilla con sarcotesta. Como se explicaba anteriormente esta capa hace que la semilla retenga líquido, que se pierde con cierta facilidad al cabo de unos días si se deja la semilla expuesta al aire.

En cuanto al consumo energético, para visualizar mejor los datos se graficó la variación de energía consumida con respecto a la humedad removida. Esto se presenta en las Figuras 4.1 y 4.2.

Los datos observados en dichas figuras, fueron determinados utilizando la ecuación empírica 4.2, obtenida como la razón entre la energía térmica de evaporación de M gramos de agua y la entrada eléctrica del equipo (Puente et al., 2016):

$$f_S = 0.001091 + (0.000352) \cdot M - (0.00001466) \cdot (M^2) \quad (4.2)$$

donde f_S = fracción de energía necesaria para el secado, adimensional

M = masa de agua evaporada, g

A esta fracción, se le debe sumar las fracciones de consumo eléctrico debidas al motor, circuito, pantalla u otros presentes en cada equipo a utilizar, por lo cual sirve solamente para darse una idea del comportamiento relativo de consumo. Para determinar el consumo de energía debida al secado, se multiplicó esta fracción por el consumo de potencia de equipo, y el tiempo de funcionamiento, de manera que:

$$E = \frac{f_S \cdot i \cdot V \cdot t \cdot 10^{-6}}{m_0} \quad (4.3)$$

donde E = energía eléctrica consumida debida al secado, $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ de material húmedo a secar

i = corriente eléctrica del equipo, A

V = voltaje del equipo, V

t = tiempo, s

Analizando los valores de consumo energético en el tiempo crítico y en el tiempo final, mostrados en las figuras y en el Cuadro 4. 2, se logró entender a grandes rasgos el comportamiento del secado de semillas de papaya con y sin sarcotesta, en donde para la semilla con sarcotesta, el consumo de energía en el punto crítico representa la mitad del consumo total de energía, es decir una vez que el contenido de humedad ha sido totalmente removido. Esto quiere decir que la eliminación del agua en la fase de velocidad de secado constante, consume tanta energía como la eliminación de agua en la fase de velocidad de secado decreciente. Por otro lado, en la semilla sin sarcotesta, la energía consumida en el tiempo crítico, es apenas cercano al 15 % del total. La cantidad de humedad extra en la semilla con sarcotesta, hace que el consumo de energía total debido al secado sea 260 kJ más por cada kilogramo de material a secar, dando lugar a la conclusión esperada de que podría ser mejor eliminar la sarcotesta antes de secar la semilla, si el costo de la remoción de la misma no fuera mayor que secarla sin remover esta capa externa.

En resumen, los valores que se refieren a la velocidad de difusión, valor crítico de fracción de agua evaporada son mayores en la semilla con sarcotesta, pero esto sucede debido a la fracción de agua más disponible para la evaporación que esta posee. La humedad superior en esta semilla (cerca de un 9 % en base húmeda), está fuera de la matriz interna, pero en términos de la operación de secado, es una humedad que hará falta eliminar desde adentro de ella (en las últimas etapas del secado), por el mecanismo de difusión que es más costoso en tiempo y energía que el secado superficial, dando lugar precisamente a que estos dos valores sean mayores con respecto a la semilla sin sarcotesta.

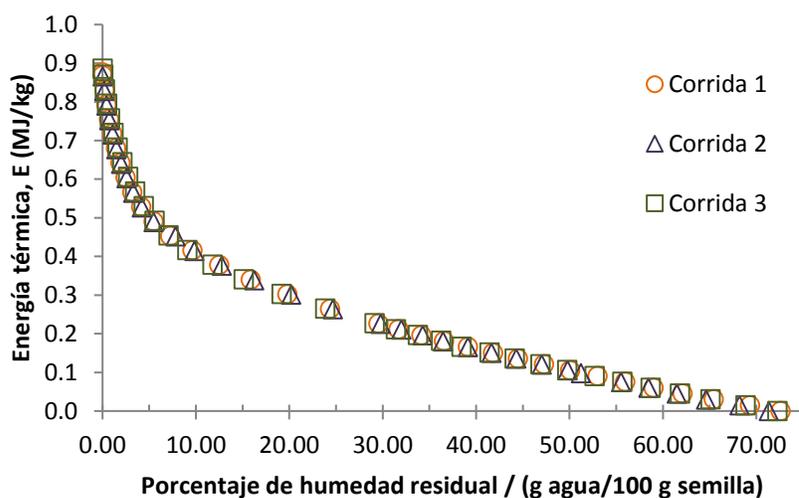


Figura 4. 1. Curva de consumo energético contra porcentaje de humedad residual en la muestra, para las semillas sin sarcotesta

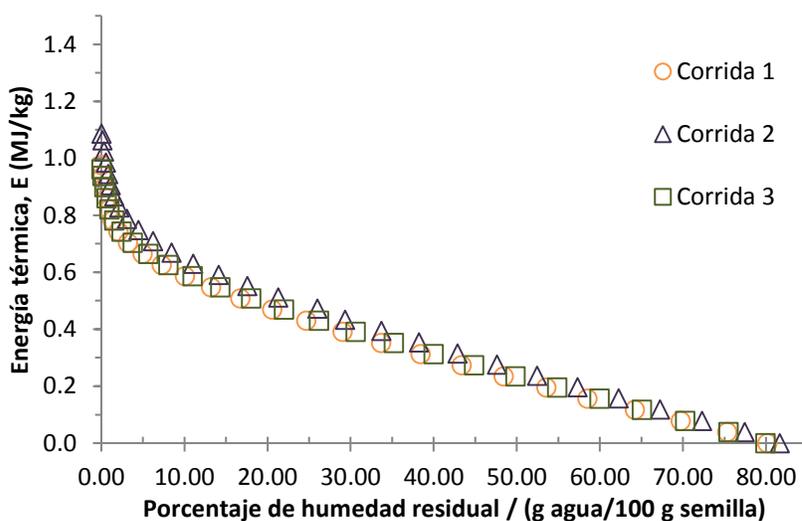


Figura 4. 2. Curva de consumo energético contra porcentaje de humedad residual en la muestra, para las semillas con sarcotesta

III. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA

Las pruebas preliminares de extracción se realizaron utilizando el sistema Soxhlet, en donde se usaron varios disolventes y varias formas de la semilla, para elegir la modalidad que diera el mejor rendimiento y con las mejores condiciones.

Cuadro 4. 3. Rendimiento de aceite de semilla de papaya, híbrido Pococí, para diferentes condiciones de extracción en Soxhlet

	Disolvente	Forma de la semilla	
		Con sarcotesta molida	Sin sarcotesta molida
Rendimiento, Y/ (g aceite/100 g semilla seca)	Hexano	n.d.	30.0348 ± 0.1936
	Etanol	n.d.	10.5349 ± 0.5130
	Isopropanol	25.6116 ± 0.2933	28.2697 ± 0.3857

Se observa que el etanol es un disolvente muy malo para la extracción de aceite de semilla de papaya, mientras que el hexano da porcentajes que corresponden con los valores mencionados por Puangsri et al. (2005), utilizando éter de petróleo ligero como disolvente. Por otro lado, el isopropanol tiene valores un poco más bajos, aunque cercanos a los del hexano. Los valores entre la semilla sin sarcotesta y con sarcotesta difieren de manera tal que, si a la masa de las semillas con sarcotesta se les eliminara un 9 %, el resultado del rendimiento sería el mismo, por lo tanto, es muy probable que dicha diferencia sea debida a la masa extra que representa la sarcotesta en los cálculos de rendimiento (ver ecuación 4.3). Esto indica que la diferencia entre los rendimientos de ambas formas de la semilla en realidad no es significativa.

Se eligió isopropanol, por su rendimiento y sus características de mayor seguridad y pureza con respecto a los otros disolventes estudiados. Con este se estudió una técnica de lixiviación química que fuera accesible a un escalamiento y que diera un rendimiento aceptable en la extracción, y así poder tener datos que se puedan plantear como un diseño más cercano a una propuesta real de flujo de proceso para la obtención del aceite. Para cumplir dicho cometido, se utilizó una serie de biorreactores (New Brunswick Scientific Bioflo 110) de distintas capacidades. En ellos se estudiaron algunos parámetros de la lixiviación, como la velocidad de agitación, tiempo de lixiviación, temperatura y razón másica disolvente/soluto.

Primeramente, se realizaron pruebas para determinar la velocidad mínima en la que el sólido molido lograra ser agitado y se suspendieran todas las partículas en el volumen de disolvente. Esto se logró en un ámbito de velocidades de 300 min⁻¹ a 400 min⁻¹, dependiendo de la carga y movimiento total de esta. Una vez establecida esta velocidad y fijando el valor en 300 min⁻¹, se realizó una cinética de extracción, fijando las otras variables en un valor

intermedio del ámbito de estudio. Así, la razón másica disolvente/sólido (R_{ds}) fue 4:1 y temperatura 50 °C. Se tomaron alícuotas y se determinó el porcentaje de rendimiento en función del tiempo según la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{C_L \cdot V_{sol}}{m_s} \cdot 100 \quad (4.4)$$

donde C_L = concentración de masa de aceite en la fase líquida en un tiempo t , g/L

V_{sol} = volumen de disolvente utilizado en el experimento, L

m_s = masa seca de la muestra con humedad previamente determinada, g

A partir de los datos, se realizó una gráfica y regresión de los datos, que se observa en la Figura 4. 3, de manera que se eligió un tiempo de 50 min para la extracción, para asegurar una saturación total del disolvente y rendimiento máximo con respecto al tiempo de extracción.

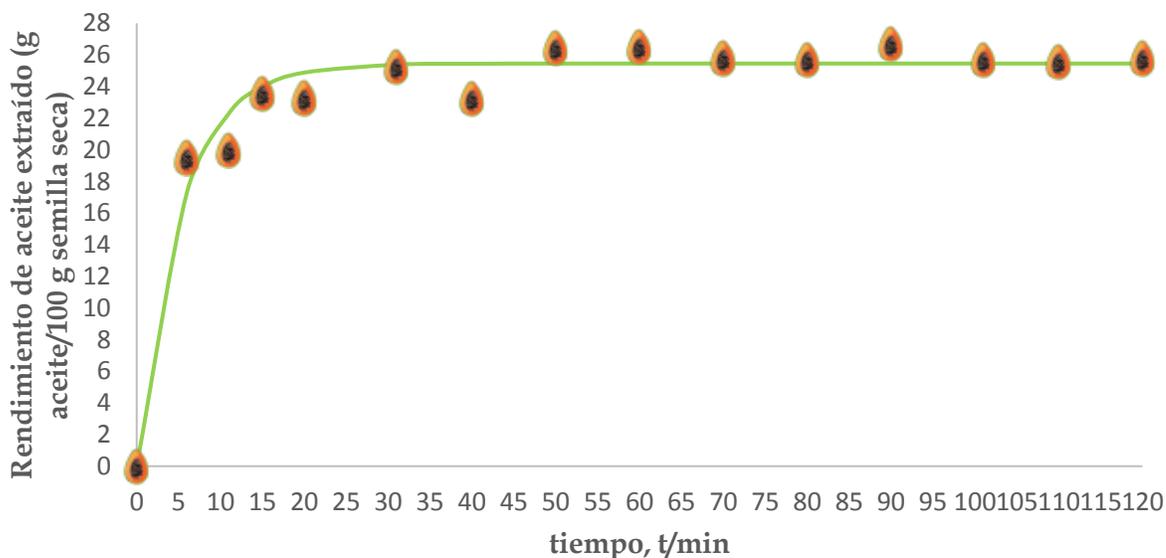


Figura 4. 3. Cinética de extracción del aceite de semilla de papaya, utilizando isopropanol como medio de extracción.

La regresión se realizó a partir de la ecuación (4. 5), que describe el comportamiento cinético de este tipo de procesos, y su resultado obtenido del programa Polymath 6.10 Versión Educativa.

$$\begin{aligned}
 Y &= Y_E \cdot (1 - e^{-j \cdot t}) & (4. 5) \\
 Y &= 25.4544 \cdot (1 - e^{-0.1898t}) \\
 R^2 &= 0.9653
 \end{aligned}$$

donde Y_E = Porcentaje de aceite contenido en la fase líquida en el equilibrio, g aceite/100 g semilla seca

j = coeficiente de transferencia de masa, 1/min

Una vez que las condiciones de agitación y tiempo fueron fijadas, se realizó un diseño experimental modificando las variables restantes, para un total de 13 corridas en un Diseño central compuesto rotatable (DCCR) como se explicó en el apartado IV.E (pág 45) del capítulo 3. Los resultados de dicho experimento se muestran en el Cuadro 4. 4.

Cuadro 4. 4. Resultados del diseño experimental: rendimiento de extracción en función de razón másica disolvente/sólido y temperatura

Corrida	Variables independientes		Variable de respuesta
	Razón másica disolvente/sólido, R_{ds} / (g IPA/g semilla seca)	Temperatura, T/ °C	Rendimiento, Y / (g aceite/100 g semilla seca)
1	3.44	34.40	27.5534 ± 0.0292
2	3.44	55.60	27.7913 ± 0.6711
3	5.56	34.40	28.0638 ± 0.2238
4	5.56	55.60	28.8756 ± 0.2421
5	3.00	45.00	26.9106 ± 0.5208
6	6.00	45.00	28.5354 ± 0.4391
7	4.50	30.00	27.3904 ± 0.1440
8	4.50	60.00	28.5738 ± 0.2195
9	4.50	45.00	28.1469 ± 0.5149
10	4.50	45.00	27.8760 ± 0.1193
11	4.50	45.00	28.2210 ± 0.4051
12	4.50	45.00	28.4646 ± 0.1909
13	4.50	45.00	28.0151 ± 0.6380

Además se procesaron los datos en el programa STATISTICA, con el fin de obtener la regresión de los mismos en un modelo de segundo orden, así como la superficie de respuesta en 3D y 2D, que permite establecer un punto optimizado para la operación, dentro del ámbito de estudio. Asimismo, el programa da la significancia del modelo y de cada variable, y gráficas que permiten analizar la información sobre la idoneidad del modelo y su capacidad de predicción.

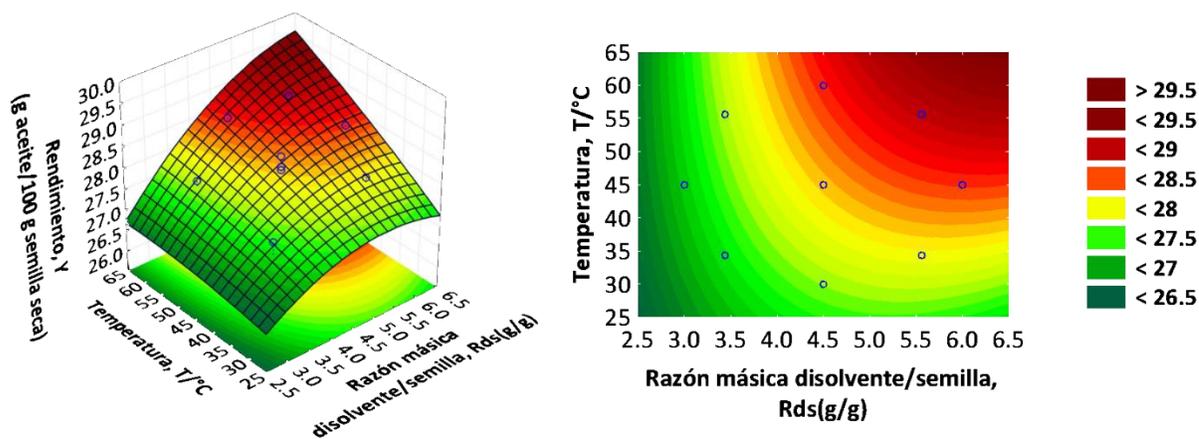


Figura 4. 4. Superficie de respuesta en 3D y 2D de la variable rendimiento de extracción en función de razón másica disolvente/sólido y temperatura

La ecuación completa del modelo está dada por:

$$Y = 23.932161723768 + 1.1334034772609 \cdot R_{d,s} - 0.13878830053842 \cdot R_{d,s}^2 - 0.0040849306849669 \cdot T - 0.00023621626378318 \cdot T^2 + 0.012764621641217 \cdot R_{d,s} \cdot T \quad (4.6)$$

sin embargo solamente los coeficientes de los efectos lineales son significativos, como se muestra en el gráfico de Pareto, que se visualiza en la Figura 4. 5.

En cuanto al modelo, sus datos se presentan en el Cuadro 4. 5.

Cuadro 4. 5. Estadísticos de la regresión del modelo de segundo orden

Estadístico	Valor
Coefficiente de determinación (R^2)	0.884
Coefficiente de determinación (R^2) ajustado	0.801
Probabilidad de significancia del modelo	0.004
Probabilidad de falta de ajuste del modelo	0.367

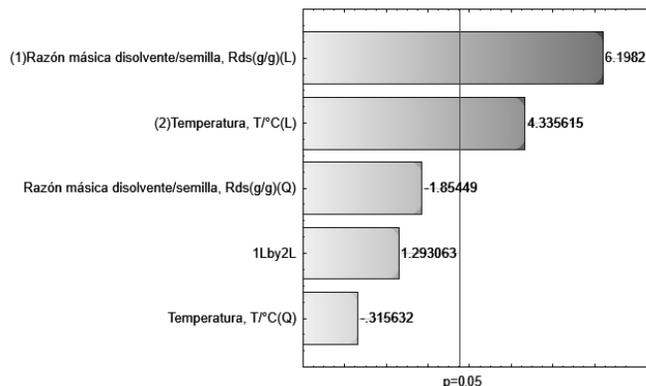


Figura 4. 5. Significancia de los coeficientes de los efectos del modelo de regresión de segundo orden

El coeficiente de determinación R^2 se interpreta como la variabilidad en los datos que sí es explicada por el modelo (Montgomery, 2004), por lo cual un valor de 88 % es bastante aceptable, tomando en cuenta la complejidad de fenómeno de lixiviación. Por otra parte, el estadístico R^2 ajustado es una medida del impacto de aumentar o disminuir la cantidad de factores en un modelo, y se verifica como aceptable si es cercano al valor de R^2 , y decrece si se agregan términos no significativos al modelo (Montgomery, 2004). El valor mostrado en el cuadro toma en cuenta todos los efectos, (lineales, cuadráticos e interacciones) de la ecuación (4. 6). Los últimos dos estadísticos indican qué tan significativo es el modelo y si los datos se ajustan al modelo planteado, comparando con el estadístico F del modelo. En general, se usa que estos estadísticos tengan un valor menor a 0.05 en el caso de la probabilidad de significancia, que indica realmente la probabilidad de que un valor determinado de F se dé debido a ruido, por lo cual entre más cercano a cero, es mejor (Montgomery, 2004). En el estadístico de la falta de ajuste sucede lo contrario, puesto que se busca que este sea mayor a 0.05, este indica la probabilidad de concluir que el modelo no se ajusta a los datos, cuando realmente sí lo hace (Montgomery, 2004). Finalmente, se evalúan los supuestos de normalidad y varianza homogénea a partir de los gráficos en la Figura 4. 6.

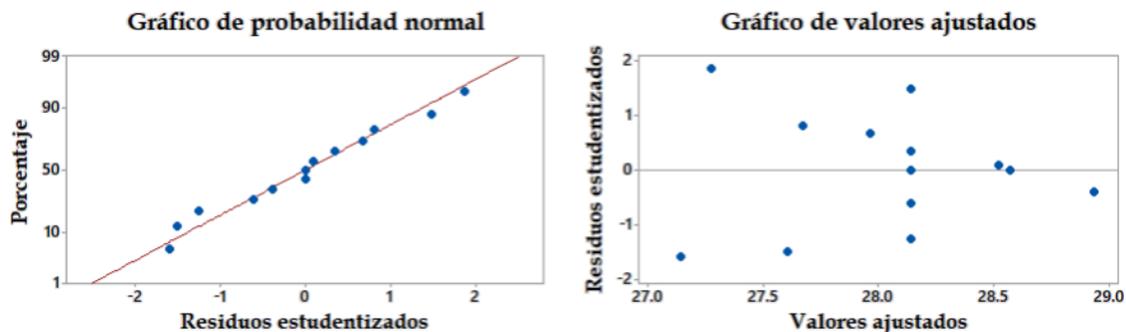


Figura 4. 6. Gráficos de probabilidad normal de residuos estudentizados y de residuos estudentizados contra valores ajustados.

Se puede ver en la gráfica de probabilidad normal, que los residuos no se alejan demasiado de la diagonal trazada, y por tanto se concluye que el modelo cumple con el supuesto de probabilidad normal, sin embargo en el gráfico de valores ajustados, que debe tener un comportamiento aleatorizado, parece notarse un patrón en forma de cono abierto hacia la izquierda (los 5 valores que caen en forma vertical no se evalúan debido a que son las 5 corridas centrales, y se esperaba este tipo de comportamiento). Para evaluar más profundamente la varianza homogénea se utiliza la prueba de Cochran, utilizando la norma INTE-ISO 5725-2: 2006, en donde se explica que el estadístico C , se calcula como la varianza máxima de los resultados, dividida entre la sumatoria de todas las varianzas:

$$C = \frac{s_{máx}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2} \quad (4.7)$$

Este valor se compara contra la tabla 4 del apartado 8.1 de dicha norma, en donde para 13 corridas con 3 repeticiones, los valores críticos al 1 % y 5 % son 0.450 y 0.371 respectivamente. La prueba dice que si el valor del estadístico de Cochran es menor o igual que el valor crítico al 5 %, se toma como correcto y se concluye que la varianza es homogénea en el modelo. Entre 5 % y 1 % existe anomalía y mayor a 1 % es estadísticamente incompatible.

Para las corridas realizadas este parámetro tiene el siguiente resultado:

$$C = \frac{0.4503}{1.9797} = 0.2275$$

Este se encuentra por debajo del valor crítico del 5 % que indica la prueba de Cochran, por lo tanto se concluye que el modelo explica un buen porcentaje de la variabilidad de los

datos, y se pueden usar todos los términos del modelo o bien eliminar los no significativos, el modelo es significativo y la falta de ajuste no lo es. Además se cumplen los supuestos de normalidad y varianza homogénea.

Siendo que el modelo se ajusta a los datos experimentales y es adecuado para predecir, se analiza la superficie de respuesta, en donde se nota que no existe un máximo dentro del ámbito de estudio, y para observarlo se requeriría aumentar la razón másica disolvente/sólido y la temperatura más allá de los valores máximos estudiados, es decir más de 6 gramos de IPA por cada gramo de semilla y más de 60 °C. Esto resulta en una operación más costosa y más peligrosa, por lo cual no se avanzó más allá de dichos valores.

Matemáticamente, para el experimento realizado, estos valores máximos serían el punto óptimo, por lo cual se elige comprobar la capacidad de predecir del modelo con este punto, así como la extracción final para obtener el aceite a caracterizar. Sin embargo es importante mencionar que en este caso lo que es matemáticamente óptimo puede no ser lo más viable económicamente, y que el punto (R_{ds}, T) : (6,60) no resultaría en el punto ingenierilmente óptimo.

La función de predicción del programa STATISTICA arroja los siguientes datos, para el punto (R_{ds}, T) :(6, 60):

Cuadro 4. 6. Resultados de la comprobación del MSR, DCCR

Parámetro	Valor / (g aceite/100 g semilla)
Predicción del rendimiento por el modelo (R_{ds}, T) (6,60)	29.24
Intervalo de confianza inferior (-95 %)	28.32
Intervalo de confianza superior (95 %)	30.15
Intervalo de predicción inferior (-95 %)	28.13
Intervalo de predicción superior (95 %)	30.3
Rendimiento promedio experimental	30.0 ± 0.99
Diferencia entre valor teórico y experimental	-0.77
Porcentaje de error (adimensional)	2.65

Como se observa en el Cuadro 4. 6, el valor obtenido en la comprobación del modelo está dentro del intervalo de predicción y de confianza del modelo, por lo que se demuestra que el modelo tiene una buena capacidad de predicción dentro del ámbito de estudio. Es

muy interesante notar que el rendimiento de extracción con isopropanol del aceite de semilla de papaya utilizando semilla sin sarcotesta y molida, aumentó con respecto a la extracción realizada en un Soxhlet, como se observa en el Cuadro 4. 3. Esto es un resultado bastante positivo, puesto que indica que utilizar un sistema de agitación y calentamiento para la extracción de semilla de papaya no sólo sería una opción técnicamente más accesible que un Soxhlet de gran tamaño, sino que el rendimiento se ve mejorado por la agitación de la cual carece el sistema Soxhlet.

IV. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA

Se presenta en los Cuadros 4.7 y 4.8, la caracterización del aceite de semilla de papaya obtenida en la presente investigación. Según se puede observar, el aceite extraído tiene una luminosidad o claridad un poco mayor a la media, dado que como se comentó en la sección 2.V.A, este parámetro va de 0 a 100. El parámetro a^* tiene también un valor intermedio, pues se acerca al cero, indicando que no hay una marcada tonalidad verde ni roja en el aceite de semilla de papaya logrado. Por otra parte, el parámetro b^* sí indica una tonalidad marcada de color amarillo en el aceite, al tener un valor positivo. Se pueden encontrar diversas fuentes que dan el color según los parámetros del espacio CIE 1976 $L^*a^*b^*$. A manera de referente, se presenta en la Figura 4. 7 el color, a la izquierda según la escala utilizada, y a la derecha una muestra real.



Figura 4. 7. Color del aceite de semilla de papaya
(Foto: J. D. Alpízar Ugalde).

En esta característica, juega gran importancia el nivel de luz con el cual se observe la muestra, y por eso es que una escala no subjetiva toma relevancia para clasificar el color. La prueba tuvo valores similares a los obtenidos por Korir (2017), en donde los parámetros (L^* , a^* , b^*) resultaron en (51.6, 2.3, 58.7) respectivamente.

La turbidez de un aceite también es de interés a la hora de la comercialización, pues un consumidor probablemente preferirá un aceite traslúcido. Aunque no se midió la turbidez en el aceite, el índice de refracción puede indicar impurezas en el aceite que hagan que su translucidez baje, como ácidos grasos libres o algún mal proceso de purificación. Es necesario también recordar que el índice de refracción varía linealmente con el valor de yodo, que es una medida de las insaturaciones en los ácidos grasos de un aceite. Para esto también es necesario observar el perfil de ácidos grasos en el aceite de semilla de papaya, presentado en el Cuadro 4. 8. El índice de refracción a 25 °C obtenido fue 1.4664, como se presenta en el Cuadro 4. 7, corregido a una temperatura de 40 °C su valor sería 1.4606 ± 0.0002 , según la ecuación indicada en el método AOAC 921.08 (AOAC INTERNATIONAL, 2012).

$$n_D^T = n_D^{ref} + K(T' - T) \quad (4. 8)$$

donde n_D = índice de refracción a la temperatura estándar, adimensional

n_D^{ref} = índice de refracción medida la temperatura experimental T^{ref} , adimensional

Cuadro 4. 7. Caracterización del aceite de semilla de papaya

Característica	Valor obtenido	
Color	L*	66.43 ± 0.03
	a*	-0.46 ± 0.03
	b*	64.53 ± 0.03
Índice de refracción, n_D^{25} / adimensional	1.4664 ± 0.0002	
Humedad y materia volátil / (g agua y volátiles/100 g de aceite)	0.15 ± 0.01	
Densidad, ρ^{25} / (g/cm ³)	0.9038 ± 0.0011	
Punto de fusión, P _F / °C	$9.4 \pm 0.3 - 13.2 \pm 0.2$	
Ácidos grasos libres, FFA / (g ácido oleico libre/100 g aceite)	0.35 ± 0.03	
Valor ácido, AV / (mg KOH/g aceite)	0.69 ± 0.06	
Valor de peróxido, PV / (mEq O ₂ /kg aceite)	0.1132 ± 0.0001	
Materia insaponificable UM / (g materia insaponificable/100 g aceite)	1.32 ± 0.08	
Valor de saponificación, SV / (mg KOH/g aceite)	174 ± 3.5	

El valor del índice de refracción es comparable con aquellos de Chan y Heu (1978): 1.4627 y Malacrida et al. (2011): 1.4581, estos a 40 °C. Es interesante notar que entre los valores de la relación AGI/ AGS obtenidos por dichos investigadores y el valor del presente trabajo, se presenta una correlación proporcional con respecto al índice de refracción reportado en cada caso.

Cuadro 4. 8. Perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de papaya

Ácido graso	Abreviación	Valor relativo / (g AG/100 g de AG totales)					
		1	2	3	4	5	6
Láurico	C12:0	0.13	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Mirístico	C14:0	0.16	0.20	0.3	0.24	0.33	0.11
Palmitico	C16:0	15.13	16.16	15.8	13.5	16.4	15.08
Palmitoleico	C16:1 ω - 7	n.d	0.27	0.4	n.d	n.d	0.15
Margárico	C17:0	n.d	0.13	0.1	n.d	n.d	0.10
Esteárico	C18:0	3.61	4.73	5.1	4.5	3.06	4.35
Oleico	C18:1 ω - 9	71.60	71.30	73.5	72.5	71.8	72.29
Linoleico	C18:2 ω - 6, ω - 9	7.68	6.06	4.0	2.90	6.93	1.48
Linolénico	C18:3 ω - 3, ω - 6, ω - 9	0.60	0.22	n.d	0.23	0.46	n.d
Araquídico	C20:0	0.87	0.38	0.4	0.39	0.28	0.33
Gadoleico	C20:1 ω - 11	n.d	0.32	0.4	n.d	n.d	n.d
Behénico	C22:0	0.22	0.23	n.d	n.d	n.d	n.d
AGI		79.88	78.17	78.3	76.12	79.19	73.92
AGMI		71.6	71.89	74.3	72.99	71.8	72.44
AGPI		8.28	6.28	4	3.13	7.39	1.48
AGS		20.12	21.83	21.7	18.63	20.07	19.97
AGI/AGS		3.97	3.58	3.61	4.09	3.95	3.70

AGI, ácidos grasos insaturados; AGMI, ácidos grasos monoinsaturados; AGPI, ácidos grasos poliinsaturados; AGS, ácidos grasos saturados.

Fuentes: 1: (Chan y Heu, 1978); 2: (Malacrida et al., 2011); 3: (Yanty, Marikkar, Nusantoro, Long, y Ghazali, 2014); 4: (Syed, Kunte, Jadhav, y Salve, 2014); 5: (Korir, 2017); 6: Presente trabajo

El contenido de humedad y materia volátil, es un indicativo de la calidad del aceite, sin embargo no se refiere en sí a las propiedades el aceite por su fuente de origen, sino a la calidad del proceso de extracción para obtenerlo. Esto es muy positivo ya que indica que el proceso que involucra la extracción por agitación/calentamiento, seguido de filtración y centrifugación, no solamente da buen rendimiento de aceite sino que produce una aceite de calidad, tomando en cuenta que el aceite extraído sobrepasa por solamente 0.05 % el valor máximo para un aceite que se empleará en la industria de alimentos (ver Cuadro 2. 3).

La densidad y el punto de fusión son características de la pureza de un material. La densidad del aceite reportada por Korir (2017), es de 0.9037 g/cm³, dato igual al de este estudio. Por otro lado, el punto de fusión tiene un ámbito bastante amplio. Nielsen (2017), apunta que la metodología del tubo capilar, aunque usada para determinar el punto de fusión y aceptada para la prueba en aceites, es menos útil que otras metodologías, ya que al ser un material no puro (es decir, conformado por muchos compuestos), carece de un punto

preciso debido a la cantidad de compuestos. Dicha metodología fue lamentablemente la que se pudo realizar para este trabajo, en lugar de otras más precisas como análisis térmico diferencial (Belitz et al., 2009), sin embargo el ámbito obtenido tiene como punto central 11.3 °C, el cual es similar al dado por Yanty et al. (2014), de 12.4 °C, utilizando calorimetría diferencial de barrido.

El contenido de ácidos grasos libres, valor ácido y valor de peróxido (FFA, AV y PV por sus siglas en inglés) están estrechamente relacionados, y no sólo refieren sobre la calidad del proceso efectuado para la manufactura del aceite, sino de su estabilidad ante efectos que puedan degradarlo. Para la cantidad de ácido oleico libre en cada 100 gramos de aceite, se obtuvo un valor de 0.35 g, la cantidad de KOH fue de 0.69 mg/g, mientras que por cada kilogramo de aceite se tuvo 0.11 mEq O₂. Para aceites vegetales que no han tenido un refinamiento extensivo, la cantidad máxima de FFA es en gramos de ácido oleico libre por cada 100 gramos de aceite es 5, y para el PV, por kilogramo de aceite, es de 10 mEq O₂ (Malacrida et al., 2011), por lo cual su valor se considera bastante apto, y de nuevo indica que el proceso de extracción es adecuado para producir un aceite de calidad. En cuanto al AV, expresado como KOH por cada gramo de aceite, este no debe exceder los 4 mg en aceites comestibles (Malacrida et al., 2011), por lo cual el aceite de semilla de papaya de nuevo destaca.

El valor de saponificación y materia insaponificable (SV y UM por sus siglas en inglés) indican características que permiten identificar o hablar sobre la calidad del aceite en cierto modo. El SV es una medida indirecta del peso molecular promedio de las cadenas de triacilglicerol del aceite, pero sobre todo indica la cantidad de miligramos de KOH necesarios para convertir 1 gramo de aceite en jabón (es decir saponificarlo). Entre mayor sea la cifra de esta característica, indica que la saponificación va a requerir más base, pero puede indicar que la cantidad por saponificar es mucha (Lobo, 2018), haciéndolo un material adecuado para la industria jabonera. Por otra parte, aunque un valor de UM alto podría verse como una pérdida en cuanto al contenido del aceite que pueda ser convertido en jabón, realmente puede aportar características interesantes al mismo, ya que entre las materias insaponificables se encuentran tocoferoles y carotenoides (presentes en el aceite de semilla de papaya según Malacrida et al. (2011), familias de compuestos a los cuales pertenecen la forma más usual de la vitamina E y precursores de la vitamina A, ambas vitaminas con propiedades

antioxidantes. Los datos de UM concuerdan con lo obtenido por Syed et al. (2014) y Malacrida et al. (2011); con valores de 1.37 g y 1.35 g respectivamente, expresados como la cantidad de materia insaponificable por cada 100 gramos de aceite; mientras que para el SV dichos autores reportan una cantidad de KOH por cada gramo de aceite de 155.5 mg y 96.4 mg. Ambos números son muy distintos y por debajo del resultado en las pruebas para el aceite (174 mg), sin embargo se ha observado que este dato no concuerda mucho entre las diferentes fuentes, y probablemente tenga que ver con alguna característica de la variedad de papaya utilizada o estar relacionado con el procesamiento para obtener el aceite. Por ejemplo, tanto Chan y Heu (1978), como Yanty et al. (2014) reportan un valor de 193.4 mg aceite para este indicador.

En el Cuadro 4. 8 se muestra el perfil de ácidos grasos detectados en el aceite de semilla de papaya por algunas fuentes de la literatura y el propio de este trabajo. Se pueden notar diferencias grandes entre los porcentajes relativos del presente trabajo y los de la literatura, en los ácidos palmitoleico, linolénico, gadoleico y behénico. A pesar de las diferencias, en todas las fuentes de la literatura y en el presente trabajo, los cuatro ácidos grasos principales del aceite de semilla de papaya son oleico, palmítico, linoleico y esteárico. Así también, la razón de ácidos grasos insaturados y saturados es alrededor de 4, como se observa en el cuadro. Esta razón es importante nutricionalmente, ya que los ácidos grasos saturados o los insaturados que sean del tipo *trans* son dañinos para la salud si se consumen en exceso, esto debido a ambos tipos de ácidos grasos que provocan en el organismo el aumento en el torrente sanguíneo del colesterol *LDL* (lipoproteínas de baja densidad por sus siglas en inglés), el cual causa obstrucción de arterias y enfermedades de arterias coronarias. Asimismo, los ácidos grasos saturados y los *trans* insaturados disminuyen el *HDL* (lipoproteínas de alta densidad por sus siglas en inglés), que por el contrario protegen contra las enfermedades coronarias. Por otro lado, los ácidos *cis* insaturados, como el ácido oleico, bajan el colesterol *LDL* y aumentan el colesterol *HDL*. Es por esto que se ha hecho énfasis en los denominados “aceites alto oleicos”, categoría a la que pertenece el aceite de semilla de papaya, y razón por la cual el aceite de oliva es considerado un aceite muy saludable. Además, el ácido oleico tiene una alta estabilidad oxidativa (O' Brien, 2008).

Naturalmente los ácidos grasos *trans* insaturados aparecen poco, sin embargo en la industria de alimentos se realiza el proceso de hidrogenación (el proceso añade hidrógenos a ácidos grasos *cis* insaturados para convertirlos en ácidos grasos saturados) con el fin de elevar su punto de fusión (dado el mayor empaquetamiento de las moléculas por su forma “aplanada”) y aumentar su estabilidad (ver Figura 4. 8). Es importante notar que durante este proceso químico se produce una reacción secundaria con el catalizador de modo que algunas de las insaturaciones con configuración *cis* (aceites o grasas *cis*) se pueden convertir en sus isómeros *trans* (grasas *trans*). Estas grasas tienen el mismo efecto en la salud humana que el que tienen las grasas saturadas.

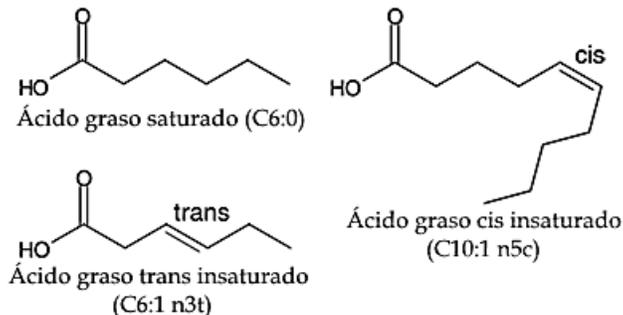


Figura 4. 8. Diferentes ácidos grasos y sus conformaciones

En suma, la extracción de la semilla de papaya por el método empleado, logra un aceite de calidad nutricional intrínseca por su composición y según los parámetros que el sector de la industria de alimentos dicta para los aceites. Sin embargo, como advierten Malacrida et al. (2011), Puangsri et al. (2005), entre otros autores, serían necesarias pruebas toxicológicas para determinar si el consumo del aceite de semilla de papaya es seguro.

CAPÍTULO 5: PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA

I. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

El énfasis de este trabajo es aprovechar el residuo de las procesadoras de papaya de Costa Rica, para fabricar un producto de mayor valor agregado. Es por esto que es importante conocer el volumen de procesamiento que se genera en nuestro país, y obtener un estimado del residuo que esa actividad genera. Schweiggert et al. (2012), afirman que la papaya híbrido Pococí contiene un 8 % de semillas, sin embargo parte de esta investigación comprobó que dicho número puede descender a la mitad, en promedio. Además se conoce por las pruebas de humedad de las semillas, que estas pueden contener desde un 72 % a un 81 % de humedad, dependiendo de su forma (ver Cuadro 4. 2). Por otra parte, aunque los resultados preliminares del contenido de aceite por Soxhlet dieron un 28.3 %, y en la extracción final fue de un 30.0 %, se elegirá la condición (R_{ds}, T) : (5,50), para la cual el programa STATISTICA predice un rendimiento de 28.6 % de aceite, con intervalo de predicción (27.9 - 29.3). De esta manera, si en una empresa se procesa 1 tonelada de papaya por semana, la cantidad de materia prima ($M.P.$) para una planta aceitera sería:

$$M. P. = 1000 \text{ kg} \frac{4 \text{ kg semilla húmeda}}{100 \text{ kg papaya}} = 40 \text{ kg de semilla húmeda}$$

y con la misma base de cálculo el volumen de producción ($V.P_T$) por los residuos de una tonelada de papaya sería:

$$\begin{aligned} V. P. T &= 1000 \text{ kg} \frac{4 \text{ kg semilla húmeda}}{100 \text{ kg papaya}} \frac{19 \text{ kg semilla seca}}{100 \text{ kg semilla húmeda}} \frac{28.6 \text{ kg aceite}}{100 \text{ kg semilla seca}} \\ &= 2.17 \text{ kg de aceite} \end{aligned}$$

Actualmente, la empresa que más procesa papayas en nuestro país se encuentra en la zona central norte, y asegura procesar 35 toneladas de papaya por semana, por lo que, si la planta aceitera recibiera materia prima solamente de esta empresa, y se pactara obtener el 100 % de los residuos de la misma, el volumen de producción mensual sería:

$$V. P. = \frac{35 \text{ ton papaya}}{\text{semana}} \frac{2.17 \text{ kg de aceite}}{1 \text{ ton papaya}} \frac{4.33 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = \frac{329.4 \text{ kg aceite}}{\text{mes}}$$

De acuerdo con la densidad en el Cuadro 4. 7 dicha cantidad corresponde a un volumen de aceite de:

$$\frac{329.4 \text{ kg aceite}}{\text{mes}} \frac{L \text{ de aceite}}{0.9038 \text{ kg aceite}} = \frac{364.46 L \text{ de aceite}}{\text{mes}}$$

Debido a ciertas pérdidas y operaciones de purificación no contempladas en los cálculos anteriores, mencionadas en la sección 5.IV, esto se traduce en 292.04 kg mensuales (o 323.12 L mensuales)

II. POSIBLES MERCADOS PARA EL ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA

Se puede notar que la producción es pequeña, comparada con la materia prima que se recibiría de dicha empresa, que corresponde a 1400 kg de semilla por semana y 6062 kg por mes. Esto da pie para pensar que para que el proyecto tenga posibilidad de ser financieramente viable, el producto se debe vender a un alto costo.

Para definir el mercado meta del aceite extraído, es adecuado comparar la composición del mismo con los de aceites de otras fuentes, a fin de saber no solamente qué usos puede tener, sino cuál sería la competencia para el aceite de semilla de papaya. En el Cuadro 5. 1 se resume dicha información.

El aceite de pulpa de aguacate es utilizado para la piel como humectante, aliviar inflamación por psoriasis o eccemas, y anti-acné. Además sirve para prevenir o tratar quemaduras por sobreexposición al sol, tiene efecto *anti-aging*, y ayuda a la salud del cuero cabelludo. En un ingrediente en cremas humectantes y bloqueadores solares, así como champús. También cuenta con varias vitaminas que le confieren propiedades antioxidantes (Kopp, 2018). Por otro lado, el aceite de semilla de *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori, se ha usado desde tiempos antiguos en las zonas circundantes a Egipto, en actividades diversas como cocina, cosméticos y medicina, donde destaca su uso contra el dolor abdominal, y lubricante en pequeñas maquinarias (Chauvet, 2018). Recientemente, Cuba comenzó a elaborar cosméticos a partir de una planta del mismo género, la *Moringa oleífera* Lam. (Prensa-Latina, 2018). El aceite de oliva, cuyo uso más extendido es el consumo alimenticio, tiene muchísimos

otros beneficios en tratamiento de afecciones auriculares y de la piel (como irritación en la piel de los bebés), propiedades *anti-aging*, propiedades antiinflamatorias, prevención de enfermedades coronarias, propiedades antioxidantes, para masajes (como aceite vehicular), para aliviar articulaciones artríticas, limpieza de piel y cabello, tratamiento de acné, y removedor de maquillaje, entre otros (Leonard, 2016).

Cuadro 5. 1. Características de diferentes aceites similares al aceite de semilla de papaya

Tipo de aceite	Ácidos grasos principales / (g AG/100 g aceite)				Índice de refracción, n_D^{40} /adim	Valor de saponificación, SV/ mg KOH/g aceite	Valor de yodo, IV/g I_2 /100 g aceite
	Oleico C18:1 ω - 9	Palmítico C16:0	Linoleico C18:2 ω - 6, ω - 9	Esteárico C18:0			
Semilla de papaya*	71.6-72.5	13.5-16.16	1.48-7.68	3.61-5.1	1.4606	170.53 - 177.47	65.5**
Pulpa de aguacate	56-74	9-18	10-17	3-9	1.4660 ²⁵	177-198	85-90
Semilla de <i>Moringa peregrina</i>	70	9	3.8	C22:0 : 2.4	1.4600	185	70
Oliva	55-83	7.5-20	9	3.5-21	1.4690 ²⁰	184-196	75-94
Salvado de arroz	38-48	16-28	16-36	2-4	1.4720 ²⁵	181-189	92-108
Girasol (alto oleico)	85	4.4	10	3.5	1.4680 ²⁵	--	81

Datos de (Lundblad y Macdonald, 2018)

*Valores del Cuadro 4. 7 y Cuadro 4. 8 del presente estudio.

** Valor de (Syed et al., 2014)

El aceite del salvado de arroz ha ganado popularidad como aceite de cocina dado su alto punto de humo, así como prevención de enfermedades coronarias (dado su nivel de ácido oleico) y propiedades antioxidantes, así como propiedades antiinflamatorias y para cuidado de la piel, se usa como tratamiento para eccemas y acné, cuenta con propiedades *anti-aging* y mejora la función hepática, siendo incluso una ayuda para el tratamiento contra el alcoholismo (Whyte, 2018). Finalmente, el aceite de girasol, usado principalmente en la cocina para freír, tiene propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, usos contra el acné, afecciones de la piel como psoriasis, mejora la digestión, previene la artritis y mejora la función cardiovascular. La diferencia entre el aceite regular y el alto oleico es que el segundo contiene al menos un 80 % de este tipo de ácido graso, haciendo que tenga mayor vida útil

y sea aún más saludable para el corazón. Este aceite es además usado como cosmético en bálsamos y cremas para la piel (Smith, 2018).

Como se puede ver, todos los aceites citados tienen usos medicinales, culinarios y también usos en el cuidado de la piel, cabello, efectos antioxidantes y antiinflamatorios; propiedades de las cuales goza también el aceite de la semilla de papaya, el cual además de dichas propiedades y de ser excelente como aceite vehicular para masajes (HBNO, 2018), incluye otras propiedades medicinales como descongestionante, sudorífero, emenagogo y expectorante (Schiller y Schiller, 2008). El hecho de que exista otro aceite similar a aquellos presentes en el Cuadro 5. 1, es muy positivo ya que es otra alternativa para beneficiar la salud y para el aprovechamiento de los productos de origen natural, en este caso dando un valor agregado de un residuo agrícola.

La investigación bibliográfica indica que el aceite de semilla de papaya ya es comercializado en otros países, y su mayor mercado corresponde a la industria de cosméticos (Future Market Insights, 2018), el cual ofrece productos de costo elevado. Este hecho además de una baja producción que requiere de precios de venta elevados, conducen a la elección como mercado meta el de los cosméticos. De este modo, se puede utilizar el aceite de semilla de papaya como materia prima para una amplia gama de productos, como cremas de todo tipo, jabones, champús, entre otros, o utilizarlo de manera pura como aceite para la piel.

III. PROCESO INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA

Para obtener el aceite se requieren una serie de operaciones que incluyen lavado de las semillas, secado, molienda, extracción, filtración, evaporación del disolvente y finalmente centrifugación. Existen además otras operaciones que se realizan comúnmente a los aceites comestibles, como el desgomado, neutralización, blanqueamiento y desodorización, pero estos no son necesarios en el caso presente. A continuación, se comentan cada una de las etapas planteadas para el proceso.

A. Recibo de materia prima

Una vez que las semillas llegan a la planta, es ideal es que no pase mucho tiempo entre el recibo y el secado, puesto que la humedad causa una fermentación rápida de las semillas.

B. Lavado y cribado

El lavado de las semillas permite remover algunas de las impurezas, así como disolver componentes de fermentación que se formen en algún grado entre el descarte del residuo en las procesadoras y el recibo en la planta aceitera. Para esto es importante además un grado de agitación o fricción que ayude a remover más fácilmente los sólidos adheridos a ellas. Para esto lo ideal sería una operación de lavado, por ejemplo por aspersión en conjunto con una línea que actúe como cribado de material que no sea semilla, y que así se logre separar sólidos extraños como cáscaras y restos de pulpa gruesos.

C. Secado

Un contenido de humedad por debajo del 12 % es deseable para el almacenamiento de granos y semillas, por lo cual se requiere siempre una etapa de secado en el proceso (Hernández y Carballo, 2013). Se puede aprovechar una banda transportadora con malla para escurrir el agua de lavado en un canal que conducirá a un pozo desde donde se transportará el agua a un sistema de tratamiento, o bien se recirculará para la misma operación de lavado, y evitar así incurrir en mucho gasto del líquido.

D. Almacenamiento intermedio

Una vez que las semillas se han secado, tienen un contenido de humedad que les permite ser almacenadas. El almacenamiento debe garantizar condiciones inocuas y evitar la entrada de plagas.

E. Molienda

Se elige un molino de martillos ya que permite romper la semilla sin causar mucha fricción sobre la misma, lo cual es perjudicial dado el contenido de aceite de la semilla. El tamaño de partícula debe ser menor a 1 mm para garantizar una adecuada transferencia de masa en la extracción.

F. Extracción

Como extractor, se utilizará un equipo de acero, con agitador y condensador de agua fría acoplados. La tapa debe cerrar herméticamente para evitar pérdidas de disolvente innecesarias. Además debe contar con una salida inferior o ser basculante para retirar el sólido gastado. El disolvente a utilizar será isopropanol. El líquido se saca por sedimentación y

bombeo una vez finalizada la extracción. Como se dijo anteriormente, las condiciones de lixiviación son t : 50 min, v : 300 min⁻¹ – 1000 min⁻¹ (se aumenta la velocidad para poder suspender una carga mayor), R_{ds} : 5 kg IPA/kg semilla y T : 50 °C.

G. Recuperación del disolvente

Para separar el aceite del disolvente, se debe utilizar un equipo que provea un calentamiento por serpentín con agua caliente y actúe con una presión de vacío, de manera que la operación se vea acelerada y evitándose un mayor gasto eléctrico. Posteriormente se condensa el disolvente evaporado, con agua fría, para recuperarlo y recircularlo al extractor en nuevas operaciones.

H. Sedimentación y centrifugación del aceite

Durante las pruebas de extracción efectuadas en este trabajo, se notó que el aceite forma un sedimento que puede extraerse por sedimentación y centrifugación, con su posterior decantación del aceite listo para ser almacenado.

I. Almacenamiento del aceite

Se debe almacenar el aceite en un cuarto seco, fresco, cerrado y protegido de la entrada de animales y plagas, por un período corto. No se considera la opción de un cuarto con refrigeración pues encarecería mucho el proyecto.

J. Propuesta de tratamiento de residuos generados en el proceso

A continuación se enumeran los residuos generados durante el proceso de extracción de la semilla de papaya, así como una propuesta para minimizar su impacto ambiental.

i. Agua de lavado de materia prima y equipos

Como se mencionó anteriormente, se piensa recircular parte de esta agua para seguir lavando materia prima. Una vez que se cumpla cierta cantidad de ciclos de recirculación, esta agua se une con el agua de lavado de equipos, que puede contener entre otros, cierta cantidad de sólidos y aceite. Por tanto se propone realizar como tratamiento primario una sedimentación de los sólidos, homogenizar y equalizar el agua, y posteriormente dar un tratamiento de tipo secundario al agua.

ii. Residuos sólidos en la materia prima

Los sólidos que se remueven de la materia prima en realidad no son realmente cuantiosos. Los mismos corresponden a materia orgánica biodegradable, que puede ser sujeta a incineración, biogásificación, o compostaje.

iii. “Marco” o semilla gastada

El “marco” o semilla gastada, subproducto directo de la operación de extracción, puede ser secado para eliminar los restos de disolvente y ser utilizado como fuente fibrosa y proteica.

iv. Residuos sólidos en el aceite

Los residuos o gomas del aceite se separan por centrifugación/decantación, y corresponden a fosfolípidos, que representan no más del 10% del aceite. Estos se pueden aprovechar en la saponificación, ser usados para producir lecitina, o bien ser degradados térmicamente. No pueden ser descartados en agua ya que tienen en su estructura una parte polar que los hace solubles en medio acuoso.

v. Isopropanol evaporado

Se propone reutilizar el isopropanol para tres ciclos de extracción, y posteriormente descartarlo como lo dicten las normativas y reglamentos existentes para este tipo de compuestos. Otra opción conveniente es entregarlo a una empresa capacitada para su reciclaje y tratamiento, la cual en este caso es la misma empresa donde se cotizó el alcohol isopropílico, y la cual menciona en su página de internet que está capacitada y autorizada para manejar este disolvente (Arvi, 2015)

IV. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

Para el cálculo de flujo másico del proceso, se toman en cuenta datos obtenidos durante la presente investigación, comentados en la sección 5.I y datos técnicos de los fabricantes con quienes se cotizó la maquinaria necesaria. Por otra parte, el balance de energía se realizó con los datos técnicos de los equipos cotizados y los tiempos de producción, dado que no se cuenta con los parámetros específicos sobre la semilla en sus diferentes etapas durante el proceso (entera, seca) ni del aceite, que se requieren para el cálculo del balance energético.

Los datos presentados se manejan como flujo másico por hora, en el caso de los equipos que funcionan de manera continua, y como flujo másico por tanda para los discontinuos.

A. Balance de masa y energía en el secador

Una vez que se ha lavado la semilla, esta entra al secador y sufre una pérdida de humedad desde el 81 % inicial (determinado con pruebas de humedad y concordante con datos de la literatura, ver Cuadro 4.2), hasta un valor por debajo del 12 % para su preservación adecuada en almacenamiento antes de efectuar las siguientes etapas de proceso. Se consideró un valor de humedad final semi arbitrario de 7 %, estimando un promedio de las humedades que se han obtenido durante los ensayos del presente estudio, así como la elección de una humedad baja tal que se reduzca la interacción entre el agua remanente en la semilla y el disolvente para la extracción, el cual es también polar, pero no tan baja que implique un tiempo de secado elevado. Dadas las condiciones de la zona, el aire cuenta con una humedad específica (relación agua entre aire seco) de 0.0174 kg/kg. Este dato fue obtenido por psicrometría tomando en cuenta la temperatura, humedad y altura promedio de la zona en donde se ha planteado el proyecto (Vega, 2014; Millán, 2015). Según datos del fabricante, se requieren en total 9.93 kWh y un 160 kg/h de LPG, para calentar 59 000 m³/h de aire, y de esta manera operar el equipo (Great Machinery, 2018).

Cuadro 5. 2. Balance de materia en el secador

Componente	Entrada/(kg/h)	Salida/(kg/h)
Semilla (incluyendo humedad)	280.0	57.2
Humedad (en la semilla)	226.8	4.0
Aire (incluyendo humedad)	61605.8	79 253.87
Humedad del aire	1 054.1	1276.9

B. Balance de masa y energía en el molino

Una operación de molienda representa simplemente un cambio en el tamaño de partícula de un sólido, sin embargo, siempre existen pérdidas de material en este tipo de equipos, ya sea porque parte del sólido se adhiere a las paredes del equipo y no logra salir hasta la limpieza del mismo, o que por algún diseño inadecuado se vea arrojado fuera por aberturas y se desperdicie. El fabricante ha indicado que las pérdidas en el molino son despreciables

ya que se cuenta con un sistema *anti-dusting* (anti polvo) de donde se puede recoger todo el material. Se reporta un consumo eléctrico de 11 kWh por el equipo (Great Machinery, 2018)

Cuadro 5. 3. Balance de materia en el molino

Componente	Entrada/(kg/h)	Salida/(kg/h)
Semilla (incluyendo humedad)	143.01	143.01
Pérdidas en molienda	---	---

C. Balance de masa y energía en el extractor

Para el balance en el extractor se parte de los ensayos realizados en el Laboratorio de Microbiología del CITA, considerando también factores económicos, así como la predicción del modelo de superficie de respuesta efectuado. Como se mencionó anteriormente, se espera un rendimiento de aceite para las condiciones elegidas, de 28.6 %. Ingresa al extractor tanto la semilla molida, como una cantidad de isopropanol igual a cinco veces la masa seca del sólido; y se obtiene la miscela que contiene al aceite de semilla de papaya y el “marco” (semilla gastada). Es de suma importancia mencionar que se tiene consciencia del hecho de que el “marco” sale con cierta humedad, que en este caso no es agua sino parte de la miscela que queda ocluida dentro de la misma, debido a una separación incompleta de la fase líquida. Sin embargo para efectos del material principal de interés, que es el aceite, los cálculos se han realizado con base en los ensayos, y estos han resultado en un rendimiento de 28.6 % de aceite en la fase líquida (indicando que el rendimiento podría ser mayor si se lograra una mejor separación, pero, aumentaría el costo técnico, pudiendo no ser rentable). Se escogió que el volumen del extractor no sea demasiado grande, de modo que sea posible procesar todo el material en 3 tandas. Este equipo consume 2.2 kWh y además 150 kg/h de vapor para su calentamiento. Además, consume 0.05 m³/h de agua para el sistema de condensación de vapores generados (Great Machinery, 2018).

Cuadro 5. 4. Balance de materia en el extractor

Componente entrada	Flujo/(kg/tanda)	Componente salida	Flujo/(kg/tanda)
Semilla seca/húmeda	88.67 / 95.34	“Marco”	69.98
Isopropanol	443.33	Miscela	468.69

D. Balance de masa y energía en el evaporador

En el evaporador, debido a que el aceite puede quedar adherido y ser de difícil remoción en las paredes del recipiente donde se da la evaporación, se contempla una pérdida de este componente del 1 % según la investigación. La evaporación se manejará en un total de 6 tandas, con un requerimiento de 5 kWh, 450 kg/h de vapor para el calentamiento, y 0.05 m³/h para la condensación y recuperación del isopropanol (Great Machinery, 2018).

Cuadro 5. 5. Balance de materia en el evaporador

<u>Componente entrada</u>	<u>Flujo/(kg/tanda)</u>	<u>Componente salida</u>	<u>Flujo/(kg/tanda)</u>
Miscela	234.50	Isopropanol	221.67
		Aceite crudo	12.55
		Aceite perdido	0.13

E. Balance de masa y energía en la centrífuga

Se realiza una operación de centrifugado para separar el aceite crudo de ciertas impurezas sólidas, que pueden ser tanto restos de semilla muy finos que no se separaron anteriormente, así como gomas que enturbian y dan una apariencia turbia o de dos capas al aceite, visualmente desagradable. Esta impureza fue determinada como el 10 % del aceite crudo según las pruebas realizadas. De nuevo el aceite se puede quedar adherido a las paredes del equipo, en este caso la pérdida sería de alrededor de un 0.5 %. La energía eléctrica demandada es 1.5 kWh (Great Machinery, 2018).

Cuadro 5. 6. Balance de materia en la centrífuga

<u>Componente entrada</u>	<u>Flujo/(kg/tanda)</u>	<u>Componente salida</u>	<u>Flujo/(kg/tanda)</u>
Aceite crudo	75.33	Aceite puro	67.50
		Impurezas sólidas/semi-sólidas	7.50
		Aceite perdido	0.33

Cuadro 5. 7. Tiempos de operación para los equipos de proceso principales

<u>Equipo</u>	<u>Tandas semanales</u>	<u>Duración de tanda/h</u>	<u>Tiempo de operación/ (h/semana)</u>
Lavador de semillas	1	4	4
Secador	1	5	5

Cuadro 5.7 (continuación) Tiempos de operación para los equipos de proceso principales

Equipo	Tandas semanales	Duración de tanda/h	Tiempo de operación/ (h/semana)
Molino	2	1	2
Extractor	3	2	6
Evaporador	7	1	7
Centrífuga	1	1	1
Llenadora	1	1.5	1.5

V. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Se adjunta el diagrama de proceso (DFP) de la producción de aceite de semilla de papaya por extracción con disolventes en la sección de anexos. Una vista previa se observa en la Figura 5. 1. El plano DFP completo se puede observar en el Anexo 1.

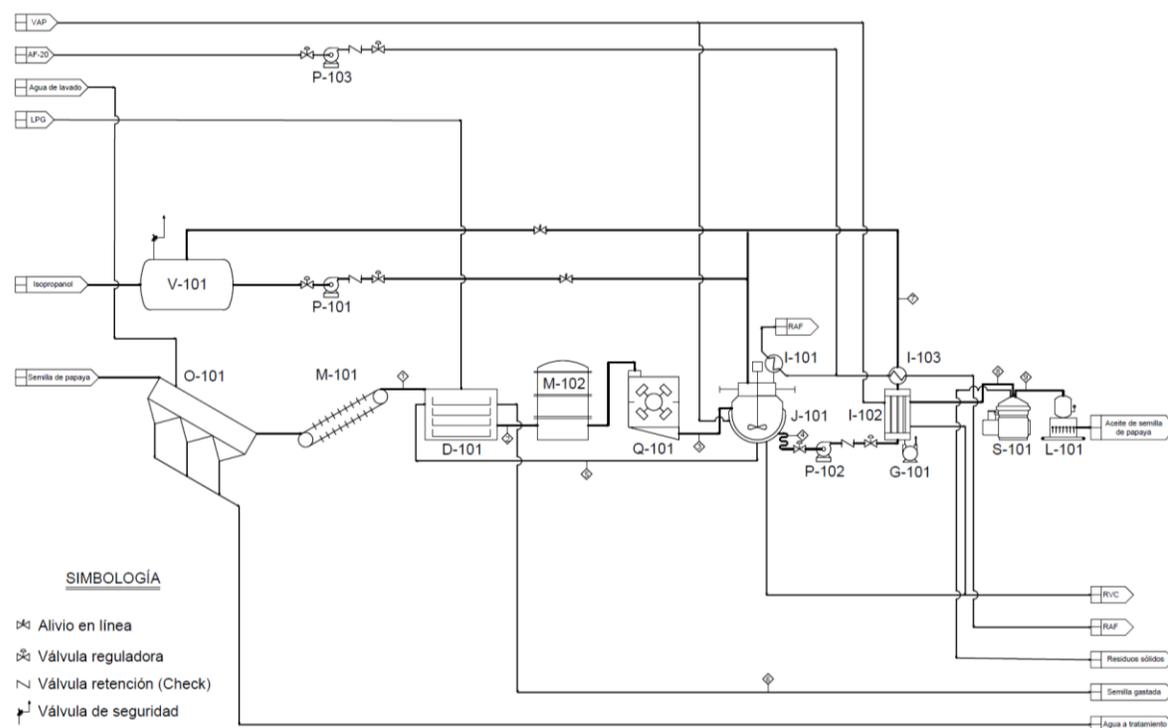


Figura 5. 1. Vista previa del diagrama de flujo de proceso

VI. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

Los equipos de producción fueron dimensionados de acuerdo con los requerimientos arrojados por los balances de materia, tomando en cuenta los tiempos de operación de cada

equipo o cantidad de tandas requeridas para no utilizar equipos demasiado grandes y costosos. De esta manera se cotizó con diversos fabricantes de equipos en China, los cuales facilitaron las dimensiones reales y requerimientos de servicios de los equipos. En el Cuadro 5. 8 se resume dicha información, la cual se puede ver también en la sección de Anexos.

Cuadro 5. 8. Dimensionamiento de equipos de producción

Equipo	Largo /m	Ancho /m	Alto /m	Diámetro /m	Fabricante
Lavador de semillas	4	1	1.350	---	Great Machinery
Banda transportadora	3	1	2.2	---	Great Machinery
Quemador de LPG	2	---	---	1.5	Great Machinery
Secador	8	1.5	2.2	---	Great Machinery
Molino	0.5	0.7	2.6	---	Great Machinery
Extractor	---	---	2.5	1.2	Great Machinery
Evaporador	1.7	1	3.4	---	Great Machinery
Centrífuga	1.2	0.770	0.950	---	Great Machinery
Tanque de almacenamiento	---	---	4.6	1.5	Great Machinery
Bombas centrífugas	0.530	0.275	0.360	---	Haiyu Ent.
Caldera	1.54	1.5	2.86	---	Sitong Boiler

VII. LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

A. Localización del proyecto

Tradicionalmente, las zonas que se han caracterizado por la siembra de papaya son Parrita y San Carlos, y en los últimos años Guácimo y Pococí han tomado especial importancia, con la introducción del híbrido Pococí. Por otra parte, las procesadoras de papaya más importantes se han instalado cerca de las zonas productoras, y entre estas se destacan de nuevo San Carlos, Sarapiquí, Siquirres y algunas zonas de Guanacaste.

Según un extenso estudio de mercado realizado como parte de este trabajo, se conoce que a la fecha las grandes procesadoras de San Carlos no están en funcionamiento, y que Sarapiquí es ahora la zona de procesamiento más grande del país.

Se propone instalar la plana aceitera en la zona de Sarapiquí, o zonas aledañas, ya que esto implicaría ciertas ventajas para el proyecto, dentro de las cuales se cuentan:

- La cercanía a las procesadoras grandes implicaría una menor distancia de transporte de la materia prima a la planta, lo cual se traduciéndose en un menor costo en un ahorro económico en ese rubro.

- La menor distancia facilitaría procesar con rapidez la semilla de papaya, de manera que esta sufra menos daños en el transporte, sobre todo por la acción biológica (fermentación), y que esta llegue en las mejores condiciones a la planta extractora.
- La zona es también un punto estratégico, ya que se encuentra a hora y media de camino de San José, y además a dos horas del puerto en Moín, por lo cual la distribución del producto tanto a nivel nacional como al extranjero sea facilitada. Además, los caminos del lugar son buenos y se prevé que con la apertura de nuevos accesos viales el transporte se agilice aún más a la zona Atlántica de nuestro país (Vega, 2014).
- Es un lugar de gran belleza natural, que atrae a la comunidad nacional y extranjera y da la posibilidad de vender el aceite en las zonas turísticas cercanas, además de la posibilidad de crear y comercializar diversos productos cosméticos.
- La zona se caracteriza por dedicarse al agro y agroindustria, contando con buenos suelos y buen clima para el desarrollo de cultivos, además de contar con un plan de desarrollo rural territorial (todo el cantón). Además el distrito Horquetas, que es uno de los más extensos en área, es además uno de los más poblados del cantón, por las buenas condiciones humanas y de accesibilidad que tiene (Vega, 2014).
- La zona cuenta con varias cuencas hidrográficas y suelos de baja elevación, por lo cual es apropiada para la edificación de industrias, o aprovechamiento del suelo en agricultura y ganadería (Vega, 2014). Las cuencas además serían un lugar donde verter las aguas de proceso una vez tratadas.

B. Distribución de planta

Para la distribución de planta se toma en cuenta la dimensión de cada equipo, así como espacio suficiente para la maniobrabilidad y circulación del personal. El proceso sigue una distribución en U con dos secciones (ambas en U), de manera que la entrada y salida de vehículos que descargan materia prima o recogen producto terminado quede en un solo lado de la planta, y no hay problema de contaminación puesto que la entrada y la salida están distanciadas y separadas por el cuarto de almacenamiento intermedio, como se observa en la Figura 5. 2. En el Cuadro 5. 9 se detallan las dimensiones de cada área de proceso, para un área total de 307.5 m².



Figura 5. 2. Distribución de planta propuesta para el proceso

Cuadro 5. 9. Dimensionamiento de zonas de producción

Zona	Dimensiones /m
Materia prima	4 x 3
Lavado	4 x 11
Secado	3.75 x 14 + 2 x 4.5
Molienda	2 x 4
Almacenamiento intermedio	3 x 3.5
Extracción	4 x 4
Evaporación	4 x 4.5
Centrifugado y envasado	3 x 6
Producto terminado	3 x 2.5
Bodega de materiales de proceso	2.8 x 2
Bodega de materiales de limpieza	2.8 x 2
Vestidores x2	3.2 x 2
Baños x2	2 x 2.5
Recepción	3 x 3
Sala de reuniones	3 x 3
Oficinas	5 x 3
Comedor	5.75 x 3

CAPÍTULO 6: PREFACTIBILIDAD FINANCIERA

I. COSTO DE PRODUCCIÓN

Para determinar los costos totales de inversión de una planta industrial dedicada a la producción de aceite de semilla de papaya, se utilizó la metodología de porcentaje del costo del equipo entregado, descrita por Peters y Timmerhaus (1978). Según esta metodología, los valores para la inversión de capital fijo, capital de trabajo e inversión de capital total toman valores que son una fracción porcentual del costo de los equipos, que varían dependiendo de si la planta maneja principalmente sólidos, principalmente líquidos, o una mezcla de ambos. Una planta de extracción de aceites mediante disolventes, es del último tipo. Se debe mencionar que para los datos presentados en los cuadros a continuación, se utilizaron los indicadores económicos del 9 de diciembre del 2018, con un tipo de cambio de 594.74 CRC/USD, y un Prime Rate igual a 5.25 % y, un incremento anual de costos del 5 %, con base en un promedio de la variación de la inflación de los últimos 10 años —2008 al 2017— (Banco Mundial, 2018). Se partió de que 1 mes son 4.33 semanas para todos los cálculos.

A. Inversión de capital total

Con base en el costo de los equipos cotizados, se resumen en el Cuadro 6. 1 los costos que dan la inversión de total de capital. El capital de trabajo se calculó por aparte, ya que no es aplicable la metodología de Peters y Timmerhaus.

Cuadro 6. 1. Inversión de capital fijo para el proyecto

Rubro	Porcentaje del costo del equipo entregado	Costo/ USD
Costos directos (CD)		
Equipo adquirido, EA	100	86 700.00
Importación del equipo	Datos del proveedor	5 600.00
Aranceles de importación	13 % (EA + Importación)	11 999.00
Almacenaje fiscal y transporte terrestre	<i>(Mora, 2018)</i>	1 200.00
Instalación del equipo adquirido	39 % E	33 813.00
Instrumentación y controles (instalados)	13 % E	11 271.00
Cañerías y tuberías (instaladas)	31 % E	26 877.00
Instalaciones eléctricas (colocadas)	10 % E	8 670.00
Obras civiles (incluyendo servicios)	29 % E	25 143.00

Cuadro 6. 1. (continuación) Inversión de capital fijo para el proyecto

Rubro	Porcentaje del costo del equipo entregado	Costo /USD
Mejoras del terreno	10 % E	8 670.00
Instalaciones de servicios (montadas)	55 % E	47 685.00
Terreno	6 % E	5 202.00
<i>Costo directo total de la planta</i>		<i>272 830.00</i>
Costos indirectos (CI)		
Ingeniería y supervisión	32 % E	27 744.00
Gastos de construcción	34 % E	29 478.00
<i>Costo indirecto total de la planta</i>		<i>57 222.00</i>
Costo total (CD + CI)		330 052.00
Honorarios del contratista	5 % (CD + CI)	16 502.60
Eventuales	10 % (CD + CI)	33 005.20
Inversión de capital fijo (ICF)		379 559.80
Capital de trabajo (CT)		103 169.80
Inversión total de capital (ITC)		482 729.60

B. Servicios

Los servicios de la planta incluyen para este caso electricidad, agua y vapor. El gas licuado de petróleo (LPG) se toma como materia prima para generar vapor. Los costos por kWh, m³ de agua, y litro de LPG se tomaron de las páginas web de los entes respectivos, con valores de 121.46 CRC/kWh (CNFL, 2018), 1588 CRC/m³ agua (AyA, 2018) y 211.53 CRC/L de LPG (RECOPE, 2018) —el cual tiene una densidad de 524 kg/m³ (ARESEP, 2017) y un poder calorífico inferior de 50 MJ (RECOPE, 2018)— es decir, 403.68 CRC/kg).

Cuadro 6. 2. Consumo eléctrico por las unidades de proceso y auxiliares

Equipo	Cantidad de equipos	Consumo /kW	Tiempo operación/ (h/semana)	Potencia/ ($\frac{kWh}{mes}$)	Costo total, mes/ USD
Lavador de semillas	1	2.25	4	38.97	7.96
Banda transportadora	1	0.75	5	16.24	3.32
Secador	1	9.93	5	214.98	43.90
Molino	1	11.00	2	95.26	19.45
Extractor	1	2.20	6	57.16	11.67
Evaporador	1	5.00	7	151.55	30.95
Centrífuga	1	1.50	1	6.50	1.33
Bomba recirculación de agua de enfriamiento	1	3.00	13	168.87	34.49
Bomba centrífuga	3	1.50	1.50	29.23	5.97
Caldera	1	0.5	13	28.15	5.75
Llenadora	1	0.038	1.5	0.25	0.05
Iluminación (34 unidades)	34	0.049	40	288.55	58.93
TOTAL				1 095.69	223.77

Cuadro 6. 3. Consumo de vapor y LPG por las unidades de proceso y auxiliares

Equipo	Canti- dad de equipos	Consumo vapor/ (kg/h)	Tiempo Operación/ (h/semana)	Consumo vapor/ (kg/mes)	Consumo de LPG/ (kg/mes)	Total Mes LPG/ USD
Secador	1	0.00	5	0.00	3 464.00	2 351.21
Extractor	1	150.00	6	3 897.00	176.14	119.56
Evaporador	1	450.00	7	13 639.50	616.51	418.46
Caldera	1	0.00	13	0.00	2 113.69	1 434.68
TOTAL				17 536.50	6 370.34	4 323.90

Cuadro 6. 4. Consumo de agua por las unidades de proceso y auxiliares

Equipo	Cantidad de equipos	Consumo/ (L/h)	Tiempo operación/ (h/semana)	Consumo agua/ (m ³ / mes)	Costo total, mes /USD
Lavador de semillas	1	1 500.00	4	25.98	69.37
Extractor	1	50.00	6	1.30	3.47
Evaporador	1	50.00	7	1.52	4.05
Agua como vapor para extractor y evaporador				17.54	46.82
TOTAL				46.33	123.71

C. Materia prima

Como se puede ver en el Cuadro 6. 5, se ha propuesto un precio de compra de residuo generado por las procesadoras de papaya de 10 CRC/kg, los envases y etiquetas fueron cotizados con base en un producto vendido en unidades de 120 mL, dado que como se verá luego, el precio de venta para un galón es muy alto.

Cuadro 6. 5. Costo de materia prima

Ítem	Unidades	Costo unitario/CRC	Costo total/USD
Envases (unidades)	2800	197.5845228	930.22
Materiales auxiliares (papelería y limpieza)			500.00
Semillas (kg)	6062	10	101.93
Isopropanol (tambores 208 L)	12	290910	5 869.66
LPG (kg)	6 370.34	403.68	4 323.90
Etiquetas	2800	63.83	300.52
Total			12 026.22

D. Mano de obra y gastos administrativos

A continuación se muestran los salarios de los operarios y personal administrativo y de distribución del producto. Los salarios en la columna 2 del Cuadro 6. 6, así como las formas de calcular las prestaciones (cesantía, aguinaldo y vacaciones) fueron tomados de los datos del Ministerio de Trabajo (MTSS, 2018), mientras que el seguro de riesgo de trabajo se determinó por el tipo de empresa (CIU 1040) y con base en la información de la Superintendencia General de Seguros (SUGESE, 2017). Finalmente, las cargas sociales se toman como un 26.33 % del salario mensual (CCSS, 2018). Los montos se transformaron en dólares según el tipo de cambio indicado.

Cuadro 6. 6. Costo total de mano de obra y personal administrativo

Trabajador	Salario/ ($\frac{USD}{mes}$)	Cesantía/ ($\frac{USD}{mes}$)	Aguinaldo/ ($\frac{USD}{mes}$)	Vacaciones/ ($\frac{USD}{mes}$)	Póliza de riesgos de trabajo/ ($\frac{USD}{mes}$)	Cargas Sociales/ ($\frac{USD}{mes}$)	Salario total + Previsiones/ ($\frac{USD}{mes}$)
Calderetero (Operador de Caldera)	405.59	21.86	33.80	21.86	9.45	106.79	599.34
Operador de Máquinas en General	405.59	21.86	33.80	21.86	9.45	106.79	599.34
Operador de Máquinas en General	405.59	21.86	33.80	21.86	9.45	106.79	599.34
Peón de Camión Distribuidor (medio tiempo)	183.12	19.74	15.26	19.74	4.27	48.21	290.33
<i>Subtotal mano de obra</i>							2 088.35
Secretario/a (Trabajador calificado genérico)	570.96	30.77	47.58	30.77	13.30	150.33	843.71
Auxiliar de contabilidad	570.96	30.77	47.58	30.77	13.30	150.33	843.71
Gerente (Lic. univ.)	1 083.99	58.41	90.33	58.41	25.26	285.41	1 601.81
<i>Subtotal personal administrativo</i>							3 289.24
TOTAL							5 377.58

E. Capital de Trabajo

En el Cuadro 6. 7, se muestra la suma de componentes para el capital de trabajo de 3 meses de producción, tomando en cuenta además un porcentaje para imprevistos. Este valor

es el que se muestra al final del Cuadro 6. 1 y el cual sumado con la inversión de capital fijo, da la inversión total de capital necesaria. La venta de 1 mes se calcula como la venta anual dividida entre 12, en donde la venta anual se refleja en el flujo de caja, Cuadro B. 15.

Cuadro 6. 7. Capital de trabajo del proyecto para tres meses

Rubro	Costo/USD
Insumos	
Materia Prima (MP)	36 078.66
Servicios (S)	1 042.42
<i>Total de insumos</i>	37 121.08
Costo total de mano de obra (MO)	6 265.04
Gastos administrativos (GA)	9 867.71
Cuentas por cobrar (1 mes de venta bruta)	44 590.58
Imprevistos (10%* de MP + S + MO + GA)	5 325.38
Capital de trabajo	103 169.80

F. Costo total del producto y precio de venta

Para el cálculo del costo total del producto, se sigue la metodología detallada por Peters y Timmerhaus (1978), con algunas variaciones de manera que contemplen la legislación de Costa Rica. Los autores citados dividen el costo total en Costos de Fabricación y Costos Generales. Los primeros se subdividen en Costos Directos de Producción, Costos Fijos, Costos Generales de la Planta, mientras que los segundos se subdividen en Gastos administrativos y Gastos de Distribución y Marketing. En el Cuadro 6. 8, se han contemplado costos relacionados con la investigación y desarrollo, pues se plantea que la planta pueda diversificar su oferta al mercado con productos a base de aceite de semilla de papaya, incluyendo otros productos cosméticos como cremas, jabones, champús, entre otras formulaciones. Como se mencionó anteriormente, se incluyen el rubro de impuestos municipales, calculados como 0.25 % de los bienes inmuebles —obras civiles y terreno, Cuadro 6. 1— (D-27601-H, 1999); y el rubro de patente municipal, que se define según la legislación del cantón de Sarapiquí, donde se ha planteado instalar la planta aceitera, como 1.2 por mil sobre los ingresos brutos anuales (Ley 7321, 1993).

Para fijar el precio de venta se parte del resultado del Cuadro 6. 8 (es decir un costo de producción de 0.0921 UDS/mL), y de que la producción de la planta es de 323.12 L/mes, es decir 3 877 442 mL/año. La industria cosmética típicamente tiene márgenes de ganancia

muy altas, desde un 60 a un 80 %, y se recomienda que el precio de venta sea de 5 a 6 veces el costo de producción (Bean-Mellinger, 2018; Bedcock, 2015), sin embargo eso representaría un precio de venta muy elevado. Se fija inicialmente un precio de venta de 0.138 USD/mL (120 mL en 16.56 USD o 9850 CRC), lo cual representa un 150 % sobre el costo de producción, y un margen bruto de ganancia de apenas el 33 %. Dicho precio además se plantea con base en el precio del aceite de semilla de papaya en el mercado, en donde se pueden encontrar precios para presentaciones de 100 mL de (5, 10.1, 13, 17.28, 19.99 e incluso 30.7) USD —lo cual da un promedio de 18.11 USD eliminando el primer y último dato— (Soap Kitchen, 2018; Aromantic, 2018; Pure Nature, 2018; Base Formula, 2018; CocoJojo Organic, 2018; Anita Grant, 2017).

Cuadro 6. 8. Costo total del producto

Rubro	Costo/(USD/año)
Costos directos de producción (OpCD)	
Materia prima	144 315
Mano de obra (MO)	25 060
Servicios	4 170
Mantenimiento y reparaciones	5 % del ICF 18 978
Gastos de laboratorio	10 % MO 2 506
<i>Costo directo de producción total</i>	195 028
Costos fijos (OpCF)	
Impuestos municipales	0.25 % Bienes inmuebles 76
Patente de funcionamiento	0.12 % de la Venta Bruta Anual 642
Depreciación	6 069
Intereses préstamo bancario	35 971
<i>Costo fijo de producción total</i>	42 758
Costos adicionales (CA)	
Imprevistos	2.5 % CTP 8 944
<i>Costo total adicional</i>	8 944
Costos generales de la planta (CGP)	
	5 % CTP 17 888
<i>Costo general de planta total</i>	17 888
Costo de fabricación total (CFT)	
264 618	
Gastos Generales (GG)	
Gastos administrativos	39 471
Gastos de distribución y marketing	10 % CTP 35 775
Gasto de investigación y desarrollo	5 % CTP 17 888
<i>Gasto general total</i>	93 134
Costo total del producto (CTP)	357 752

G. Financiamiento

Con base en las opciones existentes de financiamiento del mercado, entre banca estatal y privada, y la información que de estas se pudo recabar, se propone financiar la inversión de capital fijo a través de un programa que incluye una deuda de 120 meses (10 años), con un interés igual al Prime Rate + 4.5 %, una comisión de gastos de formalización del 2 %, sin pago de prima y en el entendido de que el financiamiento está supeditado a que la empresa cuente con una garantía hipotecaria que represente el 80 % del valor del préstamo solicitado. El Cuadro B. 14 muestra los detalles del préstamo bancario a 10 años. El crédito a solicitar corresponde a 379 559.80 USD, donde el resto de la inversión total, es decir el capital de trabajo para el primer año (103 169.63 USD), debe ser adquirido de otra manera, por ejemplo como parte del capital de los accionistas de la empresa.

II. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD FINANCIERA

A. Escenario A

Con el fin de analizar la propuesta de negocio a partir de la producción de un aceite especializado, se confecciona un flujo de caja de capital, contemplando la inversión, ingresos y egresos de la empresa, para dar el flujo de caja acumulado —es decir las ganancias netas a través del plazo de 10 años, contemplando la ganancia o pérdida del año anterior— tomando como base una cantidad de materia prima (semillas) de 1 400 kg semanales, un costo de dicha materia prima de 10 CRC/kg, un precio de venta de 0.138 USD/mL, y el tipo de cambio ya mencionado, llamado en adelante Escenario A. Como resultado se obtiene lo mostrado en la Figura 6. 1.

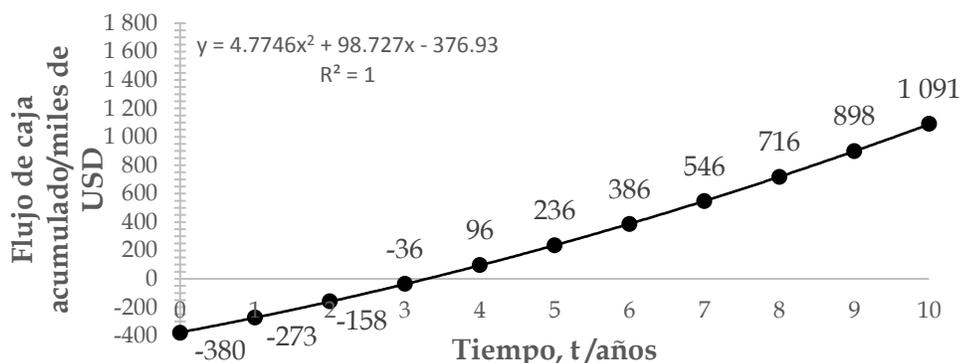


Figura 6. 1. Flujo de caja acumulado para el proyecto

Como se puede ver, el resultado de la inversión propuesta es satisfactorio, con un crecimiento en las entradas monetarias de la empresa y un flujo acumulado positivo de dinero para la empresa a partir del tercer año (3 años y 3 meses aproximadamente). Esto además se complementa con los criterios de evaluación de proyectos de inversión; la TIR (tasa interna de retorno, medida de la rentabilidad de una inversión como porcentaje, o máxima tasa de retorno para el inversionista en donde el VAN se hace cero) y el VAN (valor actual neto, indica la ganancia con el proyecto, después de recuperar la inversión y por sobre la tasa de retorno que se exige al proyecto) (Sapag, 2011). La tasa de retorno exigida para el VAN, que puede considerarse como un interés para un inversionista ficticio, se estableció para todos los casos de esta investigación en un 10 %. Se muestran estos criterios para la situación inicial planteada, en el Cuadro 6. 9.

Cuadro 6. 9. Criterios de evaluación del proyecto

Indicador	Valor
Valor Actual Neto, VAN/USD	478 602.0
Tasa Interna de Retorno, TIR	31.57 %
Período de Recuperación de la Inversión, PRI/años	3.28

El escenario A, muestra que el proyecto puede ser financieramente factible siempre y cuando se logre las condiciones indicadas. A continuación se discute la variación en algunos rubros a fin de evaluar el efecto sobre los ingresos y egresos del proyecto.

B. Análisis de sensibilidad del proyecto

De manera que se puedan contemplar los puntos fuertes y débiles del proyecto, se realiza un análisis de sensibilidad de los indicadores económicos antes mencionados a ciertas variables de interés, como lo son la cantidad y el precio de la materia prima (semillas), el precio de venta, el tipo de cambio, costo materia prima (todo el rubro), inversión total de capital y capital de trabajo. Un análisis preliminar muestra cuáles de estas variables afectan en mayor medida a la TIR y al VAN, las cuales se eligen para crear otros escenarios del proyecto. Este análisis preliminar se muestra a continuación en el Cuadro 6. 10. En este cuadro, se puede observar por la última columna, que los parámetros que varían más a la TIR y al VAN son el precio de venta, seguido de la cantidad de materia prima (semilla), el tipo

de cambio y el costo general de materia prima. La inversión total de capital también es un factor importante, compuesto por el capital de trabajo (que no afecta mucho a la TIR y al VAN) y la inversión de capital fijo. Para poder variar la ICF, habría que cambiar mucho el proyecto, por lo cual a pesar de ser un factor que aporta sensibilidad no será tomado en cuenta dado que no es fácilmente modificable.

Cuadro 6. 10. Sensibilidad a costos del proyecto, preliminar

Parámetro	Valor en el Escenario α	Valor para VAN igual a 0	Porcentaje de diferencia	Valor para TIR igual a 0	Porcentaje de diferencia	Variación porcentual relativa sobre el VAN
Cantidad de materia prima*/(kg/semana)	1 400.0	1 105.4	21.0	1 008.1	28.0	4.8
Costo de materia prima*/(CRC/kg)	10.0	592.3	5 823.0	794.8	7 847.9	0.02
Precio de venta/(USD/mL)	0.138	0.114	17.4	0.106	23.2	5.8
Tipo de cambio/(CRC/USD)	594.7	437.6	26.4	400.9	32.6	3.8
Costo gral. de materia prima/(USD/año)	144 314.7	215 537.0	49.4	240 458.9	66.6	2.0
Inversión total de capital/USD	482 729.6	731 219.3	51.5	915 491.1	89.6	1.9
Capital de trabajo/ UDS	103 169.8	351 659.5	240.9	536 668.7	420.2	0.4

Otro factor que no será considerado es el costo general de materia prima, ya que este depende finalmente de la producción y otras materias primas que a su vez dependen de factor “cantidad de materia prima (semilla)”. Por lo tanto, para realizar una serie de casos y ver cómo se afecta de forma combinada la rentabilidad del proyecto, se tomarán en cuenta solamente la cantidad de materia prima (V1), el precio de venta (V2) y el tipo de cambio (V3). Se realizó una variación negativa y positiva de estos rubros del 15 %, como se muestra a continuación.

Cuadro 6. 11. Variaciones porcentuales efectuadas para la sensibilidad

Variación	V1 Cantidad de materia prima*/ (kg/semana)	V2 Precio de venta/ (USD/mL)	V3 Tipo de cambio/ (CRC/USD)
15.00% (+)	1 610.00	0.1587	683.95
0.00% (0)	1 400.00	0.1380	594.74
-15.00% (-)	1 190.00	0.1173	505.53

*semilla de descarte de las procesadoras

Cuadro 6. 12. Sensibilidad del proyecto a la fluctuación de las variables elegidas

Escenario	V1	V2	V3	V1	V2	V3	TIR	VAN/USD	PRI/años
A	0	0	0	1 400.00	0.1380	594.74	31.57%	478 602.00	3.28
B	0	0	-	1 400.00	0.1380	505.53	21.70%	243 377.76	4.41
C	0	-	0	1 400.00	0.1173	594.74	13.16%	61 249.86	5.96
D	+	0	0	1 610.00	0.1380	594.74	45%	828 982.75	2.36
E	+	0	-	1 610.00	0.1380	505.53	36%	581 940.04	2.94
F	+	-	0	1 610.00	0.1173	594.74	26%	349 027.80	3.82
G	+	-	-	1 610.00	0.1173	505.53	15%	101 985.09	5.53
H	-	0	0	1 190.00	0.1380	594.74	17.05%	141 368.94	5.17
I	+	+	+	1 610.00	0.1587	683.95	69%	1 491 534.49	1.53
J	+	+	0	1 610.00	0.1587	594.74	63%	1 308 937.71	1.70
K	0	+	+	1 400.00	0.1587	683.95	54%	1 069 815.52	1.97
L	+	+	-	1 610.00	0.1587	505.53	54%	1 061 894.99	1.98
M	+	0	+	1 610.00	0.1380	683.95	52%	1 011 579.54	2.05
N	0	+	0	1 400.00	0.1587	594.74	48%	895 954.13	2.24
Ñ	0	+	-	1 400.00	0.1587	505.53	39%	660 729.90	2.73
O	-	+	+	1 190.00	0.1587	683.95	39%	659 529.33	2.73
P	0	0	+	1 400.00	0.1380	683.95	38%	652 463.39	2.75
Q	+	-	+	1 610.00	0.1173	683.95	34%	531 624.58	3.09
R	-	+	0	1 190.00	0.1587	594.74	32%	496 118.26	3.21
S	-	0	+	1 190.00	0.1380	683.95	24%	304 780.02	4.05
T	-	+	-	1 190.00	0.1587	505.53	23%	275 032.68	4.22
U	0	-	+	1 400.00	0.1173	683.95	21%	235 111.25	4.47
V	-	-	+	1 190.00	0.1173	683.95	7%	-49 969.30	7.47
W	-	0	-	1 190.00	0.1380	505.53	5.53%	-79 716.63	7.99
X	0	-	-	1 400.00	0.1173	505.53	-0.53%	-173 974.37	10.29
Y	-	-	0	1 190.00	0.1173	594.74	-3.44%	-213 380.37	12.45
Z	-	-	-	1 190.00	0.1173	505.53	NA	-434 465.94	-2395.59

Se eligió una variación conservadora del 15 %, puesto que, en cuanto a la fluctuación positiva, tanto la variable “precio de venta” como la variable “tipo de cambio” no se espera ni se desea que suba mucho. En cuanto al material recibido por las procesadoras, ciertamente sería muy bueno recibir más de este insumo, sin embargo no se puede saber fácilmente el resultado en el flujo de caja, dado que a mayor materia prima, también mayor uso de isopropanol, envases, y dependiendo de la cantidad extra a procesar, mayor cantidad de equipos y mano de obra requerida. Además, como se observa del Cuadro 6. 10, una variación hacia abajo que supere el 15 %, hace que el precio de venta sea menor al aceptable para un VAN mayor a cero. Finalmente, con esta configuración, se tienen 26 escenarios extra en el Cuadro 6. 12. De estos se descartan aquellos no rentables o con TIR menor a 10 % y aquellos en el que el tipo de cambio o el precio de venta tengan variación positiva, pues es una situación indeseable, como se dijo anteriormente. Esto nos deja con el escenario base (A) y otros

7 escenarios más (B a H). Los casos B y C son atractivos pues no aumentan la cantidad de materia prima, por lo cual la operación no se ve comprometida más allá de lo planteado. El caso B plantea una disminución del tipo de cambio, mientras que el C una disminución del precio de venta. Ambos casos tienen una TIR y un VAN menores que el caso base. En cuanto a los casos D a G, todos tienen una variación positiva de la materia prima en un 15 %, es decir pasar de procesar 1400 kg semanales, a 1610 kg semanales. Estos escenarios, por tener una variación no muy significativa, son aceptables, aunque con el riesgo de que la maquinaria o la mano de obra no sean suficientes, además de incrementar otros costos que no son cuantificables de forma sencilla. Dentro de estos destacan los casos D y E, en donde el precio de venta se mantiene y el tipo de cambio se mantiene (D) o disminuye (E), y la TIR y el VAN se ven favorecidos con respecto al escenario A, lo cual podría ser interesante si se investiga más a fondo el efecto del aumento de la materia prima. Un caso también interesante es el caso H, en donde la única diferencia con respecto al caso base es la disminución de la cantidad de materia prima a procesar. Aunque los indicadores de rentabilidad bajan con respecto al caso base, se mantienen en un nivel aceptable, por lo cual da una idea de lo que podría suceder, si en algún momento la materia prima no se encuentra tan disponible.

Manteniendo la variación positiva del 15 %, se analizó la posibilidad de que la variación negativa fuera mayor, utilizando porcentajes como -20 %, - 25 % y - 50 %. En estas series de escenarios, la cantidad de casos en los que el proyecto no tenía rentabilidad alguna (ver escenarios V a Z del Cuadro 6. 12) aumenta de los 5 mostrados en el Cuadro 6. 12, a 7, 10 y 19 respectivamente, denotando que en efecto el proyecto es muy sensible a la fluctuación individual y combinada de las variables analizadas.

Con esta información, se concluye que el proyecto tiene posibilidad de ser rentable, pero un alto grado de riesgo por la sensibilidad observada, que no admite variaciones superiores al 15 o 20 % en los factores seleccionados. Dicha situación podría mejorarse y hacer al proyecto más rentable, al mismo tiempo que menos riesgoso, si se pudiera aligerar la dependencia con respecto al tipo de cambio y si se logra bajar los costos de producción. Del último rubro, se puede notar por el Cuadro 6. 8, que uno de los mayores aportes al costo lo representa la materia prima (con un 40 %) en donde casi la mitad se debe al reactivo de extracción (ver Cuadro 6. 5).

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- Se logra extraer, utilizando isopropanol como disolvente, un aceite de buena calidad y con un rendimiento de $(30.0688 \pm 0.9925) \%$, por el método de extracción por carga agitada, lo cual es muy prometedor ya que es un método industrializable. Este valor además se encuentra en concordancia con datos de la literatura para otros métodos de extracción utilizando disolventes, que son convencionales la escala de laboratorio.
- Se determinaron como condiciones óptimas —dentro del ámbito de estudio— para la extracción por carga agitada una velocidad de agitación de 300 min^{-1} , utilizando aspas rectas, un tiempo de saturación del disolvente de 50 min, una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y una relación másica de disolvente entre semilla seca igual a 6, a partir de optimización con superficie de respuesta (MSR), a través de un diseño factorial de tipo central compuesto rotatable (DCCR), con un rendimiento predicho por el modelo de $(29.2360 \pm 0.9149) \%$
- Se obtiene un aceite con un índice de refracción n_D^{25} igual a 1.4664 ± 0.0002 , contenido de humedad y materia volátil de $(0.1475 \pm 0.0082) \%$, densidad a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ igual a $(0.9038 \pm 0.0011) \text{ g/cm}^3$, un valor de ácidos grasos libres, expresados como ácido oleico libre por cada 100 gramos aceite, de $(0.35 \pm 0.03) \text{ g}$, valor ácido, expresado como KOH por cada gramo de aceite, de $(0.69 \pm 0.06) \text{ mg}$ y valor de peróxido por kilogramo de aceite, un valor de $(0.1132 \pm 0.0001) \text{ mEq O}_2$, así como materia insaponificable de $(1.3202 \pm 0.0748) \%$ y valor de saponificación, expresado como cantidad de KOH por gramo de aceite de $(174 \pm 3.47) \text{ mg/g}$.
- El perfil de ácidos grasos resulta en 4 ácidos principales, concordantes con la literatura. Se obtienen siguientes los porcentajes relativos promedio: para el ácido oleico, 72.29 %; ácido palmítico, 15.08 %; ácido esteárico, 4.35 % y ácido linoleico, 1.48 %.

- Según un estudio de las procesadoras de papaya (no mostrado en esta tesis), se determina utilizar como materia prima los residuos de una de las grandes procesadoras de nuestro país, ubicada en la Zona Central Norte, aunque se sabe de la existencia, según el estudio realizado, de otras procesadoras con distintas capacidades para suplir material. Se estima que dicha empresa genera 1400 kg de residuos por semana, de lo cual se toma el 100 % como materia prima para el proceso, que generaría la producción de aceite. El mercado para este aceite es principalmente la industria cosmética o venta directa con el mismo fin.
- Se propone, según los alcances de este trabajo, que el método de extracción sea una lixiviación por carga agitada utilizando isopropanol como disolvente de extracción, con operaciones de lavado, secado, molienda, extracción, evaporación del disolvente, y centrifugación del aceite obtenido para purificarlo de materias extrañas.
- De acuerdo con datos de la literatura, experimentaciones y los balances de materia efectuados, se obtendría un volumen de producción de aceite de aproximadamente 292.04 kg mensuales (o 323.12 L mensuales). En cuanto al consumo energético y de servicios, estos se calcularon con base en las cotizaciones de equipos, dando un consumo mensual eléctrico de 1 096 kWh, agua 46.33 m³, incluyendo lo necesario para generar el vapor de los equipos de proceso, y combustible LPG 6370 kg.
- De acuerdo con los balances de los equipos, se dimensionan los mismos a través de las cotizaciones de los proveedores, para dar un área de proceso de aproximadamente 200 m².
- Se plantea la construcción en Horquetas de Sarapiquí, por ser un lugar cercano a la empresa y cerca de un punto importante para exportar el producto vía marítima, en donde la configuración de la distribución de planta cuenta con dos secciones en U, y tomando en cuenta el área administrativa, comedor, baños, vestidores y bodegas de materiales, asciende a cerca de 300 m²
- Según el método de producción propuesto, el costo de producción de aceite es de 0.0923 USD/mL. El costo total del proyecto es de aproximadamente

380 000 USD, más un capital de trabajo para tres meses de producción de 103 000 USD.

- Para un endeudamiento de 376 020.10 USD durante 10 años, el flujo de capital da positivo con el precio de venta fijado, y con un VAN de 478 602.0 USD y una TIR de 31.57 %, y un período de recuperación de la inversión de 3 años y 3 meses, esto tomando en cuenta un incremento anual del precio de venta y costos de producción del 5 %, con base en la inflación de nuestro país en los últimos 10 años, y un precio de venta inicial, de acuerdo con precios del mercado y de acuerdo con las características del aceite y el fin deseado del proyecto, de 0.138 USD/mL, utilizando como presentación inicial envases de 120 mL (16.56 USD o 9 850 CRC)
- Se acepta el proyecto, en su etapa de prefactibilidad técnica y financiera, aunque con un riesgo de inversión alto debido a la sensibilidad que tiene el proyecto sobre la cantidad de semillas a procesar, el precio de venta y el tipo de cambio del dólar con respecto al colón.
- De manera que se reduzcan los costos y riesgos de la operación, se consideró en los cálculos realizados, una operación de lixiviación a una temperatura de 50 °C y una relación másica de disolvente entre semilla seca igual a 5, con un rendimiento predicho por el modelo de 28.5971 %
- Se concluye que es mejor secar la semilla de papaya sin su sarcotesta, sin embargo, no se encontró un método o equipo industrial que logre realizar esto fácilmente, por lo cual se obvia dicha posibilidad para efectos de operaciones a gran escala.

II. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la posibilidad de extraer el aceite por prensado, objetivo que no pudo conseguirse por falta de tiempo en el presente trabajo, y evaluar las características del mismo con respecto a las características del aceite extraído con disolventes, así como determinar la cantidad de aceite remanente y la posibilidad de hacer una segunda extracción con disolventes luego del prensado, similar a como se realiza en la extracción del aceite de oliva.

- Se recomienda realizar más pruebas de caracterización del aceite, como el contenido de compuestos antioxidantes, entre otros, que pudieran aportar más información sobre la calidad y propiedades del aceite de semilla de papaya híbrido Pococí.
- Se recomienda investigar o realizar experimentos de los ciclos de uso y reúso que puede tener el isopropanol como medio de extracción del aceite de semilla de papaya, a fin de determinar la cantidad máxima de recirculación que se le puede dar al mismo.
- El alcohol isopropílico es un disolvente que es producto de reacciones con derivados del petróleo, por lo cual se recomienda investigar más acerca de los diferentes disolventes para extracción de aceites, apuntando al objetivo de disolventes de origen más natural y/o renovable.
- Se recomienda evaluar los egresos e ingresos que del tratamiento y venta de la semilla gastada (o “marco”) puedan derivarse, enfocando el mercado meta en un producto con altas cantidades de fibra y proteína, por ejemplo alimentación animal.
- Se recomienda explorar las opciones para disminuir el precio de venta, reduciendo los costos de materia prima, para ofrecer un producto más atractivo al consumidor.
- Dado que el producto ya se comercializa a nivel internacional, se recomienda crear una diferenciación que hagan al producto atractivo con respecto a otras opciones en el mercado de exportación.
- Se recomienda, con respecto a lo anterior, explorar más a fondo las posibilidades de formulación de productos cosméticos a base de aceite de semilla de papaya.

CAPÍTULO 8: NOMENCLATURA

Variable	Significado	Unidades
A_d	Área superficial expuesta al flujo de aire en el secado	m^2
A_f	Área fluxional específica	m^2/kg de sólido seco
AV	Valor ácido	(mg KOH/g aceite)
C	Estadístico de Cochran	adimensional
C_L	Concentración de aceite en la fase líquida, en el tiempo t	g aceite/L disolución
DCCR	Diseño central compuesto rotable	---
E	Energía eléctrica consumida debida al secado	MJ/kg húmedo
FFA	Ácidos grasos libres	(g ácido oleico libre/100 g aceite)
IPA	Isopropanol, 2-propanol, alcohol isopropílico	---
IV	Valor de yodo	g $I_2/100$ g aceite
L	líquido retenido en el sólido, flujo inferior	kg/h
M	Masa de agua evaporada	g
$M.P.$	Materia prima	kg o ton
MSR	Método de superficie de respuesta	---
N	número total de etapas de la lixiviación	adimensional
N_2	Contenido de Nitrógeno	g $N_2/100$ g muestra
P	Presión total	kPa
\bar{P}	Presión parcial de cierta sustancia en un gas	kPa
P_F	Punto de fusión	$^{\circ}C$
PM	Peso Molecular	mg/mmol
PV	Valor de peróxidos	(mEq O_2/kg aceite)
R	Velocidad de secado de humedad	kg/h $\cdot m^2$
R^2	Coefficiente de determinación	adimensional
R_{ds}	Razón másica disolvente/sólido	g isopropanol/ g semilla seca
SV	Valor de saponificación	(mg KOH/g aceite)
T	Temperatura	$^{\circ}C$
UM	Materia insaponificable	(g materia insaponifi- cable/100 g aceite)
V	disolvente, sobreflujo	kg/h
$V.P.$	Volumen de producción	kg o ton
X	Fracción de humedad en base seca	adimensional
Y	Contenido o rendimiento de aceite en la semilla de pa- paya, por extracción	g aceite/100 g semilla seca
$b. s.$	Base seca	g analito / 100 g materia seca
$b. h.$	Base húmeda	g analito /100 g materia húmeda
dx/dt	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada	min^{-1}
f	número de factores del DCCR	adimensional
f_s	Fracción de energía necesaria para el secado	adimensional
j	Coefficiente de transferencia de masa	1/min
k	Coefficiente de difusión	($s \cdot m^2$) $^{-1}$
m	Masa	kg o g

Variable	Significado	Unidades
n	etapa n de una lixiviación	adimensional
$n.d.$	no detectado o no determinado (trazas)	---
n_D^T	Índice de refracción a la temperatura T	adimensional
p	Pendiente de la ecuación lineal	
r_e	Rapidez de evaporación superficial del agua	mmol/ (s · m ²)
s^2	Varianza	variable
t	Tiempo	s o min
v	velocidad de giro del motor en la extracción	min ⁻¹
x	Fracción de agua evaporada en un tiempo t	adimensional
x_1	variable independiente 1 del DCCR	variable
x_2	variable independiente 2 del DCCR	variable
x_a	fracción de soluto en el flujo inferior a la entrada de la etapa	kg soluto/ kg disolución retenida
x_b	fracción de soluto en el flujo inferior a la salida de la etapa	kg soluto/ kg disolución retenida
x_e	fracción de soluto en el flujo inferior en equilibrio con el soluto del sobreflujo	kg soluto/ kg disolución retenida
y	variable de respuesta del DCCR	variable
y_a	fracción de soluto en el disolvente a la salida de la etapa	kg soluto/ kg disolución
y_b	fracción de soluto en el disolvente a la entrada de la etapa	kg soluto/ kg disolución
α	distancia de los puntos axiales del DCCR con respecto al punto central	variable
ρ	Densidad	g/cm ³
ω	omega, conteo de la posición de una insaturación en un ácido graso, desde el carbono final	adimensional

Subíndices

E	Se refiere a la condición de equilibrio
T	Se refiere a valor por tonelada de materia prima
0	Se refiere al tiempo inicial
1	Se refiere a la semilla con sarcotesta
2	Se refiere a la semilla sin sarcotesta
c	Se refiere al tiempo crítico de secado
h	Se refiere a húmedo
i	Se refiere a la corrida o experimento i
$máx$	Se refiere a la condición máxima
s	Se refiere a seco, o del secado
t	Se refiere a un tiempo t dado
vap	Se refiere a vapor de agua
∞	Se refiere al tiempo final
ref	Se refiere a una medida de referencia

CAPÍTULO 9: REFERENCIAS

- Abu-Arabi, M., Allawzi, . M., Al-Zoubi, H., y Tamimi, A. (2000). Extraction of jojoba oil by pressing and leaching. *Chemical Engineering Journal*, 76, 61-65.
- Agunbiade, F., y Adewole, T. A. (2014). Methanolysis of Carica papaya Seed Oil for Production of Biodiesel (with n-hexane extraction method). *Journal of Fuels*, 2014, 1-6.
- Anantharaman, N., y Meera, K. M. (2011). *Mass Transfer : Theory And Practice*. Nueva Delhi, India: PHI.
- Anita Grant. (2017). *Organic Papaya Oil*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://anitagrants.com/products/organic-papaya-oil?variant=32135229255>
- AOAC INTERNATIONAL. (2012). *Official Methods of Analysis* (19na ed.). Gaithersburg, MD, Estados Unidos: AOAC INTERNATIONAL.
- Aparicio, R., y Harwood, J. (Edits.). (2013). *Handbook of Olive Oil. Analysis and Properties* (Segunda ed.). NY, Estados Unidos: Springer.
- Araujo, J., Evangelista, N., Gomes, R., Pinheiro, K., y Mara, K. (2014). Qualidade Fisiológica de Sementes de Mamão Submetidas a Diferentes Métodos de Remoção da Sarcotesta. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9(2), 285-290.
- ARESEP. (2017). *Informe Calidad GLP Anual*. San José: ARESEP. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018
- Ari, M., Ayanwale, B., Adama, T., y Olatunji, E. (2012). Evaluation of the Chemical Composition and Anti Nutritional Factors (ANFs) Levels of Different Thermally Processed Soybeans. *Asian Journal of Agricultural Research*, 6(2), 91-98.
- Aromatic. (2018). *Products*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de Papaya Oil: <http://www.aromatic.co.uk/home/products/vegetable-oils/non-organic-vegetable-oils/papaya-oil-carica-papaya.aspx>
- Arvi. (2015). *Laboratorios Químicos Arvi*. Recuperado el 8 de Mayo de 2018, de Servicio de Reciclaje Industrial y Tratamiento de Desechos Químicos Contaminados: <http://www.arvicr.com/reciclaje.html>

- AyA. (2018). Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.aya.go.cr/servicioCliente/SitePages/estimacionimporte.aspx>
- Bailey, A. (1984). *Aceites y Grasas Industriales*. Barcelona, España: Editorial Reveté, S.A.
- Banco Mundial. (2018). Recuperado el 2 de Diciembre de 2018, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG?end=2017ylocations=CRystart=1999yview=chart>
- Barboza, L. (29 de Setiembre de 2017). Método de remoción de sarcotesta con procesador de alimentos. (J. D. Alpízar Ugalde, Entrevistador)
- Barroso, P., Carvalho, P., Rocha, T., Pessoa, F., Azevedo, D., y Mendes, M. (2016). Evaluation of the composition of Carica papaya L. seed oil extracted with supercritical CO₂. *Biotechnology Reports*(11), 110-116.
- Base Formula. (2018). *Papaya seed carrier oil*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.baseformula.com/papaya-seed-carrier-oil>
- Bean-Mellinger, B. (8 de Noviembre de 2018). *Bizfluent*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2018, de <https://bizfluent.com/info-12211951-typical-gross-margin-beauty-products.html>
- Bedcock, L. (17 de Julio de 2015). *Essential: Wholesale y Labs*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2018, de <https://library.essentialwholesale.com/pricing-your-natural-and-organic-skin-care-products/>
- Belitz, H., Grosch, W., y Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4ta ed.). Heidelberg, Alemania: Springer.
- Bogantes, A. (16 de Setiembre de 2016). Papaya y cultivo de papaya criolla en Costa Rica. (J. D. Alpízar Ugalde, Entrevistador) San José, Costa Rica.
- Bogantes, A., y Mora, E. (2004). Evaluación de híbridos de papaya (Carica papaya L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 15(1), 39-44.
- Bogantes, A., Mora, E., Umaña, G., y Loría, C. (2011). *Guía para el cultivo de la papaya en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Bouanga-Kalou, G., Kimbonguila, A., Nzikou, J., Ganongo, F., Moutoula, F., Panyoo-Akdowa, E., . . . Desobry, S. (2011). Extraction and characteristics of seed oil from Papaya (Carica papaya). *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 132-137.

- Brown, T., LeMay, H., Bursten, B., y Burdge, J. (2004). *Química. La Ciencia Central* (9na ed.). Naucalpan de Juárez, México, México: Pearson Educación.
- CCSS. (2018). *Calculadora Patronal*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.ccss.sa.cr/calculadora>
- Chan, H., y Heu, R. (1978). Composition of Papaya Seeds. *Journal of Food Science*, 43, 255-256.
- Chauvet, M. (2018). *PlantUse*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de [https://uses.plantnet-project.org/en/Moringa_peregrina_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/en/Moringa_peregrina_(PROTA))
- Chemat, S. (2017). *Edible Oils. Extraction, Processing, and Applications*. Boca Ratón, FL, Estados Unidos: CRC Press.
- Chielle, D., Bertuol, D., Meili, L., Tanabe, E., y Dotto, G. (2016). Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. *Industrial Crops and Products*(85), 221-228.
- CNFL. (2018). Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/resumen_tarifas.pdf
- CocoJojo Organic. (2018). *Papaya Seed Oil Pure Unrefined Pharmaceutical Grade A*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://cocojojo.com/shop/papaya-seed-oil-unrefined-pharmaceutical-grade/>
- D-27601-H. (27 de Enero de 1999). Poder Ejecutivo y Ministerio de Hacienda. *Reglamento a la Ley de Impuesto sobre Bienes Inmuebles*. Costa Rica: Gaceta No. 18 del 27/01/1999.
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., y Acevedo, O. (2011). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 141-155.
- E.S. Guntin. (2016). *Estación de Servicio Guntin*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <http://esguntin.es/multimedia/adj//c876a468afc9c29aac50e40a9e4b30ed.pdf>
- East-West Seed International. (2011). *East-West Seed International*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de Productos / Papaya: http://www.eastwestseed.com/latin-america/la/products/detail.php?SECTION_ID=490yELEMENT_ID=2886
- FAO. (2017). *FAOSTAT*. Recuperado el 19 de Abril de 2018, de Production / Crops: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

- Fundación Produce. (s.f.). *Manual de elaboración derivados de la papaya*. Chiapas, México: Fundación Produce Chiapas.
- Future Market Insights. (2018). *FMI*. Recuperado el 29 de Enero de 2017, de Carica Papaya Seed Oil Market: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/carica-papaya-seed-oil-market>
- Gallegos-Infante, J., Rocha-Guzmán, N., González-Laredo, R., Zuno-Florian, F., y Vidaña, S. (2003). Caracterización de dos variedades de girasol con potencial para la producción de aceite extraídos con hexano e isopropanol. *Grasas y aceites*, 54(3), 245-252.
- García, M. (2010). *Guía Técnica del Cultivo de la Papaya*. Ciudad Arce, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- Geankoplis, C. (2006). *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación (incluye Operaciones Unitarias)* (4ta ed.). Ciudad de México, México: CECOSA.
- Gil, A., y Miranda. (2008). Aspectos anatómicos de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 145-156.
- Gil, A., y Miranda, D. (2005). Morfología de la flor y de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.)_variedad Maradol e híbrido Tainung-1. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 217-222.
- Great Machinery. (19 de Diciembre de 2018). Seed processing line machines to Juandiego Alpizar. Zhengzhou, Henan, China.
- Guzmán, G. (1998). *Guía para el cultivo de la papaya (Carica Papaya L.)*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- HBNO. (2018). *Health and Beauty Natural Oils*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de <https://www.essentialnaturaloils.com/papaya-seed-oil>
- Heller, W., Kissinger, K., Matsumoto, T., y Keith, L. (2015). Utilization of papaya waste and oil production by *Chlorella protothecoides*. *Algal Research*(12), 156-160.
- Hernández, J., y Carballo, A. (2013). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. Ciudad de México, México: Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación .
- ISO. (1978). International Standard, ISO 5509. *Animal and vegetable fats and oils. Preparation of methyl esters of fatty acids*(1). International Organization for Standardization.

- Jamrack, W. (1963). *Rare Metal Extraction by Chemical Engineering Techniques*. Oxford, Inglaterra: Pergamon Press.
- Kalayasiri, P., Jeyashoke, N., y Krisnangkura, K. (1996). Survey of seed oils for use as diesel fuels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(4), 471-474.
- Kopp, D. (2018). *Healthline*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.healthline.com/health/beauty-skin-care/avocado-oil-for-skin#use>
- Korir, M. (2017). Effect of drying on the properties of Papaya seeds and oil characterization. *International Journal of Engineering Research and Science y Technology*, 6(4), 35-43.
- Krishna, K., Paridhavi, M., y Patel, J. (2008). Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of Papaya (*Carica papaya* Linn.). *Natural Product Radiance*, 7(4), 364-373.
- Lee, W., Lee, M., y Su, N. (2011). Characteristics of papaya seed oils obtained by extrusion-exPELLING processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*(91), 2348-2354.
- Leonard, J. (25 de Enero de 2016). *Natural Living Ideas*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.naturallivingideas.com/29-weird-uses-for-olive-oil-that-go-way-beyond-cooking/>
- Ley 7321. (11 de Febrero de 1993). Asamblea Legislativa. *Tarifa de Impuestos Municipales del Cantón de Sarapiquí*. Costa Rica: Gaceta No. 29 del 11/02/1993.
- Lide, D. (Ed.). (2007). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (87va versión digital ed.). Boca Ratón, FL, Estados Unidos: Taylor and Francis.
- Lobo, M. T. (21 de Junio de 2018). Características de los aceites vegetales y sus usos en formulación química de productos para la industria cosmética. (J. D. Alpízar Ugalde, Entrevistador)
- Lundblad, R., y Macdonald, F. (2018). *Handbook of Biochemistry and Molecular Biology* (5ta ed.). Boca Ratón, FL, Estados Unidos: CRC Press.
- MacDougall, D. (2002). *Colour in food. Improving Quality*. Boca Ratón, FL, Estados Unidos: CRC Press.
- Maisarah, A., Nurul, B., Asmah, R., y Fauziah, O. (2013). Antioxidant analysis of different parts of *Carica papaya*. *International Food Research Journal*, 20(3), 1043-1048.

- Malacrida, C., Kimura, M., y Jorge, N. (2011). Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(4), 929-934.
- Malengier, B., y Pushpavanam, S. (2012). Comparison of Co-Current and Counter-Current Flow Fields on Extraction Performance in Micro-Channels. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 309-320.
- Marfo, E., Oke, O., y Afolabi, O. (1986). Chemical Composition of Papaya (*Carica Papaya*) seeds. *Food Chemistry*, 22, 256-266.
- Mata, J. F. (10 de Mayo de 2017). Parámetros de curvas de secado y curvas energéticas en el Laboratorio de Biomásas de la Escuela de Química, UCR. (J. D. Alpízar Ugalde, Entrevistador)
- Matthäus, B. (2012). *Technological Innovations in Major World Oil Crops* (Vol. 2). (S. Gupta, Ed.) New York, NY, Estados Unidos: Springer.
- McCabe, W., Smith, J., y Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería Química* (7ma ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Merck. (2018). *Merck*. Recuperado el 29 de mayo de 2018, de SDS: <http://www.merckmillipore.com/GT/es>
- Millán, J. (05 de julio de 2015). *Dpto. Máquinas y Motores Térmicos, Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián*. Recuperado el 13 de junio de 2018, de Cálculos Psicrométricos: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (Segunda ed.). Ciudad de México, México: Limusa Wiley.
- Mora, R. (12 de Noviembre de 2018). Costos de importación, aranceles y transporte de equipos de proceso. (J. D. Alpízar Ugalde, Entrevistador)
- MTSS. (2018). *Temas Laborales*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/>
- Nielsen, S. (2017). *Food Analysis* (5ta ed.). Cham, Suiza: Springer.
- O' Brien, R. (2008). *Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications* (3ra ed.). Boca Ratón, FL, Estados Unidos: CRC Press.

- Okeniyi, J., Ogunlesi, T., Oyelami, O., y Adeyemi, L. (2007). Effectiveness of Dried Carica papaya Seeds Against Human Intestinal Parasitosis. *Journal of Medicinal Food*, 10(1), 194-196.
- OSHA. (2018). Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926.56>
- Passera, C., y Spettoli, P. (1981). Chemical composition of papaya seeds. *Qual Plant Plant Foods Hum Nutr*(31), 77-83.
- Perry, R., y Green, D. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7ma ed.). Chicago, Illinois, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Peters, M., y Timmerhaus, K. (1978). *Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos* (versión castellana ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Géminis.
- Prensa-Latina. (28 de Noviembre de 2018). Recuperado el 29 de Noviembre de 2018, de <https://www.prensa-latina.cu/index.php?o=rnyid=232546ySEO=intercambian-en-cuba-sobre-usos-de-la-moringa-en-cosmetica>
- PROCOMER. (Febrero de 2018). *Servicios*. Recuperado el 19 de Abril de 2018, de Estadísticas: <http://servicios.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>
- Puangsrri, T., Abdulkarim, S., y Ghazali, H. (2005). Properties of Carica papaya L. (Papaya) seed oil following extractions using solvent and aqueous enzymatic methods. *Journal of Food Lipids*(12), 62-76.
- Puente, A., Morales, J., Sik, Y., y Mata, J. (2016). Drying Kinetics and Assessment of Relative. *International Journal of Renewable Energy y Biofuels*, 2016, 2.
- Pure Nature. (2018). *Papaya Seed Oil*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.purenature.co.nz/products/papaya-seed-oil>
- RECOPE. (2018). Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C., y Ghazali, H. (2013). Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) and Solvent Extraction of Papaya Seed Oil: Yield, Fatty Acid Composition and Triacylglycerol Profile. *Molecules*(18), 12474-12487.
- Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación* (Segunda ed.). Chile: Pearson.

- Sattler, K., y Feindt, H. (1995). *Thermal Separation Processes*. Weinheim, Alemania: VCH.
- Schiller, C., y Schiller, D. (2008). *The Aromatherapy Encyclopedia: A Concise Guide to Over 385 Plant Oils*. Laguna Beach, CA, Estados Unidos: Basic Health Publications, Inc.
- Schweiggert, R., Steingass, C., Esquivel, P., y Carle, R. (2012). Chemical and morphological characterization of Costa rican papaya (*Carica Papaya L.*) hybrids and lines with particular focus on their genuine carotenoid profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 2577–2585.
- Seader, J., Henley, E., y Roper, D. (2011). *Separation Process Principles* (3ra ed.). Westford, Massachusetts, Estados Unidos: John Wiley y Sons.
- Smith, M. (2018). *WebMD*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.webmd.com/vitamins/ai/ingredientmono-40/sunflower-oil>
- Soap Kitchen. (2018). *Papaya Seed Oil*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://www.thesoapkitchen.co.uk/papaya-seed-oil-papayso/>
- Speight, J. (2015). *Handbook of Coal Analysis*. Hoboken, NJ, Estados Unidos: Wiley.
- SUGESE. (2017). *Seguros Obligatorios*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de http://www.sugese.fi.cr/seguros_obligatorios/RT.html
- Syed, H. M., Kunte, S. P., Jadhav, B. A., y Salve, R. V. (2014). Extraction and characterization of papaya seed oil. *Elixir International Journal*(77), 29380-29383.
- Tecnológico de Costa Rica. (16 de Junio de 2016). *TEC*. Recuperado el 13 de Agosto de 2016, de Hoy en el TEC: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2016/06/16/estudiantes-aprovechan-desechos-papaya-crear-aceite-manchas-espinillas>
- Tokuhisa, D., Fernandes, D., Mantovani, E., Hilst, P., y Demuner, A. (2007). Compostos fenólicos inibidores da germinação em sementes de mamão (*Carica papaya L.*). *Revista Brasileira de Sementes*, 29(3), 180-188.
- Treybal. (1988). *Operaciones de Transferencia de Masa* (2da ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Ulate, D., y Mata, J. (2014). Drying Kinetics as a Method for the Evaluation of Relative Diffusivity of Water in Porous Biomass Materials. *International Journal of Renewable Energy y Biofuels*, 2014, 1-7.

- Ullmann, F. (2011). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (7ma ed.). Hoboken, NJ, Estados Unidos: John Wiley y Sons.
- VanBuren, R., Zeng, F., Chen, C., Zhang, J., Man Wai, C., Han, J., . . . Ming, R. (2015). Origin and domestication of papaya Yh chromosome. *Genome Research*, 25, 524-533.
- Vega, A. (2014). *Caracterización del territorio de Sarapiquí*. La Virgen, Sarapiquí, Costa Rica: INDER.
- Vian, A., y Ocón, J. (1976). *Elementos de Ingeniería Química* (5ta ed.). Madrid, España: Editorial Aguilar.
- Wadhwa, M., y Bakshi, M. (2013). *Utilization of fruit and vegetable waste as livestock feed and as substrates for generation of other value added products*. Ludhiana, India: FAO.
- Whyte, J. (2018). *WebMD*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://www.webmd.com/vitamins/ai/ingredientmono-852/rice-bran>
- Winayanuwattikun, P., Kaewpiboon, C., Piriayakananon, K., Tantonga, S., Thakernkarnkita, W., Chulalaksananukul, W., y Yongvanich, T. (2008). Potential plant oil feedstock for lipase-catalized biodiesel production in Thailand. *Biomass and Bioenergy*(32), 1279-1286.
- Yanty, N. M., Marikkar, J. M., Nusantoro, B. P., Long, K., y Ghazali, H. M. (2014). Physico-chemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.) seed oil of the Hong Kong/Sekaki variety. *Journal of Oleo Sciences*, 63(9), 885-892.

CAPÍTULO 10: APÉNDICES

I. APÉNDICE A: DATOS EXPERIMENTALES

Cuadro A. 1. Resultados de la primera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
0	10.052	0	10.064
5	9.570	2	9.735
10	9.006	4	9.344
15	8.453	6	9.010
20	7.878	8	8.696
25	7.380	10	8.391
30	6.863	12	8.091
35	6.355	14	7.798
40	5.858	16	7.515
45	5.379	18	7.235
50	4.914	20	6.965
55	4.477	22	6.696
60	4.062	24	6.439
65	3.678	26	6.193
70	3.325	28	5.947
75	3.007	30	5.731
80	2.727	35	5.211
85	2.495	40	4.751
90	2.319	45	4.355
95	2.202	50	4.017
100	2.132	55	3.728
105	2.090	60	3.488
110	2.059	65	3.309
115	2.035	70	3.175
120	2.014	75	3.079
125	1.997	80	3.008
		85	2.951
		90	2.903
		95	2.863
		100	2.829

Cuadro A. 1. (continuación) Resultados de la primera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
		105	2.802
		110	2.779
		115	2.761
		116	2.759

Cuadro A. 2. Resultados de la segunda corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
0	10.019	0	10.019
5	9.596	2	9.705
10	9.081	4	9.345
15	8.574	6	9.032
20	8.076	8	8.728
25	7.581	10	8.435
30	7.092	13	8.004
35	6.609	14	7.861
40	6.132	16	7.583
45	5.667	18	7.309
50	5.215	20	7.045
55	4.778	22	6.790
60	4.444	24	6.526
65	3.969	26	6.305
70	3.596	28	6.076
75	3.252	30	5.854
80	2.947	35	5.343
85	2.683	40	4.894
90	2.462	45	4.498
95	2.284	50	4.151
100	2.148	55	3.856
105	2.055	60	3.656
110	1.993	65	3.420
115	1.952	70	3.293
120	1.921	75	3.202
125	1.894	80	3.130
130	1.871	85	3.070
135	1.849	90	3.020

Cuadro A. 2. (continuación) Resultados de la segunda corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
138	1.838	95	2.978
		100	2.943
		105	2.914
		110	2.891
		115	2.872

Cuadro A. 3. Resultados de la tercera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomosas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
0	10.028	0	10.005
5	9.582	2	9.664
10	9.060	4	9.287
15	8.538	6	8.960
20	8.027	8	8.647
25	7.516	10	8.344
30	7.010	12	8.046
35	6.512	14	7.754
40	6.023	16	7.467
45	5.545	18	7.190
50	5.082	20	6.919
55	4.640	22	6.620
60	4.218	24	6.401
65	3.820	26	6.154
70	3.449	28	5.917
75	3.114	30	5.688
80	2.823	35	5.160
85	2.581	40	4.693
90	2.392	45	4.288
95	2.256	50	3.951
100	2.168	55	3.682
105	2.112	60	3.480
110	2.075	65	3.332
115	2.048	70	3.216
120	2.027	75	3.123
123	2.014	80	3.048

Cuadro A. 3. (continuación) Resultados de la tercera corrida de la prueba de secado a 70 °C, tiempo, t , y masa, m , obtenidos en el laboratorio de Biomásas de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, para la semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	masa, $m_{(1)}$ /g	tiempo, $t_{(2)}$ /min	masa, $m_{(2)}$ /g
		85	2.988
		90	2.937
		95	2.892
		100	2.855
		105	2.825
		110	2.801
		115	2.781
		117	2.775

Cuadro A. 4. Determinación de humedad de las semillas usadas en la cinética de extracción

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
Masa platillo /g	12.2874	12.9284	12.4291
Masa platillo + muestra /g	14.2884	14.9333	14.4343
Masa platillo + muestra seca /g	14.1590	14.8013	14.3076
Humedad / (g agua/100 g semilla)	6.4668	6.5839	6.3186

Cuadro A. 5. Determinación del rendimiento de extracción con isopropanol, semilla con sarcotesta (1) y sin sarcotesta (2)

	Masa sólido /g	Masa sólido seco /g	Masa recipiente vacío /g	Masa recipiente + aceite /g	Rendimiento, Y / (g aceite/100 g semilla seca)
muestra 1 ¹	0.6164	0.5948	46.0114	46.1655	25.9079
muestra 2 ¹	0.5521	0.5328	45.9338	46.0687	25.3213
muestra 3 ¹	0.5314	0.5128	44.9992	45.1305	25.6056
muestra 1 ²	24.9859	23.3727	126.8215	133.4289	28.2697
muestra 2 ²	24.9168	23.3081	101.9151	108.5941	28.6553
muestra 3 ²	25.1644	23.5397	93.7167	100.2805	27.8840

Cuadro A. 6. Determinación del rendimiento de extracción con etanol (EtOH) y hexano (Hex) en semilla sin sarcotesta

	Masa sólido /g	Masa sólido seco /g	Masa recipiente vacío /g	Masa recipiente + aceite /g	Rendimiento, Y / (g aceite/100 g semilla seca)
muestra 1 (EtOH)	30.0347	28.0955	93.7134	96.8240	11.0715
muestra 2 (EtOH)	30.0655	28.1244	109.5358	112.4843	10.4838
muestra 3 (EtOH)	30.0665	28.1253	101.9103	104.7367	10.0493
muestra 1 (Hex)	30.0097	28.0722	117.9330	126.3229	29.8869
muestra 2 (Hex)	30.0500	28.1099	110.3450	118.7677	29.9635
muestra 3 (Hex)	30.0283	28.0896	102.2174	110.7156	30.2540

Cuadro A. 7. Datos de masa y tiempo para realizar la curva de cinética de extracción

tiempo (min)	masa platillo vacío/g	masa platillo + aceite/g
0	0.0000	0.0000
6	11.7614	11.8690
11	16.7401	16.8504
15	15.8783	16.0084
20	12.4534	12.5818
31	12.9566	13.0960
40	11.8804	12.0086
50	10.4251	10.5710
60	16.0563	16.2027
70	11.6614	11.8038
80	16.7850	16.9268
90	15.6634	15.8108
101	12.1887	12.3305
110	11.7019	11.8430
120	17.2620	17.4048

Cuadro A. 8. Otros datos empleados para realizar la curva cinética de extracción

Dato	Valor	Dato	Valor
Volumen de alícuota/L	0.0030	Densidad del isopropanol/(g/mL)	0.7860
Masa de sólido húmedo utilizada/g	320.25	Volumen de líquido utilizado/L	1.6297
Masa de sólido seco utilizada/g	299.5734	Rendimiento de aceite extraído con IPA/ (g aceite/100 g semilla)	28.2697
Masa de líquido utilizada/g	1280.95	Masa total de aceite en la muestra/g	84.6885

Cuadro A. 9. Valores reales utilizados para las corridas del DCCR

Orden estándar	Masa IPA medida/g	Masa semilla medida /g	Masa semilla seca/g	R _{ds} obtenida (g IPA/g semilla)	Temperatura usada, T/°C
1	465.02	146.46	135.20	3.44	34.39
2	465.00	146.43	135.17	3.44	55.6
3	508.75	99.23	91.60	5.55	34.39
4	508.71	99.09	91.47	5.56	55.6
5	451.33	162.52	150.03	3.01	45
6	515.61	92.86	85.72	6.01	45
7	490.97	118.25	109.16	4.50	30
8	491.01	118.23	109.14	4.50	60
9	490.94	118.27	109.18	4.50	45
10	491.38	118.15	109.07	4.51	45
11	491.04	118.17	109.09	4.50	45
12	490.90	118.34	109.24	4.49	45
13	491.14	118.15	109.07	4.50	45

Cuadro A. 10. Determinación de humedad de las semillas usadas las corridas del DCCR

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
Masa platillo/g	13.4410	12.6620	15.1086
Masa platillo + muestra/g	15.4548	14.6698	17.1093
Masa platillo + muestra seca/g	15.2998	14.5157	16.9555
Humedad / (g agua/100 g semilla)	7.6969	7.6751	7.6873

Cuadro A. 11. Resultados experimentales de las corridas del DCCR

Corrida	masa platillo vacío/g	masa platillo + aceite/g	Corrida	masa platillo vacío/g	masa platillo + aceite/g
1. muestra 1	16.9560	17.1449	8. muestra 1	13.6229	13.7657
1. muestra 2	17.5987	17.7874	8. muestra 2	11.3215	11.4652
1. muestra 3	15.3958	15.5849	8. muestra 3	11.6526	11.7969
2. muestra 1	15.9885	16.1744	9. muestra 1	11.8328	11.9793
2. muestra 2	17.1925	17.3830	9. muestra 2	15.7982	15.9409
2. muestra 3	12.8743	13.0694	9. muestra 3	15.2838	15.4290
3. muestra 1	10.1071	10.2262	10. muestra 1	12.4005	12.5466
3. muestra 2	16.2859	16.4041	10. muestra 2	15.8624	16.0134
3. muestra 3	17.2622	17.3823	10. muestra 3	10.8640	11.0155
4. muestra 1	15.9892	16.1105	11. muestra 1	16.2599	16.4048
4. muestra 2	17.1946	17.3173	11. muestra 2	10.7047	10.8523
4. muestra 3	12.8737	12.9970	11. muestra 3	12.1893	12.3396
5. muestra 1	11.8345	12.0408	12. muestra 1	11.2066	11.3527
5. muestra 2	15.7962	16.0087	12. muestra 2	11.6458	11.7922
5. muestra 3	10.8631	11.0771	12. muestra 3	13.8879	14.0331
6. muestra 1	11.2072	11.3171	13. muestra 1	12.3987	12.5441
6. muestra 2	11.6460	11.7591	13. muestra 2	15.8611	16.0104
6. muestra 3	13.8885	14.0011	13. muestra 3	15.2828	15.4316
7. muestra 1	13.6229	13.7657			
7. muestra 2	11.3215	11.4652			
7. muestra 3	11.6526	11.7969			

Cuadro A. 12. Determinación de humedad de las semillas usadas en la comprobación del MSR por DCCR

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
Masa platillo/g	18.8328	11.0557	15.6376
Masa platillo + muestra/g	20.8599	13.0622	17.6401
Masa platillo + muestra seca/g	20.7491	12.9583	17.5316
Humedad / (g agua/100 g semilla)	5.4659	5.1782	5.4182

Cuadro A. 13. Datos de la comprobación del DCCR

Corrida final	masa platillo vacío/g	masa platillo + aceite/g
muestra 1	18.8325	18.9524
muestra 2	11.0553	11.1762
muestra 3	15.6371	15.7508

Cuadro A. 14. Otros datos del experimento de la comprobación del DCCR

Dato	Valor	Dato	Valor
Volumen de alícuota/L	0.0030	Volumen de líquido utilizado/L	8.0658
Masa de sólido húmedo utilizada/g	1116.37	Temperatura, T/ °C	60
Masa de sólido seco utilizada/g	1056.60	R _{ds} (g IPA/g semilla)	6
Masa de líquido utilizada/g	6339.78	Velocidad de agitación/min ⁻¹	300
			6
Densidad del isopropanol/(g/mL)	0.7860	Tipo de propela	aspas rectas

Cuadro A. 15. Resultados de la prueba de color del aceite

muestra	Parámetro		
	L*	a*	b*
1	66.40	-0.49	64.52
2	66.43	-0.45	64.51
3	66.46	-0.43	64.56

Cuadro A. 16. Resultados del índice de refracción del aceite

muestra	Temperatura de la lectura/°C	n _D ^T	Corrección n _D ⁴⁰
1	25.3	1.4665	1.4608
2	25.8	1.4660	1.4605
3	25.8	1.4660	1.4605

Cuadro A. 17. Resultados del contenido de humedad y materia volátil del aceite

muestra	masa platillo vacío/g	masa platillo + aceite/g	masa platillo + aceite seco/g	Contenido de humedad y materia volátil/ (g/100 g de aceite)
1	11.3503	16.2933	16.2857	0.1538
2	11.2862	16.2038	16.1964	0.1505
3	10.9678	15.9631	15.9562	0.1381

Cuadro A. 18. Resultados la prueba de densidad del aceite

muestra	masa balón 10 mL vacío /g	masa balón + muestra /g	masa de aceite /g	Densidad, ρ ²⁵ /(g/mL)
1	13.6392	22.6880	9.0488	0.9049
2	13.6736	22.7101	9.0365	0.9037
3	13.5689	22.5962	9.0273	0.9027

Cuadro A. 19. Resultados la prueba de punto de fusión del aceite

muestra	Temperatura inicial/°C	Temperatura final/°C
1	9.5	13.1
2	9.9	13.5
3	9.4	13
4	9.2	13.1
5	9.0	13.5

Cuadro A. 20. Resultados la prueba determinación de ácidos grasos libres del aceite

muestra	masa de muestra/g	Volumen a NaOH 0.25 M/mL	Ácidos grasos libres, FFA/ (g ácido oleico libre/100 g aceite)
1	7.0490	0.38	0.38
2	7.0520	0.34	0.34
3	7.0510	0.32	0.32

Cuadro A. 21. Resultados la prueba determinación de valor ácido del aceite

muestra	Valor ácido, AV/ (mg KOH/ g aceite)
1	0.76
2	0.68
3	0.64

Cuadro A. 22. Resultados la prueba determinación de valor de peróxido del aceite

muestra	masa de muestra/g	Volumen de Na ₂ S ₂ O ₃ 0.01 M utilizado en la valoración/mL	Valor de peróxido, PV/ (mil equivalentes O ₂ /kg aceite)
1	15.0291	0.17	0.1131
2	15.0067	0.17	0.1133
3	15.0151	0.17	0.1132

Cuadro A. 23. Resultados la prueba determinación de materia insaponificable del aceite

muestra	masa de muestra/g	masa del balón vacío/g	masa balón + residuo crudo seco/g	Volumen de NaOH 0.1 M utilizado en la valoración /mL	Ácidos grasos libres/ g ácido oleico libre	Materia insaponificable, UM/ (g materia insaponificable /100 g aceite)
1	2.5052	104.3533	104.4042	0.66	0.0175	1.3339
2	2.5155	98.8824	98.9305	0.64	0.0169	1.2395
3	2.5045	97.3405	97.3916	0.62	0.0164	1.3873
Blanco	---	--	--	0.04		

Cuadro A. 24. Resultados la prueba determinación de valor de saponificación del aceite

muestra	masa de muestra/g	Volumen de HCl 0.5 M utilizado en la valoración/mL	Número de saponificación, SV/ (mg KOH/ g aceite)
1	15.0291	27.6	171.5426
2	15.0067	26.5	178.0616
3	15.0151	27.5	172.7582
Blanco	---	58.4	

II. APÉNDICE B: RESULTADOS INTERMEDIOS

Cuadro B. 1. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(1)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(1)}$	tiempo, $t_{(2)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(2)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(2)}$
0	0.000	1.000	0	0.000	1.000
5	0.060	0.940	2	0.045	0.955
10	0.130	0.870	4	0.099	0.901
15	0.199	0.801	6	0.144	0.856
20	0.270	0.730	8	0.187	0.813
25	0.332	0.668	10	0.229	0.771
30	0.396	0.604	12	0.270	0.730
35	0.459	0.541	14	0.310	0.690
40	0.521	0.479	16	0.349	0.651
45	0.580	0.420	18	0.387	0.613
50	0.638	0.362	20	0.424	0.576
55	0.692	0.308	22	0.461	0.539
60	0.744	0.256	24	0.496	0.504
65	0.791	0.209	26	0.530	0.470
70	0.835	0.165	28	0.564	0.436
75	0.875	0.125	30	0.593	0.407
80	0.909	0.091	35	0.664	0.336
85	0.938	0.062	40	0.727	0.273
90	0.960	0.040	45	0.782	0.218
95	0.975	0.025	50	0.828	0.172
100	0.983	0.017	55	0.867	0.133
105	0.988	0.012	60	0.900	0.100
110	0.992	0.008	65	0.925	0.075
115	0.995	0.005	70	0.943	0.057
120	0.998	0.002	75	0.956	0.044
125	1.000	0.000	80	0.966	0.034
			85	0.974	0.026
			90	0.980	0.020
			95	0.986	0.014
			100	0.990	0.010
				0.994	0.006
				0.997	0.003
				1.000	0.000
				1.000	0.000

Cuadro B. 2. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(1)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(1)}$	tiempo, $t_{(2)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(2)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(2)}$
0	0.000	1.000	0	0.000	1.000
5	0.052	0.948	2	0.044	0.956
10	0.115	0.885	4	0.094	0.906
15	0.177	0.823	6	0.138	0.862
20	0.238	0.762	8	0.181	0.819
25	0.298	0.702	10	0.222	0.778
30	0.358	0.642	13	0.282	0.718
35	0.417	0.583	14	0.302	0.698
40	0.475	0.525	16	0.341	0.659
45	0.532	0.468	18	0.379	0.621
50	0.587	0.413	20	0.416	0.584
55	0.641	0.359	22	0.452	0.548
60	0.681	0.319	24	0.489	0.511
65	0.740	0.260	26	0.520	0.480
70	0.785	0.215	28	0.552	0.448
75	0.827	0.173	30	0.583	0.417
80	0.864	0.136	35	0.654	0.346
85	0.897	0.103	40	0.717	0.283
90	0.924	0.076	45	0.772	0.228
95	0.945	0.055	50	0.821	0.179
100	0.962	0.038	55	0.862	0.138
105	0.973	0.027	60	0.890	0.110
110	0.981	0.019	65	0.923	0.077
115	0.986	0.014	70	0.941	0.059
120	0.990	0.010	75	0.954	0.046
125	0.993	0.007	80	0.964	0.036
130	0.996	0.004	85	0.972	0.028
135	0.999	0.001	90	0.979	0.021
138	1.000	0.000	95	0.985	0.015
			100	0.990	0.010
			105	0.994	0.006
			110	0.997	0.003
			115	1.000	0.000

Cuadro B. 3. Fracción de agua evaporada, x , y fracción de agua sin evaporar, $(1-x)$, en la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(1)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(1)}$	tiempo, $t_{(2)}$ /min	fracción de agua evaporada, $x_{(2)}$	fracción de agua sin evaporar, $(1-x)_{(2)}$
0	0.000	1.000	0	0.000	1.000
5	0.056	0.944	2	0.047	0.953
10	0.121	0.879	4	0.099	0.901
15	0.186	0.814	6	0.145	0.855
20	0.250	0.750	8	0.188	0.812
25	0.313	0.687	10	0.230	0.770
30	0.377	0.623	12	0.271	0.729
35	0.439	0.561	14	0.311	0.689
40	0.500	0.500	16	0.351	0.649
45	0.559	0.441	18	0.389	0.611
50	0.617	0.383	20	0.427	0.573
55	0.672	0.328	22	0.468	0.532
60	0.725	0.275	24	0.498	0.502
65	0.775	0.225	26	0.533	0.467
70	0.821	0.179	28	0.565	0.435
75	0.863	0.137	30	0.597	0.403
80	0.899	0.101	35	0.670	0.330
85	0.929	0.071	40	0.735	0.265
90	0.953	0.047	45	0.791	0.209
95	0.970	0.030	50	0.837	0.163
100	0.981	0.019	55	0.875	0.125
105	0.988	0.012	60	0.902	0.098
110	0.992	0.008	65	0.923	0.077
115	0.996	0.004	70	0.939	0.061
120	0.998	0.002	75	0.952	0.048
123	1.000	0.000	80	0.962	0.038
			85	0.971	0.029
			90	0.978	0.022
			95	0.984	0.016
			100	0.989	0.011
			105	0.993	0.007
			110	0.996	0.004
			115	0.999	0.001
			117	1.000	0.000

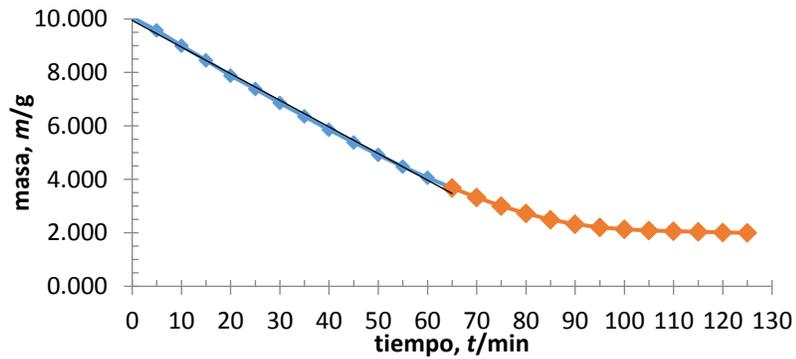


Figura B. 1. Masa contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = -0.0996 \cdot t + 9.9454 ; R^2 = 0.9977 \quad \text{(B. 1)}$$

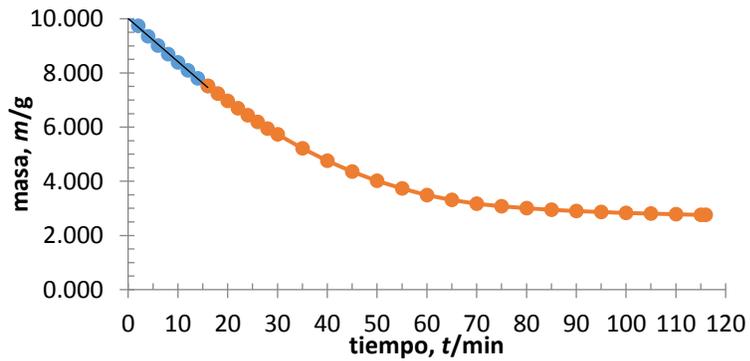


Figura B. 2. Masa contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = -0.15943 \cdot t + 10.01369 ; R^2 = 0.99786 \quad \text{(B. 2)}$$

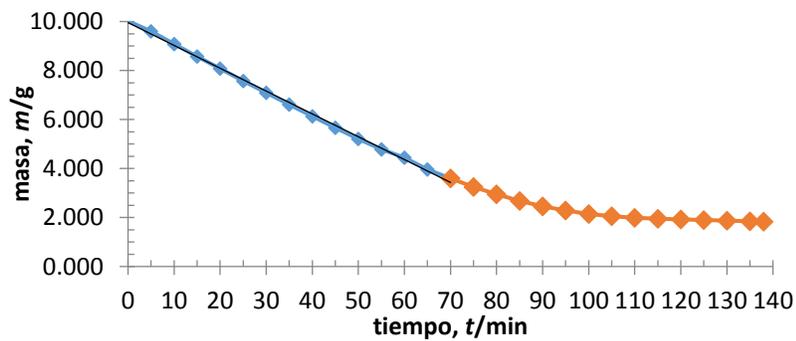


Figura B. 3. Masa contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = -0.09319 \cdot t + 9.95684 ; R^2 = 0.99838 \quad \text{(B. 3)}$$

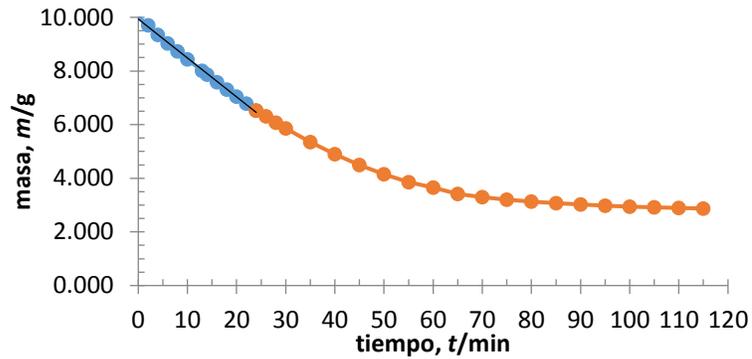


Figura B. 4. Masa contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = -0.14502 \cdot t + 9.93467 ; R^2 = 0.99811 \quad \text{(B. 4)}$$

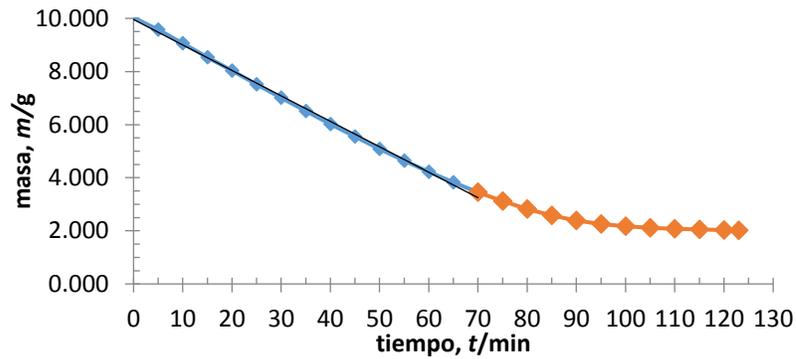


Figura B. 5. Masa contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = -0.09585 \cdot t + 9.95811 ; R^2 = 0.99824 \quad \text{(B. 5)}$$

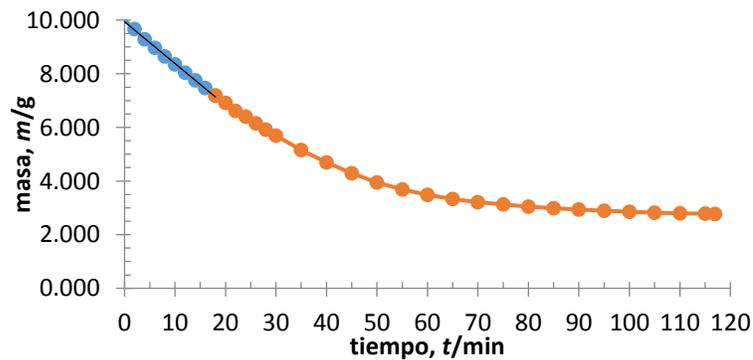


Figura B. 6. Masa contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = -0.15583 \cdot t + 9.93887 ; R^2 = 0.99801 \quad \text{(B. 6)}$$

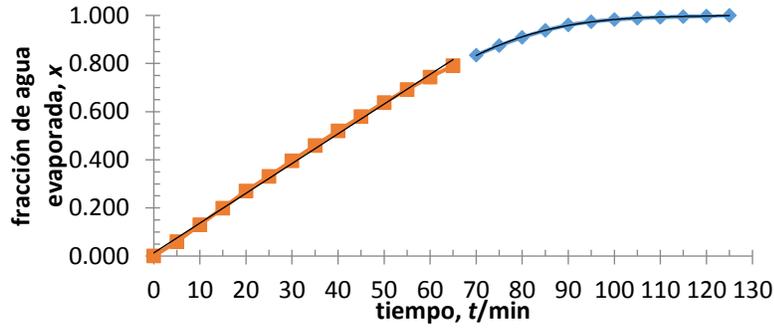


Figura B. 7. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$x = 0.0124 \cdot t + 0.0132 ; R^2 = 0.9977 \quad (\text{B. 7})$$

$$x = 1.36 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 4.80 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 5.67 \cdot 10^{-2} \cdot t - 1.25 ; R^2 = 0.999 \quad (\text{B. 8})$$

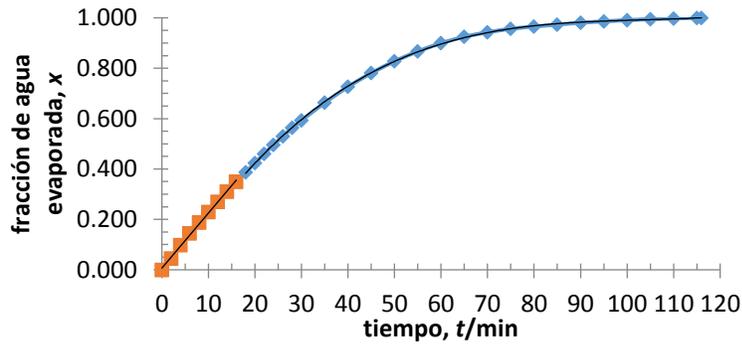


Figura B. 8. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$x = 0.0218 \cdot t + 0.0069 ; R^2 = 0.9979 \quad (\text{B. 9})$$

$$x = 9.18 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2.84 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.97 \cdot 10^{-2} t - 6.59 \cdot 10^{-2} ; R^2 = 1.00 \quad (\text{B. 10})$$

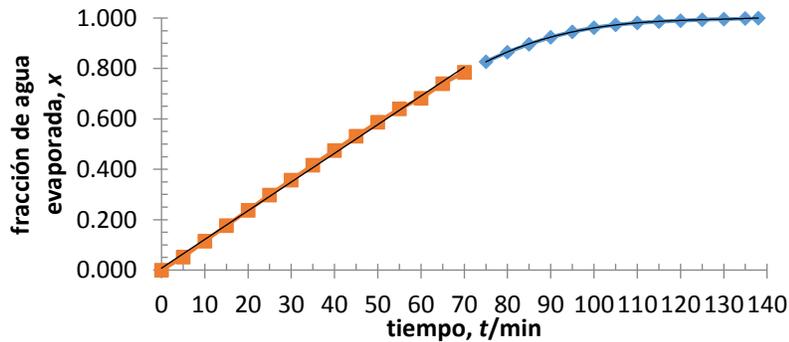


Figura B. 9. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$x = 0.0114 \cdot t + 0.0076 ; R^2 = 0.9984 \quad (\text{B. 11})$$

$$x = 9.69 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 3.73 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 4.82 \cdot 10^{-2} t - 1.10 ; R^2 = 1.00 \quad (\text{B. 12})$$

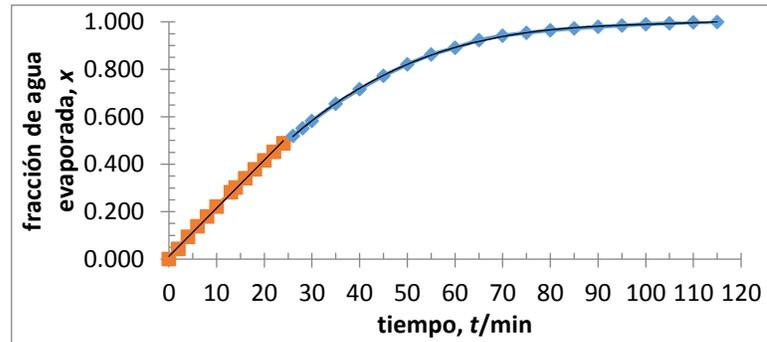


Figura B. 10. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$x = 0.0203 \cdot t + 0.0118 ; R^2 = 0.9981 \quad (\text{B. 13})$$

$$x = 9.61 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2.95 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 3.07 \cdot 10^{-2}t - 0.10 ; R^2 = 1.00 \quad (\text{B. 14})$$

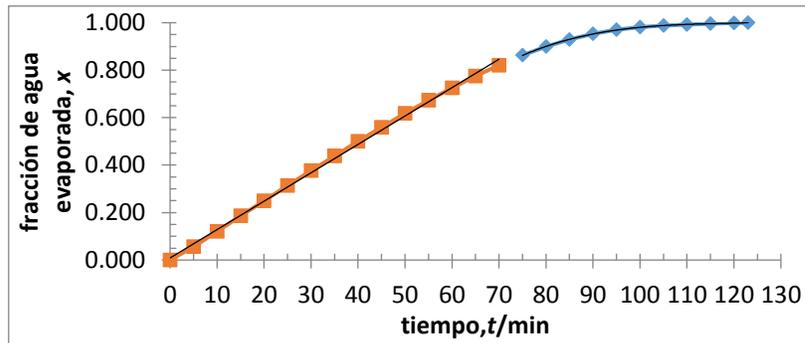


Figura B. 11. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$x = 0.0112 \cdot t + 0.0087 ; R^2 = 0.9982 \quad (\text{B. 15})$$

$$x = 1.45 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 5.13 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 6.10 \cdot 10^{-2}t - 1.44 ; R^2 = 1.00 \quad (\text{B. 16})$$

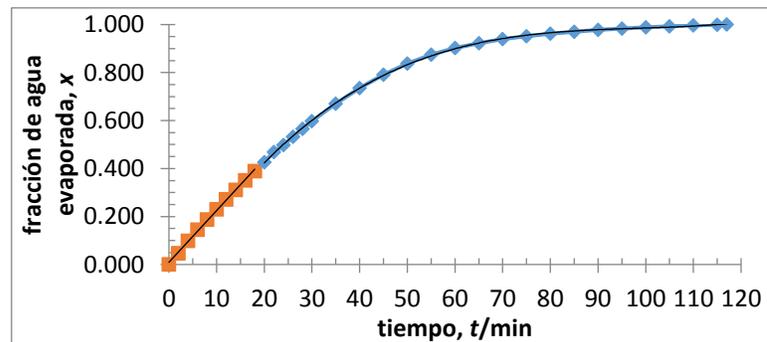


Figura B. 12. Fracción de agua evaporada contra tiempo para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$x = 0.0216 \cdot t + 0.0091 ; R^2 = 0.9980 \quad (\text{B. 17})$$

$$x = 1.05 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 3.10 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 3.12 \cdot 10^{-2}t - 8.55 \cdot 10^{-2} ; R^2 = 1.00 \quad (\text{B. 18})$$

Cuadro B. 4. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(1)}/\text{min}^{-1}$	tiempo, $t_{(2)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(2)}/\text{min}^{-1}$
0	0.0124	0	0.0218
5	0.0124	2	0.0218
10	0.0124	4	0.0218
15	0.0124	6	0.0218
20	0.0124	8	0.0218
25	0.0124	10	0.0218
30	0.0124	12	0.0218
35	0.0124	14	0.0218
40	0.0124	16	0.0218
45	0.0124	18	0.0204
50	0.0124	20	0.0194
55	0.0124	22	0.0185
60	0.0124	24	0.0177
65	0.0124	26	0.0168
70	0.0095	28	0.0160
75	0.0076	30	0.0151
80	0.0060	35	0.0132
85	0.0046	40	0.0114
90	0.0033	45	0.0097
95	0.0023	50	0.0082
100	0.0015	55	0.0068
105	0.0009	60	0.0055
110	0.0005	65	0.0044
115	0.0003	70	0.0034
120	0.0003	75	0.0026
125	0.0004	80	0.0019
		85	0.0013
		90	0.0009
		95	0.0006
		100	0.0004
		105	0.0004
		110	0.0005
		115	0.0008
		116	0.0009

Cuadro B. 5. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(1)}/\text{min}^{-1}$	tiempo, $t_{(2)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(2)}/\text{min}^{-1}$
0	0.0114	0	0.0203
5	0.0114	2	0.0203
10	0.0114	4	0.0203
15	0.0114	6	0.0203
20	0.0114	8	0.0203
25	0.0114	10	0.0203
30	0.0114	13	0.0203
35	0.0114	14	0.0203
40	0.0114	16	0.0203
45	0.0114	18	0.0203
50	0.0114	20	0.0203
55	0.0114	22	0.0203
60	0.0114	24	0.0203
65	0.0114	26	0.0173
70	0.0114	28	0.0164
75	0.009	30	0.0156
80	0.007	35	0.0136
85	0.006	40	0.0117
90	0.005	45	0.0100
95	0.004	50	0.0084
100	0.003	55	0.0070
105	0.002	60	0.0057
110	0.001	65	0.0045
115	0.001	70	0.0035
120	0.001	75	0.0027
125	0.000	80	0.0020
130	0.000	85	0.0014
135	0.000	90	0.0010
138	0.001	95	0.0007
		100	0.0005
		105	0.0005
		110	0.0007
		115	0.0010

Cuadro B. 6. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, dx/dt , en la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

tiempo, $t_{(1)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(1)}/\text{min}^{-1}$	tiempo, $t_{(2)}/\text{min}$	Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada, $(dx/dt)_{(2)}/\text{min}^{-1}$
0	0.0120	0	0.0216
5	0.0120	2	0.0216
10	0.0120	4	0.0216
15	0.0120	6	0.0216
20	0.0120	8	0.0216
25	0.0120	10	0.0216
30	0.0120	12	0.0216
35	0.0120	14	0.0216
40	0.0120	16	0.0216
45	0.0120	18	0.0216
50	0.0120	20	0.0201
55	0.0120	22	0.0191
60	0.0120	24	0.0181
65	0.0120	26	0.0172
70	0.0120	28	0.0163
75	0.009	30	0.0154
80	0.007	35	0.0134
85	0.005	40	0.0114
90	0.004	45	0.0097
95	0.003	50	0.0081
100	0.002	55	0.0066
105	0.001	60	0.0053
110	0.001	65	0.0042
115	0.001	70	0.0032
120	0.001	75	0.0024
123	0.001	80	0.0018
		85	0.0013
		90	0.0009
		95	0.0007
		100	0.0007
		105	0.0008
		110	0.0011
		115	0.0016
		117	0.0018

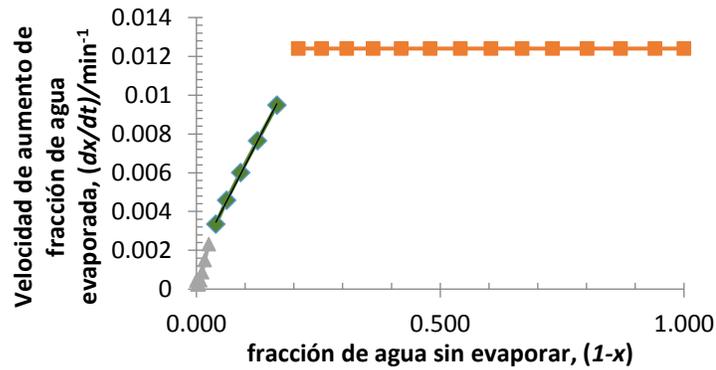


Figura B. 13. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = 0.0488 \cdot t + 0.0015 ; R^2 = 0.9989 \quad (\text{B. 19})$$

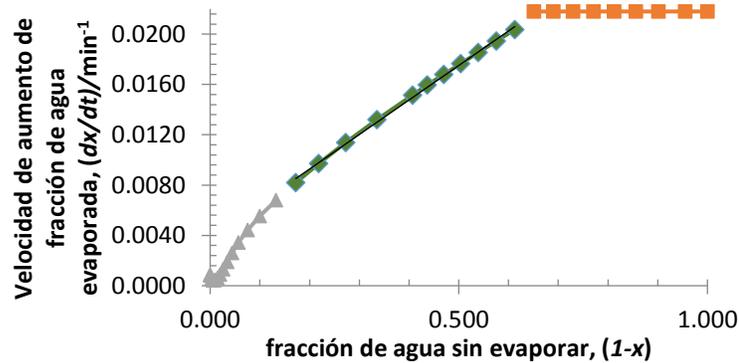


Figura B. 14. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la primera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = 0.0274 \cdot t + 0.0038 ; R^2 = 0.9980 \quad (\text{B. 20})$$

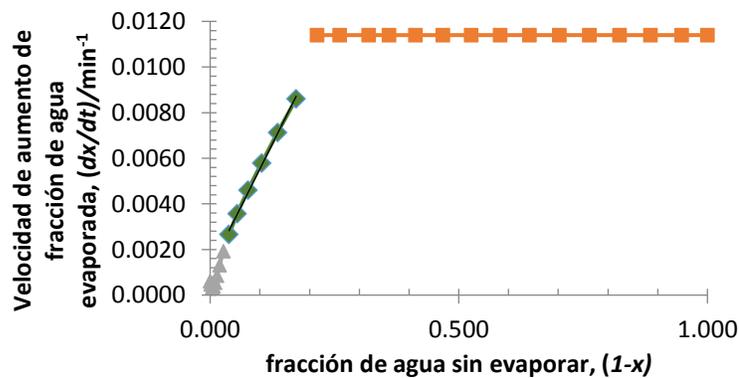


Figura B. 15. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = 0.0436 \cdot t + 0.0012 ; R^2 = 0.9975 \quad (\text{B. 21})$$

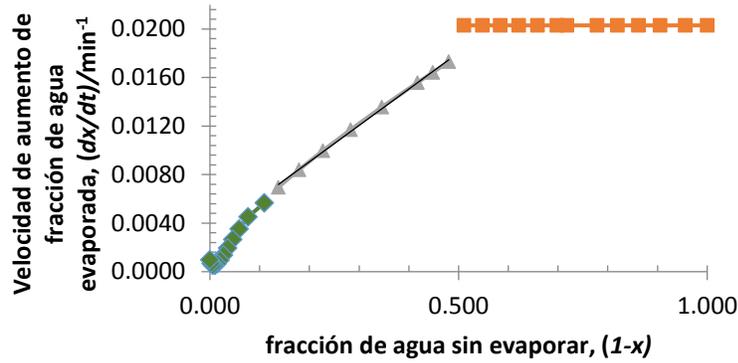


Figura B. 16. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la segunda corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = 0.0300 \cdot t + 0.0031 ; R^2 = 0.9987 \quad (\text{B. 22})$$

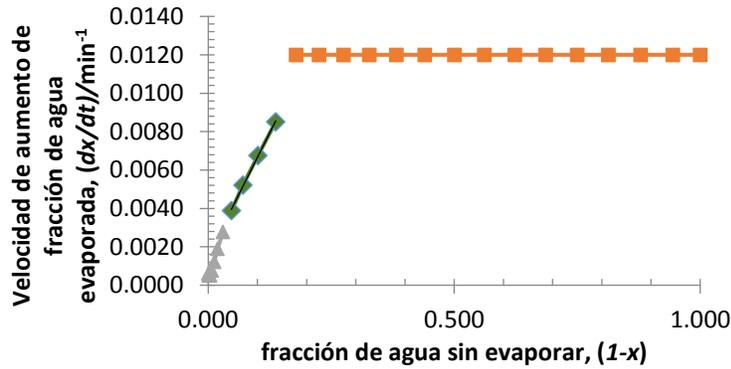


Figura B. 17. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla con sarcotesta

$$m = 0.0511 \cdot t + 0.0015 ; R^2 = 0.9990 \quad (\text{B. 23})$$

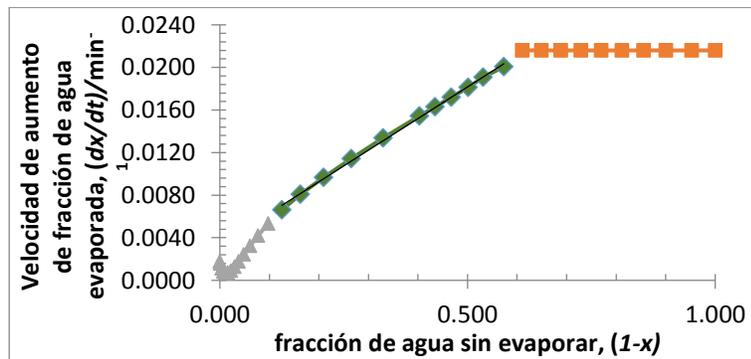


Figura B. 18. Velocidad de aumento de fracción de agua evaporada contra fracción de agua sin evaporar para la tercera corrida de secado a 70 °C, semilla sin sarcotesta

$$m = 0.0297 \cdot t + 0.0033 ; R^2 = 0.9980 \quad (\text{B. 24})$$

Cuadro B. 7. Datos para la curva de comportamiento energético para la primera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

Masa de agua evaporada $M_{(1)}/g$	Porcentaje de humedad residual ⁽¹⁾ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(1)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(1)}$ (MJ/kg)	Masa de agua evaporada $M_{(2)}/g$	Porcentaje de humedad residual ⁽²⁾ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(2)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(2)}$ (MJ/kg)
8.0550	80.13	0.0030	0.0000	7.3050	72.59	0.0029	0.0000
	75.34		0.0391		69.32		0.0151
	69.73		0.0781		65.43		0.0302
	64.23		0.1172		62.11		0.0453
	58.51		0.1563		58.99		0.0604
	53.55		0.1953		55.96		0.0756
	48.41		0.2344		52.98		0.0907
	43.35		0.2735		50.07		0.1058
	38.41		0.3126		47.26		0.1209
	33.65		0.3516		44.48		0.1360
	29.02		0.3907		41.79		0.1511
	24.67		0.4298		39.12		0.1662
	20.54		0.4688		36.57		0.1813
	16.72		0.5079		34.12		0.1964
	13.21		0.5470		31.68		0.2115
	10.05		0.5860		29.53		0.2267
	7.26		0.6251		24.36		0.2644
	4.95		0.6642		19.79		0.3022
	3.20		0.7032		15.86		0.3400
	2.04		0.7423		12.50		0.3778
	1.34		0.7814		9.63		0.4155
	0.93		0.8205		7.24		0.4533
	0.62		0.8595		5.47		0.4911
	0.38		0.8986		4.13		0.5289
	0.17		0.9377		3.18		0.5666
	0.00		0.9767		2.47		0.6044
					1.91		0.6422
					1.43		0.6800
					1.03		0.7177
					0.70		0.7555
					0.43		0.7933
					0.20		0.8311
					0.02		0.8688
					0.00		0.8764

Cuadro B. 8. Datos para la curva de comportamiento energético para la segunda corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

Masa de agua evaporada $M_{(1)}/g$	Porcentaje de humedad residual ₍₁₎ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(1)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(1)}$ MJ/kg)	Masa de agua evaporada $M_{(2)}/g$	Porcentaje de humedad residual ₍₂₎ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(2)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(2)}$ (MJ/kg)
8.1810	81.65	0.0030	0.0000	7.1470	71.33	0.0029	0.0000
	77.43		0.0394		68.20		0.0151
	72.29		0.0788		64.61		0.0301
	67.23		0.1182		61.48		0.0452
	62.26		0.1575		58.45		0.0602
	57.32		0.1969		55.52		0.0753
	52.44		0.2363		51.22		0.0979
	47.62		0.2757		49.80		0.1054
	42.86		0.3151		47.02		0.1205
	38.22		0.3545		44.29		0.1356
	33.71		0.3939		41.65		0.1506
	29.34		0.4333		39.11		0.1657
	26.01		0.4726		36.47		0.1807
	21.27		0.5120		34.26		0.1958
	17.55		0.5514		31.98		0.2109
	14.11		0.5908		29.76		0.2259
	11.07		0.6302		24.66		0.2636
	8.43		0.6696		20.18		0.3012
	6.23		0.7090		16.23		0.3389
	4.45		0.7484		12.77		0.3765
	3.09		0.7877		9.82		0.4142
	2.17		0.8271		7.83		0.4518
	1.55		0.8665		5.47		0.4895
	1.14		0.9059		4.20		0.5271
	0.83		0.9453		3.29		0.5648
	0.56		0.9847		2.58		0.6024
	0.33		1.0241		1.98		0.6401
	0.11		1.0635		1.48		0.6778
	0.00		1.0871		1.06		0.7154
					0.71		0.7531
					0.42		0.7907
					0.19		0.8284
					0.00		0.8660

Cuadro B. 9. Datos para la curva de comportamiento energético para la tercera corrida de secado a 70 °C de semilla de *Carica papaya* L. híbrido Pococí, en su forma completa (1) y sin sarcotesta (2)

Masa de agua evaporada $M_{(1)}/g$	Porcentaje de humedad residual ⁽¹⁾ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(1)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(1)}$ MJ/kg	Masa de agua evaporada $M_{(2)}/g$	Porcentaje de humedad residual ⁽²⁾ /0.01	Fracción energética de secado $f_{s(2)}$	Energía eléctrica por materia, $E_{(2)}$ (MJ/kg)
8.0140	79.92	0.0030	0.0000	7.2300	72.26	0.0029	0.0000
	75.47		0.0391		68.86		0.0151
	70.26		0.0782		65.09		0.0303
	65.06		0.1173		61.82		0.0454
	59.96		0.1564		58.69		0.0606
	54.87		0.1955		55.66		0.0757
	49.82		0.2346		52.68		0.0909
	44.85		0.2737		49.77		0.1060
	39.98		0.3128		46.90		0.1212
	35.21		0.3519		44.13		0.1363
	30.59		0.3910		41.42		0.1514
	26.19		0.4301		38.43		0.1666
	21.98		0.4692		36.24		0.1817
	18.01		0.5083		33.77		0.1969
	14.31		0.5474		31.40		0.2120
	10.97		0.5865		29.12		0.2272
	8.07		0.6256		23.84		0.2650
	5.65		0.6647		19.17		0.3029
	3.77		0.7038		15.12		0.3407
	2.41		0.7429		11.75		0.3786
	1.54		0.7820		9.07		0.4165
	0.98		0.8211		7.05		0.4543
	0.61		0.8602		5.57		0.4922
	0.34		0.8993		4.41		0.5300
	0.13		0.9384		3.48		0.5679
	0.00		0.9619		2.73		0.6058
					2.13		0.6436
					1.62		0.6815
					1.17		0.7193
					0.80		0.7572
					0.50		0.7951
					0.26		0.8329
					0.06		0.8708
					0.00		0.8859

Cuadro B. 10. Humedades promedio de las semillas utilizadas en diferentes pruebas

Semillas	Promedio y desviación estándar
Utilizadas en la cinética de extracción y determinación de rendimientos de aceites con diferentes disolventes	6.4554 ± 0.1330
Utilizadas en las corridas del DCCR	7.6864 ± 0.0109
Utilizadas en la comprobación del MSR por DCCR	5.3541 ± 0.1542

Cuadro B. 11. Rendimiento experimental y regresión utilizando Polymath para la curva cinética de extracción

tiempo/min	Concentración/ (g/L)	Rendimiento de aceite extraído en el tiempo t, Y/ (g aceite/100 g semilla)	Regresión del rendimiento de aceite extraído en el tiempo t, Y/ (g aceite/100 g semilla)
0	0.0000	0.0000	0.0000
6	35.8667	19.5118	17.3059
11	36.7667	20.0014	22.3006
15	43.3667	23.5919	23.9785
20	42.8000	23.2836	24.8832
31	46.4667	25.2783	25.3836
40	42.7333	23.2473	25.4416
50	48.6333	26.4570	25.4525
60	48.8000	26.5477	25.4541
70	47.4667	25.8223	25.4544
80	47.2667	25.7135	25.4544
90	49.1333	26.7290	25.4544
101	47.2667	25.7135	25.4544
110	47.0333	25.5866	25.4544
120	47.4333	25.8042	25.4544

Cuadro B. 12. Concentración y rendimiento experimental de cada una de las corridas del DCCR

Corrida	Concentración/ (g/L)	Rendimiento Y, (g aceite/100 g semilla)	Corrida	Concentración/ (g/L)	Rendimiento Y, (g aceite/100 g semilla)
1. muestra 1	62.9667	27.5534	8. muestra 1	50.3000	28.7901
1. muestra 2	62.9000	27.5242	8. muestra 2	49.9333	28.5802
1. muestra 3	63.0333	27.5826	8. muestra 3	49.5333	28.3512
2. muestra 1	61.9667	27.1202	9. muestra 1	48.3000	27.6320
2. muestra 2	63.5000	27.7913	9. muestra 2	49.1999	28.1469
2. muestra 3	65.0333	28.4624	9. muestra 3	50.1000	28.6618
3. muestra 1	39.7167	28.0638	10. muestra 1	48.7000	27.9142
3. muestra 2	39.4000	27.8400	10. muestra 2	48.8000	27.9715
3. muestra 3	40.0333	28.2875	10. muestra 3	48.4000	27.7422

Cuadro B.12 (continuación) Concentración y rendimiento experimental de cada una de las corridas del DCCR

Corrida	Concentración/ (g/L)	Rendimiento Y, (g aceite/100 g semilla)	Corrida	Concentración/ (g/L)	Rendi- miento Y, (g aceite/100 g semilla)
4. muestra 1	40.4333	28.6083	11. muestra 1	48.4667	27.7565
4. muestra 2	40.9000	28.9385	11. muestra 2	49.7667	28.5010
4. muestra 3	41.1000	29.0800	11. muestra 3	49.6000	28.4056
5. muestra 1	68.7667	26.3195	12. muestra 1	50.1667	28.6806
5. muestra 2	70.8333	27.1105	12. muestra 2	49.6667	28.3948
5. muestra 3	71.3333	27.3018	12. muestra 3	49.5333	28.3185
6. muestra 1	36.6333	28.0337	13. muestra 1	47.7000	27.3276
6. muestra 2	37.7000	28.8500	13. muestra 2	49.9000	28.5880
6. muestra 3	37.5333	28.7225	13. muestra 3	49.1000	28.1297
7. muestra 1	47.6000	27.2378			
7. muestra 2	47.9000	27.4095			
7. muestra 3	48.1000	27.5240			

Cuadro B. 13. Concentración y rendimiento experimental de la comprobación del modelo

Corrida final	Concentración/ (g/L)	Rendimiento Y, (g aceite/100 g semilla)
muestra 1	39.9667	30.5098
muestra 2	40.3000	30.7643
muestra 3	37.9000	28.9322

Cuadro B. 14. Datos del préstamo y amortización del financiamiento del proyecto a 10 años

Datos del préstamo			
Principal /USD			379 559.80
Tasa de interés			9.75%
Cuota mensual /USD			4 963.51
Amortización del préstamo a 10 años			
Año	Saldo /USD	Amortización /USD	Interés /USD
0	379 560	---	---
1	355 969	23 591	35 971
2	329 972	25 997	33 566
3	301 325	28 648	30 915
4	269 756	31 569	27 993
5	234 968	34 788	24 774
6	196 632	38 336	21 226
7	154 386	42 245	17 317
8	107 833	46 553	13 009
9	56 532	51 301	8 261
10	0	56 532	3 030

Cuadro B. 15. Flujo de caja para el proyecto, escenario A, valores en USD

Rubro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción (L)	3 877.4	3 877.4	3 877.4	3 877.4	3 877.4
Precio de venta (USD/ml)	0.138	0.145	0.152	0.160	0.168
Ingresos (+)					
Ingresos por ventas	535 086.9	561 841.3	589 933.3	619 430.0	650 401.5
Total de Ingresos	535 086.9	561 841.3	589 933.3	619 430.0	650 401.5
Egresos (-)					
Costos de fabricación					
Costos directos de producción (OpCD)					
Materia prima	144 314.7	151 530.4	159 106.9	167 062.3	175 415.4
Mano de obra (MO)	25 060.2	26 313.2	27 628.8	29 010.3	30 460.8
Servicios	4 169.7	4 378.2	4 597.1	4 826.9	5 068.3
Mantenimiento y reparaciones (5 % del ICF)	18 978.0	19 926.9	20 923.2	21 969.4	23 067.9
Gastos de laboratorio (10 % MO)	2 506.0	2 631.3	2 762.9	2 901.0	3 046.1
Costo directo de producción total	195 028.5	204 779.9	215 018.9	225 769.9	237 058.4
Costos fijos (OpCF)					
Impuestos municipales	75.9	79.7	83.6	87.8	92.2
Patente de funcionamiento	642.1	674.2	707.9	743.3	780.5
Depreciación	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0
Intereses préstamo bancario	35 971.3	33 565.6	30 914.6	27 993.2	24 773.9
Costo fijo de producción total	42 758.3	40 388.5	37 775.1	34 893.3	31 715.5
Costos adicionales (CA)					
Imprevistos	8 943.8	9 245.6	9 558.4	9 882.4	10 217.8
Costo adicional total	8 943.8	9 245.6	9 558.4	9 882.4	10 217.8
Costos generales de la planta (CGP)	17 887.6	18 491.1	19 116.8	19 764.9	20 435.5
Costo general de planta total	17 887.6	18 491.1	19 116.8	19 764.9	20 435.5
Costo de fabricación total (CFT)	264 618.2	272 905.1	281 469.3	290 310.5	299 427.2
Gastos Generales (GG)					
Gastos administrativos	39 470.9	41 444.4	43 516.6	45 692.5	47 977.1
Gastos de distribución y marketing	35 775.2	36 982.3	38 233.6	39 529.8	40 871.1
Gasto de investigación y desarrollo	17 887.6	18 491.1	19 116.8	19 764.9	20 435.5
Gasto general total	93 133.6	96 917.8	100 867.1	104 987.1	109 283.7
Costo total del producto (CTP)	357 751.8	369 823.0	382 336.3	395 297.6	408 710.9
Ganancia Bruta	177 335.1	192 018.3	207 597.0	224 132.4	241 690.6
Impuestos (30%)	53 200.5	57 605.5	62 279.1	67 239.7	72 507.2
Ganancia Neta	124 134.6	134 412.8	145 317.9	156 892.7	169 183.4
Depreciación	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0
Amortización del Préstamo	23 590.8	25 996.5	28 647.6	31 569.0	34 788.3
FLUJO CAJA NETO	106 612.8	114 485.3	122 739.3	131 392.7	140 464.1
FLUJO DE CAJA ACUMULADO (Miles de USD)	-272.9	-158.5	-35.7	95.7	236.1

Cuadro B. 15 (continuación) Flujo de caja para el proyecto, escenario A, valores en USD

Rubro	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Producción (L)	3 877.4	3 877.4	3 877.4	3 877.4	3 877.4
Precio de venta (USD/ml)	0.176	0.185	0.194	0.204	0.214
Ingresos (+)					
Ingresos por ventas	682 921.6	717 067.7	752 921.1	790 567.1	830 095.5
<i>Total de Ingresos</i>	682 921.6	717 067.7	752 921.1	790 567.1	830 095.5
Egresos (-)					
Costos de fabricación					
Costos directos de producción (OpCD)					
Materia prima	184 186.1	193 395.4	203 065.2	213 218.5	223 879.4
Mano de obra (MO)	31 983.8	33 583.0	35 262.2	37 025.3	38 876.5
Servicios	5 321.7	5 587.8	5 867.2	6 160.5	6 468.6
Mantenimiento y reparaciones (5 % del ICF)	24 221.3	25 432.3	26 703.9	28 039.1	29 441.1
Gastos de laboratorio (10 % MO)	3 198.4	3 358.3	3 526.2	3 702.5	3 887.7
<i>Costo directo de producción total</i>	248 911.3	261 356.8	274 424.7	288 145.9	302 553.2
Costos fijos (OpCF)					
Impuestos municipales	96.8	101.7	106.7	112.1	117.7
Patente de funcionamiento	819.5	860.5	903.5	948.7	996.1
Depreciación	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0
Intereses préstamo bancario	21 226.2	17 316.8	13 008.8	8 261.4	3 029.9
<i>Costo fijo de producción total</i>	28 211.6	24 348.0	20 088.0	15 391.2	10 212.7
Costos adicionales (CA)					
Imprevistos	10 564.5	10 922.6	11 292.0	11 672.7	12 064.5
<i>Costo adicional total</i>	10 564.5	10 922.6	11 292.0	11 672.7	12 064.5
Costos generales de la planta (CGP)					
<i>Costo general de planta total</i>	21 129.0	21 845.1	22 584.0	23 345.4	24 128.9
<i>Costo de fabricación total (CFT)</i>	308 816.3	318 472.5	328 388.7	338 555.2	348 959.3
Gastos Generales (GG)					
Gastos administrativos	50 375.9	52 894.7	55 539.5	58 316.4	61 232.3
Gastos de distribución y marketing	42 257.9	43 690.3	45 168.0	46 690.8	48 257.8
Gasto de investigación y desarrollo	21 129.0	21 845.1	22 584.0	23 345.4	24 128.9
<i>Gasto general total</i>	113 762.8	118 430.1	123 291.5	128 352.6	133 619.0
<i>Costo total del producto (CTP)</i>	422 579.1	436 902.7	451 680.2	466 907.8	482 578.3
<i>Ganancia Bruta</i>	260 342.5	280 165.0	301 240.8	323 659.3	347 517.2
Impuestos (30%)	78 102.8	84 049.5	90 372.2	97 097.8	104 255.2
<i>Ganancia Neta</i>	182 239.8	196 115.5	210 868.6	226 561.5	243 262.0
Depreciación	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0	6 069.0
Amortización del Préstamo	38 335.9	42 245.3	46 553.4	51 300.7	56 532.3
FLUJO CAJA NETO	149 972.9	159 939.2	170 384.2	181 329.8	192 798.8
FLUJO DE CAJA ACUMULADO					
(Miles de USD)	386.1	546.0	716.4	897.8	1 090.6

III. APÉNDICE C: MUESTRA DE CÁLCULO

C. 1. Cálculo de fracción de agua evaporada

Se utiliza la ecuación (2. 6)

$$x = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_\infty} \quad (2. 6)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 1, columna 2, filas 1, 5 y 26:

$$x = \frac{10.052 - 7.878}{10.052 - 1.997} = 0.270$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, columna 2, fila 5. De la misma manera se calculan los datos de las columnas 2 y 5 del Cuadro B. 1, Cuadro B. 2 y Cuadro B. 3.

C. 2. Cálculo de fracción de agua sin evaporar

La fracción de agua sin evaporar se calcula restando la fracción de agua evaporada a la unidad:

$$1 - x \quad (C. 1)$$

Tomando los datos del Cuadro B. 1, columna 2, fila 5:

$$1 - x = 1 - 0.270 = 0.730$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 1, columna 3, fila 5. De la misma manera se calculan los datos de las columnas 3 y 6 del Cuadro B. 1, Cuadro B. 2 y Cuadro B. 3.

C. 3. Cálculo del área fluxional específica promedio

Se utiliza la ecuación:

$$A_f = -p \frac{1000}{60} \frac{1}{PM_{agua}} \frac{1}{r_{e,agua}} \frac{1000}{m_\infty} \quad (C. 2)$$

donde A_f = área fluxional específica, $m^2/ (kg \text{ seco})^1$

p = pendiente de la ecuación lineal

PM_{agua} = peso molecular del agua, $mg/mm\text{ol}$

$r_{e,agua}$ = rapidez de evaporación superficial del agua, $mmol/s \cdot m^2$

m_∞ = masa del sólido al finalizar el secado, kg

Para la primera corrida de secado de semilla sin sarcotesta, se toman los datos de la pendiente de la sección lineal de la Figura B. 2, ecuación (B. 2); el Cuadro A. 1, columna 4, fila 34; y sabiendo que

$$PM_{agua} = 18.05 \text{ mg/mmol (Lide, 2007)}$$

$r_{e,agua} = 26.03 \text{ mmol/(s} \cdot \text{m}^2)$ a 70 °C y 87 kPa (condiciones de secado en el laboratorio de Biomásas de la Escuela de Química) (Mata, 2017)

$$A_f = -0.15943 \frac{1000}{60} \frac{1}{18} \frac{1}{26.03} \frac{1000}{2.759} = 2.06 \frac{\text{m}^2}{\text{kg seco}}$$

De la misma manera se calcula el área fluxional específica para las corridas dos y tres de secado de semilla de papaya sin sarcotesta, dando 1.80 m²/(kg seco) y 2.00 m²/(kg seco) respectivamente. El promedio de estos tres datos es 1.95 m²/(kg seco), dato que se tabula en la columna 2, fila 2 del Cuadro 4. 2 De manera similar se calcula el dato de la columna 1, fila 2 del mismo cuadro, para la semilla con sarcotesta.

C. 4. Cálculo de velocidad de aumento de fracción de agua evaporada

Se deriva las ecuaciones que definen el comportamiento de la fracción de agua evaporada con respecto al tiempo

$$\frac{dx}{dt} (f(x)) \quad (\text{C. 3})$$

Donde $f(x)$ es una función, lineal o polinómica, de la dependencia de x con respecto a t

Tomando los datos de la Figura B. 7, ecuación (B. 7) y ecuación (B. 8)

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} (0.0124 \cdot t + 0.0132) &= 0.0124 \\ \frac{dx}{dt} (1.36 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 4.80 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 5.67 \cdot 10^{-2} \cdot t - 1.25) & \\ &= (4.08 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 9.60 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0.0567) \frac{1}{\text{min}} \end{aligned}$$

Se evalúa la variable tiempo en cada ecuación, cuyos resultados se tabulan las columnas 2 y 4 del Cuadro B. 4, y de igual manera se procede para las columnas 2 y 4 del Cuadro B. 5 y Cuadro B. 6.

C. 5. Cálculo de coeficiente de difusión promedio

Se utiliza la ecuación:

$$k = \frac{p}{A_f} \frac{m_\infty}{1000} \quad (\text{C. 4})$$

donde k = coeficiente de difusión, 1/(s m²)

Se toman los datos de la pendiente de la sección lineal de la Figura B. 14 (sección no constante), ecuación (B. 20), las áreas fluxionales específicas como se calcularon en la sección C.3, y la masa del sólido al finalizar el secado se toma para el caso presente del Cuadro A. 1, columna 4, fila 34:

$$k = \frac{0.0274 \cdot 2.759}{2.06 \cdot 1000} = 4.83 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

De la misma manera se calcula el coeficiente de difusión para las corridas dos y tres de secado de semilla de papaya sin sarcotesta, dando $5.82 (\text{s m}^2)^{-1}$ y $5.36 (\text{s m}^2)^{-1}$ respectivamente. El promedio de estos tres datos es $5.34 (\text{s m}^2)^{-1}$, dato que se tabula en la columna 2, fila 3 del Cuadro 4. 2. De manera similar se calcula el dato de la columna 1, fila 3 del mismo cuadro, para la semilla con sarcotesta.

C. 6. Cálculo de masa de agua evaporada

La masa de agua evaporada se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$M = m_0 - m_\infty \quad (\text{C. 5})$$

Donde M = masa de agua evaporada, g

Tomando los datos del Cuadro A. 1, columna 2, filas 1 y 26:

$$M = 10.052 - 1.997 = 8.0550 \text{ g}$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 7, columna 1, fila única. De igual manera se calcula el valor en la columna 5, y aquellos las columnas 1 y 5 del Cuadro B. 8 y el Cuadro B. 9.

C. 7. Cálculo de porcentaje de humedad residual y total

El porcentaje humedad residual se calcula con base en la ecuación (C. 6):

$$\text{Humedad residual} = \frac{m_t - m_\infty}{m_0} \quad (\text{C. 6})$$

Tomando los datos del Cuadro A. 1, columna 2, filas 1, 2 (dato que corresponde a la masa en $t = 5 \text{ min}$) y 26:

$$\text{Humedad residual} = \frac{9.570 - 1.997}{10.052} = 75.34$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 7, columna 2, fila 2. De igual manera se calculan el resto de datos de dicha columna, así como la columna 6, y las columnas 2 y 6 del Cuadro B. 8 y el Cuadro B. 9.

En el caso de la humedad total, esta corresponde al valor obtenido del cálculo anterior, cuando se utiliza la masa en $t = 0$ min, de la siguiente manera:

$$\text{Humedad total} = \frac{10.052 - 1.997}{10.052} = 80.13$$

Dicho valor se promedia con los valores de la primera fila y segunda columna del Cuadro B. 8 y Cuadro B. 9, para dar el valor de porcentaje de humedad total promedio, que se tabula en el Cuadro 4. 2, columna 1, fila 4, y asimismo se obtiene su análogo para la semilla sin sarcotesta en la columna 2.

$$\text{Humedad total} = \frac{80.13 + 81.66 + 79.92}{3} = 80.57$$

C. 8. Cálculo de fracción eléctrica consumida debida al secado

El cálculo se realiza utilizando la ecuación (4. 2):

$$f_S = 0.001091 + (0.000352) \cdot M - (0.00001466) \cdot (M^2) \quad (4. 2)$$

Tomando los datos del Cuadro B. 7, columna 1, fila única

$$f_S = 0.001091 + 0.000352 \cdot 8.0550 - 0.00001466 \cdot 8.0550^2 = 0.0030$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 7, columna 3, fila única. De igual manera se calcula el valor de la columna 7, y aquellos en las columnas 3 y 7 del Cuadro B. 8 y el Cuadro B. 9.

C. 9. Cálculo de energía eléctrica consumida debida al secado

El cálculo se realiza utilizando la ecuación (4. 3):

$$E_e = \frac{f_S \cdot i \cdot V \cdot t \cdot 10^{-6}}{m_0} \quad (4.3)$$

Tomando los datos del Cuadro B. 7, columna 3, fila única; y Cuadro A. 1, columna 1 fila 2 así como el dato de la columna 2, fila 1:

$$E_e = \frac{0.0030 \cdot 110 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 10^{-6}}{10.052/1000} = 0.0391 \text{ MJ/kg}$$

Dicho resultado se encuentra tabulado en el Cuadro B. 7, columna 4, fila 2. De igual manera se calculan el resto de datos de dicha columna, así como la columna 8, y las columnas 4 y 8 del Cuadro B. 8 y el Cuadro B. 9. Los datos de los valores en el tiempo crítico de secado y del valor en el tiempo final se tabulan nuevamente en las filas 5 y 6 del Cuadro 4. 2.

C. 10. Cálculo de promedio y desviación estándar de los datos (contenidos de aceite, contenidos de humedad, masa promedio, resultados de las pruebas de caracterización del aceite)

Para todas las pruebas realizadas se realizaron tres réplicas. El promedio y desviación estándar de las réplicas se calcularon con las funciones PROMEDIO y DESVESTA del programa Microsoft Office Excel. Tomando los datos del Cuadro A. 4, Cuadro A. 10 y Cuadro A. 12, los resultados de dichos cálculos realizados por el programa se pueden ver en el Cuadro B. 10. Tomando los datos del Cuadro A. 5 y Cuadro A. 6, se muestran los resultados en el Cuadro 4. 3. Tomando los datos del Cuadro A. 15, Cuadro A. 16, Cuadro A. 17, Cuadro A. 18, Cuadro A. 19, Cuadro A. 20, Cuadro A. 21, Cuadro A. 22, Cuadro A. 23 y Cuadro A. 24 se obtienen los resultados del Cuadro 4. 7. Además con los valores del Cuadro B. 12 se obtienen los resultados del Cuadro 4. 4.

C. 11. Cálculo de masa seca de las semillas una vez determinada su humedad

El cálculo se realiza con la ecuación (C. 7):

$$m_{\text{semilla seca}} = m_{\text{semilla húmeda}} \frac{100 - \text{humedad} (\%)}{100} \quad (\text{C. 7})$$

Tomando los datos del Cuadro A. 5, columna 2 fila 1 y Cuadro B. 10 columna 2 fila 1:

$$m_{\text{semilla seca}} = 0.6164 \frac{100 - 6.4564}{100} = 0.5948 \text{ g}$$

Valor que se encuentra tabulado en el Cuadro A. 5, columna 3 fila 1. De igual manera se calculan los datos en el resto de la columna 3 de dicho cuadro, así como la columna 3 del Cuadro A. 6 y columna 4 del Cuadro A. 9, utilizando la humedad y masa húmeda correspondiente en cada caso.

C. 12. Cálculo del contenido de aceite (simple)

El cálculo se realiza con la ecuación (C. 8):

$$\text{Contenido de aceite} = \frac{m_{\text{recipiente+aceite}} - m_{\text{recipiente vacío}}}{m_{\text{semilla seca}}} 100 \quad (\text{C. 8})$$

Tomando los datos del Cuadro A. 5, fila 1, columna 3, 4 y 5, se obtiene el resultado de la columna 6 de la manera:

$$\frac{46.1655 - 46.0114}{0.5948} 100 = 25.9079 \frac{\text{g aceite}}{100 \text{ g de semilla}}$$

Así también se calculan el resto de los datos de la columna 6 de dicho cuadro y del Cuadro A. 6

C. 13. Cálculo del contenido de aceite (partiendo de la concentración de aceite en el extracto)

El resultado se obtiene por la ecuación (4. 4)

$$Y = \frac{C_L \cdot V_{sol}}{m_s} \cdot 100 \quad (4.4)$$

Utilizando los datos del Cuadro B. 11, columna 2, fila 2, y los datos del Cuadro A. 8 columna 3, fila 3, y columna 4 fila 2:

$$\frac{35.8667 \cdot 1.6297}{299.5734} \cdot 100 = 17.3059 \frac{\text{g aceite}}{100 \text{ g de semilla}}$$

Dato tabulado en la fila 2 columna 3 del Cuadro B. 11. De igual manera se calculan el resto de valores de dicha columna y los de las columnas 3 y 6 del Cuadro B. 12 y columna 2 del Cuadro B. 13, utilizando además para este último los datos del Cuadro A. 9 y Cuadro A. 14 homólogos a los de Cuadro A. 8.

C. 14. Cálculo de la concentración de aceite en el extracto

El cálculo se realiza con la ecuación (C. 9):

$$\text{Concentración de aceite} = \frac{m_{\text{recipiente+aceite}} - m_{\text{recipiente vacío}}}{V_{\text{alícuota}}} 100 \quad (C. 9)$$

Utilizando los valores del Cuadro A. 7 fila 1, columnas 2 y 3; y sabiendo que el volumen de alícuota de extracto en todos los casos fue de 3 mL, se calcula el dato tabulado en el Cuadro B. 11, columna 2, fila 2.

$$\frac{11.8690 - 11.7614}{0.003} 100 = 35.8667 \text{ g/L}$$

De igual manera se realiza con los datos en el Cuadro B. 12 y Cuadro B. 13, utilizando los valores en Cuadro A. 7 y Cuadro A. 11.

C. 15. Construcción de la curva cinética de extracción

Se realiza una regresión en el software Polymath de los datos en el Cuadro B. 11, columnas 1 y 3. Con esto se genera una ecuación de regresión, la cual se observa en el resultado de la ecuación (4. 5) y con la cual a partir de los datos de la columna 1 del mismo cuadro, se

obtiene la columna 4. Las columnas 3 y 4 se utilizan para graficar los datos como se observa en la Figura 4. 3.

C. 16. Construcción del modelo de segundo orden para la superficie de respuesta y determinación de condiciones óptimas de extracción (dentro del ámbito de estudio), así como comprobación estadística del mismo

Se ingresaron los datos obtenidos del Cuadro 4. 4 en el software STATISTICA, en el cual se obtuvo el modelo de segundo orden dado por la ecuación (4. 7), así como también la Figura 4. 4, Figura 4. 5, Figura 4. 6, Cuadro 4. 5 y Cuadro 4. 6.

C. 17. Corrección del índice de refracción

Se utiliza la ecuación (4. 8)

$$n_D^T = n_D^{ref} + 0.000385(T' - T) \quad (4. 8)$$

Utilizando los datos del Cuadro A. 16, columnas 2 y 3, fila 1

$$n_D^T = 1.4665 + 0.000385 \cdot 25.3 - 40 = 1.4608$$

De igual manera se calculan los datos para el resto de la columna 4.

C. 18. Cálculo de la densidad

Se utiliza la ecuación (C. 10)

$$\rho = m/V \quad (C. 10)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 18, fila 1 columna 4, y con $V = 10$ mL

$$\rho = \frac{9.0488}{10} = 0.9049 \text{ g/cm}^3$$

De igual manera se calculan el resto de los datos de la columna 5

C. 19. Cálculo de AV

Se utiliza la ecuación (C. 11)

$$AV = FFA \cdot 1.99 \quad (C. 11)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 20, fila 1 columna 4,

$$AV = 0.38 \cdot 1.99 = 0.76$$

Cuyo resultado se tabula en el Cuadro A. 21, columna 2, fila 1. De la misma manera se calculan los datos restantes de dicho cuadro.

C. 20. Cálculo de PV

Se utiliza la ecuación (C. 12)

$$PV = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \cdot \check{M}_{Na_2S_2O_3}}{m_{muestra}} \quad (C. 12)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 22 fila 1 columnas 2 y 3, y con la molaridad del reactivo (\check{M}) igual a 0.01,

$$\frac{0.17 \cdot 0.01}{15.0291} = 0.1137$$

Cuyo resultado se tabula en el Cuadro A. 22, columna 4, fila 1. De la misma manera se calculan los datos restantes de dicho cuadro.

C. 21. Cálculo de UM

Se utiliza la ecuación (C. 13)

$$UM = \frac{m_{balón+residuo\ crudo} - m_{balón} - m_{ácidos\ grasos\ libres}}{m_{muestra}} \cdot 100 \quad (C. 13)$$

$$m_{ácidos\ grasos\ libres} = 0.0282 \cdot V_{NaOH\ corregido\ por\ blanco} \quad (C. 14)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 23 fila 1 columnas 2, 3, 4, 5 y 6

$$m_{ácidos\ grasos\ libres} = 0.0282 \cdot (0.66 - 0.04) = 0.0175 \text{ g ácido oléico libre}$$

$$UM = \frac{104.4042 - 104.3533 - 0.0175}{2.5052} \cdot 100 = 1.3339 \text{ g UM/100 g aceite}$$

Cuyo resultado se tabula en la columna 7, fila 1. De la misma manera se calculan los datos restantes de dicho cuadro.

C. 22. Cálculo de SV

Se utiliza la ecuación (C. 15)

$$SV = 28.05 \frac{V_{HCl\ 0.5\ M\ requeridos\ por\ el\ blanco} - V_{HCl\ 0.5\ M\ requeridos\ por\ la\ muestra}}{m_{muestra}} \cdot 100 \quad (C. 15)$$

Tomando los datos del Cuadro A. 24 fila 1 columnas 2 y 3,

$$SV = 28.05 \frac{58.4 - 27.6}{15.0291} \cdot 100 = 171.5426$$

Cuyo resultado se tabula en la columna 4, fila 1. De la misma manera se calculan los datos restantes de dicho cuadro.

C. 23. Cálculo de la iluminación de la planta

El cálculo de las unidades de iluminación se realizó con las opciones de luces de la Sylvania. En su catálogo se encuentra el producto 600 Slim de 49 W, que es útil para las necesidades según la reglamentación de seguridad ocupacional (OSHA, 2018), en donde se requiere un valor de 100 lux para plantas tipo batch y 300 lux para el área de oficinas. De acuerdo con los espacios en el Cuadro 5. 9, se determina la cantidad de luminarias necesarias para cumplir con el parámetro y se agrega un 20 % extra para espacios no contemplados.

C. 24. Cálculo de la depreciación de los equipos

Para este rubro se siguió una depreciación lineal, con la fórmula:

$$D_A = \frac{EA - V_D}{V_U} = \frac{86\ 700 - 26\ 010}{10} = 6\ 069\ \text{USD/año}$$

Donde D_A es la depreciación anual del equipo.

EA es el costo total del equipo adquirido.

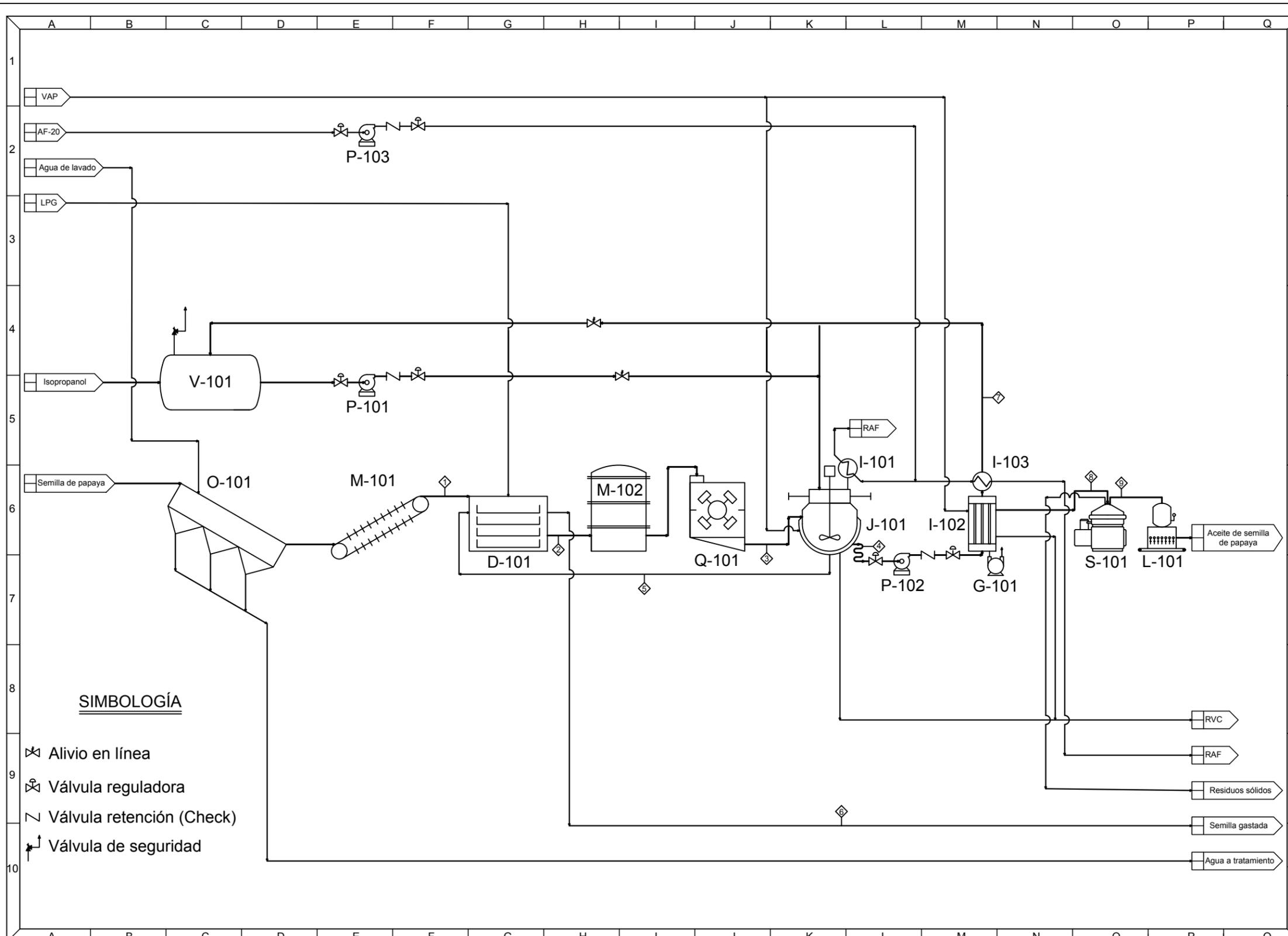
V_D es el valor de desecho, el cual es un 30 % del valor del equipo adquirido para este tipo de equipos

V_U es la vida útil de los equipos adquiridos, la cual es 10 años de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes.

C. 25. Cálculo de indicadores de la rentabilidad del proyecto, TIR y VAN

Estos indicadores se calcularon con las funciones TIR y VNA del programa Microsoft Office Excel, respectivamente. En el caso de la TIR se introducen todos los valores del flujo de caja neto, incluyendo el año 0, o inversión. Para el VAN, se utiliza una tasa del 10 %, usual en los proyectos de inversión, y se abarca el ámbito del flujo de caja del año 1 al 10. A este valor se le resta el valor de la inversión o año 0, para dar el VAN del proyecto.

ANEXOS



SIMBOLOGÍA

- ⊗ Alivio en línea
- ⊕ Válvula reguladora
- ∩ Válvula retención (Check)
- ↑ Válvula de seguridad

NOMENCLATURA			SELLOS DE APROBACIÓN
IDEM	DESCRIPCIÓN	ZONA	
D-101	Secador de bandas	G-6	
G-101	Bomba de vacío	N-7	
I-101	Condensador	L-6	
I-102	Evaporador	M-6	
I-103	Condensador	M-6	
J-101	Extractor agitado	K-6	
L-101	Llenadora de botellas	P-6	
M-101	Conveyor	E-6	
M-102	Silo almacenamiento intermedio de semillas	I-6	
O-101	Lavador de semillas	C-5	
P-101	Bomba Centrífuga	E-5	
P-102	Bomba Centrífuga	L-7	
P-103	Bomba Centrífuga	E-2	
Q-101	Molino de martillos	J-6	
S-101	Centrífuga	O-6	
V-101	Almacenamiento isopropanol	C-5	
AF-20	Agua enfriamiento a 20 °C		
LPG	Gas licuado de petróleo		
RAF	Retorno agua de enfriamiento a 20 °C		
RVC	Retorno de vapor condensado		
VAP	Vapor alta presión		

APROBACIÓN COMISIÓN REVISORA DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO:
TFG: Planta semi-industrial de extracción de aceite de semilla de papaya.

PROVINCIA: Heredia	CANTÓN: Sarapiquí	DISTRITO: Horquetas
-----------------------	----------------------	------------------------

Dibujó: Juan Diego Alptzar Ugaldé
Firma:

PROFESIONAL RESPONSABLE
Nombre:

Citas:

INFORMACIÓN REGISTRO PUBLICO
Propietario:
No. Catastro:

CONTENIDO:

Diagrama de flujo de proceso de una planta de extracción de aceite de semilla de papaya

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: 28/05/2018 LÁMINA No: DFP-01

CUADRO DE BALANCE

NOMBRE DEL COMPONENTE	① Semilla húmeda	② Semilla seca	③ Semilla molida	④ Miscela	⑤ Torta húmeda	⑥ Torta seca	⑦ IPA recuperado	⑧ Aceite impuro	⑨ Aceite puro
Temperatura, °C	24	70	24	50	50	70	24	24	24
Masa, kg/lote (o kg/h)	280 kg/h	143 kg/h	95.34	234.5	70	70	221.7	75.33	67.5
Presión, kPa	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3
No. lotes/semana	---	---	3	6	---	---	6	1	1

Anexo 2. Cotizaciones de equipos y otros

Cotización de un lavador de semillas



Zhengzhou Great Machinery Equipment Co., Ltd

Add: No.11.Changchun Road,High-tech Development Zone, Zhengzhou, Henan, China.

Tel: +86 371 60206811 Contact person: Lynette Chen Mobile: +86 15517127026

Seed processing line machines to Juandiego Alpar

种子生产一条线

GRT-QW-4 Bubble washing machine



Machine name	Bubble washing machine
Model	GRT-QW-4
Voltage	120V/240V (Can be customized)
Motor power	0.75Kw
Air pump power	1.5Kw
Total power	About 2.25Kw
Material	Food grade stainless steel
Capacity	About 300-400kg/h (Adjustable)
Dimension	4,000×1,000×1,350mm
Machine main parts	Sewage filter tank,water pump,spray system,draught fan
Water requirement	1.5-1.8t/batch
Price	5,600USD

Cotización de una banda transportadora**GRT-SC-3 Mesh belt conveyor**

Machine name	Mesh belt conveyor
Model	GRT-SC-3
Voltage	120V/240V (It can be customized)
Power	0.75Kw
Mesh size	2mm
Dimension	3,000×1,000×2,200mm
Price	2,300USD

Cotización de un secador de bandas

GRT-8x1.5-3 layers Hot Air Continuous Dryer



GRT-300,000 Calorie hot air stove



Machine name	Hot air continuous drying machine
Model	GRT-8x1.5
Voltage	120V/240V (It can be customized)
Blower power	0.45Kw,7 Pieces
Motor	2.2Kw,1 Piece
Blower of hot air stove	2.2Kw
Indced fan of hot air stove	1.5Kw
Removal moisture fan	0.45Kw,2Pieces
Heat source	LPG

LPG consumption	About 160kg/hour
Total air volume	59,000m ³ /h
Temperature range	RT-150°C(Adjustable)
Material insulation	Mineral rock wool
Thermal insulation layer thickness	50mm
The transmission system	Frequency control of motor speed
Mesh belt length	7,000mm
Mesh belt width	1,000mm
Total belt length	42,000mm
Operating speed belt	0-10m/min(Adjustable)
Belt type	stainless steel mesh
Mesh size belt	1mm,2mm or 3mm (Customized)
Mesh belt material	Food grade stainless steel
Control method	Electric control cabinet
Number of belt	3 layers
Driver	motor+ reducer + electromagnetic coupling
Hot air stove calorie	300,000
Hot air stove diameter	1,500mm
Hot air stove length	2,000mm
Seed initial moisture	About 81%
Seed final moisture	About 7%
Capacity	About 280kg/h
Weight	About 3T
Dimension	8,000×1,500×2,200mm
Machine material	Food grade stainless steel
Machine Price	23,900USD

Cotización de un molino de martillos

Hammer Mill GRT-PS-500



Machine name	Hammer mill
Model	GRT-CP-500
Hammer quantity	16pieces
Roated speed	3,500rpm
Capacity	About 150kg-180kg/hour
Filter mesh size	0.1,0.2mm
Weight	About 150kg
Voltage	120V/240V (It can be customized)
Crushing chamber	420mm
Motor power	11Kw
Material	SUS 304
Final material size	About 0.2mm
Machine parts	Include bag type dust collector
Dimension	500×700×2,600mm
Price (FOB)	3,000USD

Cotización de un extractor**Extracting machine GRT-TQ-1000**

Machine name	Extracting machine
Model	GRT-TQ-1000
Extracting machine volume	1,000L
Temperature	50-100° C
Stirring leaves type	6 leafed curved-blades,
Stirring leaves quantity	2sets
Motor speed of stirring speed	58r/min
Voltage	120V/240V (can be customized)
Motor consumption	2.2Kw
Steam consumption	150kg/hour
Discharge of solid hole diameter	12cm
Type of valve	Ball valve
Extracting time	About 0.5-3h
Diameter×height	1.2×2.5m
Extracting machine price	32,800USD

Cotización de un evaporador**Vacuum Evaporator GRT-ZN-300L**

Machine name	Vacuum evaporator
Model	GRT-ZN-300L
Vacuum evaportaoor volume	300L
Receiving tank capacity	76L
Interspace pressure	0.09Mpa
Vacuum degree	600-700mmHg
Heating area	1.1m ²
Condensation area	3.0m ²
Cooling area	0.6m ²
Heating area	7-8m ²
Steam consumption	450kg/hour
Solvent evaporation amount	About 350-400Kg
The water volume in the pipe in the condensor	50l/h
Recirculate water pump	3Kw
Vacuum pump power	5Kw
Water circulation volume	20T
Dimension	1,700×1,000×3,400mm
Vacuum evaporator price	1,950USD

Cotización de una centrífuga para purificar aceite

Centrifugal deoiler GRT-LY-100



Machine name	Centrifugal deoiler
Model	GRT-LY-100
Tank engine speed	600r/min
Power	1.5Kw
Tank size	Φ 600×400mm
Tank Kg	25Kg
Weiht	About 350Kg
Dimension	1200×770×950mm
Price	3,000USD

Cotización de un tanque de almacenamiento

GRT-CG-4 Storage tank



Machine name	Storage tank
Model	GRT-CG-4
The height of bottom cone	0.6m
Cylinder of diameter	1.5m
The height of cylinder	4m
Description of storage tank	There are a valve in the bottom,a feed hole in the top of the tank,a observable window in the middle of the tank.
Material	Food grade stainless steel
Price (FOB)	4,600USD

Cotización de bombas centrífugas

WENZHOU HAIYU STAINLESS STEEL EQUIPMENT FACTORY

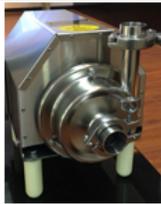
Add: NO.618 Hongrui Road, Shacheng Town Longwan District

Website: <http://www.hysse.com>

Email: sales02@hysse.com

Contact: Alisa Zhang

Quotation Sheet

To:	Juan Diego Alpizar					Sheet No.:	QS20181218	
						Date:	2018-12-18	
Item	Description	Picture	Size	Materia	Qty.	Unit Price	Amount	Remark
1	Centrifugal Pump, 220V 50HZ single phase, 1.128m³/h, lift=10m, 1.5kw, inlet/outlet=38/38 clamp end. Size: 530*275*360mm. Weight: 40 kg each pump		1.5Kw	SS304	3	\$300.00	\$900.00	
FOB WENZHOU, CHINA							\$900.00	
Price Term:	EXW WENZHOU, CHINA							
Price Validity:	VALID WITHIN 15 DAYS							
Payment Term:	30% T/T IN ADVANCE, THE BALANCE BEFORE DELIVERY							
Delivery Time:	40-45 WORKDAYS AFTER RECEIVING PAYMENT							

Cotización de una caldera


HENAN PROVINCE SITONG BOILER CO., LTD

ADD: SITONG BOILER INDUSTRIAL PARK, ZHOUKOU CITY, HENAN PROV. CHINA

Fax: 0086 37186664359

Tel: 0086 37168097667

 Email: jennychen@stongboiler.com

 Web: www.sitong-boiler.com

Date: 2018-12-18

To: Juan Diego Alpizar

 Email: jdiego12@gmail.com


Model		LSS0.5-0.4-Q	
Rated Steam Capacity	Kg/h	500	
Rated Steam Pressure	MPA	0.4	
Hydraulic Test Pressure	MPA	0.7	
Feed Water Temperature	°C	20	
Rated Steam Temperature	°C	150	
Boiler heating Area	m ²	15	
Design Efficiency	%	94	
Available Fuel	/	LPG	
Fuel Consumption	kg/h	37.55	
Electric Power Consumption	kw	0.5	
Consumption System	/	Atomization Pressure,	
Regulation Method	/	Automatic	
Approx. Dimension(LxWxH)	m	1.54*1.5*2.86	
Approx. Weight	ton	2.7	
Motor Voltage	/	380V, 50Hz Can be changed as requests	
1	Trade Term	Qty	Price
2	FOB(Qingdao)	1	7600 USD

Cotización de una máquina llenadora



Guangzhou Shifeng Electric Appliance CO.,Ltd.

Add: Dagang TOWN, Nansha District, Guangzhou, Guangdong, China
 TEL: 86-020-39272285 FAX: 86-020-39273995 E-mail: Sindyhuang.china@gmail.com
 Attn: Sindy Huang (Tel: +86 18312678975)

QUOTATION

Attn: Juandiego Alpizar
 Email: jdiego12@gmail.com
 ADD: Costa Rica

Date: 2019-01-07

Product	Picture	Specification	Quantity /pcs	EXW price/Per Piece(USD)	Total Price/USD\$
Semi automatic filling machine (Single head)		Rated voltage: AC 220V, 50/60Hz Max.power: 38W Fillable speed: 10-12 bottles/minute	1	\$725	\$725
Shipping cost	Will check after you confirm the order				-
Total					\$725
Product	Picture	Specification	Quantity /pcs	FOB Guangzhou price/Per Piece(USD)	Total Price/USD\$
Semi automatic filling machine (Single head)		Rated voltage: AC 220V, 50/60Hz Max.power: 38W Fillable speed: 10-12 bottles/minute	1	\$1,150	\$1,150
Total					\$1,150

Cotización de isopropanol



COTI-01-18

24 de octubre del 2018

Señor
JUAN DIEGO ALPÍZAR
Presente

COD: 9999
TEL:

Estimado señor:

Reciba de mi parte un cordial saludo, aprovecho la oportunidad para cotizarle lo siguiente:

ITEM	CANT	UNIDAD	CÓD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	36	Tambor 208 Lts	092121	ALCOHOL ISOPROPILICO 95% G.T	€ 290.910,00	€ 10.472.760,00
2	8	Taqueta 100Lts	09212-G	ALCOHOL ISOPROPILICO 95% G.T	€ 1.400.000,00	€ 11.200.000,00
3	36	Tambor 208 Lts	092111	ALCOHOL ISOPROPILICO 99% G.T	€ 299.250,00	€ 10.773.000,00
4	8	Taqueta 100Lts	09211-G	ALCOHOL ISOPROPILICO 99% G.T	€ 1.480.000,00	€ 11.840.000,00
					13% IMPUESTO DE VENTAS	€ 5.757.148,80
TOTAL						€ 50.042.908,80

Nota: Si son se zona franca o exonerados de impuestos por favor enviar el documento correspondiente. Debido a que el Alcohol Isopropílico está catalogado como precursor, es requisito indispensable presentar el permiso para su compra declarando a Laboratorios Químicos Arvi, S.A. como proveedor.

Cotización de etiquetas para envases de 120 mL



Cotización: C-94990
3 de Diciembre del 2018

Cotización para: Juan Diego Alpizar Ugalde

Atención: Juan Ugalde

Presente

Atendiendo su solicitud, ofrecemos nuestra mejor cotización para la confección del siguiente proyecto:

Producto	Cantidad	Subtotal	Impuestos	Total
Etiqueta Envases De 120ml - Dimensiones: 3,98x4,72in - Material: Opp Blanco Brillante P1 - Laminado Brillante -	3.000	€169,465.06	€22,030.45	€191,495.51
Etiqueta Envases De 60ml - Dimensiones: 3,14x3,85in - Material: Opp Blanco Brillante P1 - Laminado Brillante -	6.000	€184,628.21	€24,001.66	€208,629.88

Cotización de envases de 120 mL

ENVASES COMERCIALES, (ENVASA), S.A.
Cinco Esquinas de Tibas, San José Costa Rica, Teléfono : 506-2547-0707
Cédula Jurídica 3-101378184

CODIGO DE EXPORTADOR T-685

P R O F O R M A N O. 31996

C L I E N T E SR. JUAN DIEGO ALPÍZAR
ATENCIÓN SR. JUAN DIEGO ALPÍZAR
TELÉFONO COSTA RICA (\$)

Fecha del Sistema: 21/12/2018

Fecha Solicitada:

Fecha Enviada:

Representante de Ventas: Ventas Despacho Envasa

Hecho Por: KARRIEV

DIAS DE

CODIGO	#COT.	DESCRIPCION	CANTIDAD	BULTOS	P. MILLAR	TOTAL	ENTREGA
PE127	0101	ALCOHOL 4onz CILIND. PET NATURAL 28-410 ENVASE CON TAPA Unidades x Empaque: 00360	2,880	8	\$ 314.00	\$ 904.32	60
SE009	0912	ENVASE GOTERO 60 ml PABD BLANCO (STOCK) ENVASE CON TAPA Unidades x Empaque: 00600	3,600	6	\$ 230.00	\$ 828.00	65
PE111	0101	ENV. COSMETICO OVAL 2 OZ. PET NAT 20-415 ENVASE CON TAPA Unidades x Empaque: 00686	5,300	53	\$ 221.00	\$ 1,171.30	60
PE113	0101	COSMO ROUND 4 ONZAS NAT C/ 20-415 ENVASE CON TAPA Unidades x Empaque: 00400	2,700	27	\$ 294.00	\$ 793.80	60

Anexo 3. Procedimientos analíticos de la AOAC

Método oficial AOAC 921.08 Índice de refracción de aceites y grasas.

A. Direcciones generales

Determine el índice de refracción (n) con cualquier instrumento estándar, lea los aceites a 20 °C o 25 °C y las grasas a 40 °C. Coloque el instrumento de modo que la luz diurna difusa o alguna forma de luz artificial como la lámpara de vapor de Na se pueda utilizar para la iluminación. Circula la corriente de temperatura constante (± 0.2 °C) H₂O a través de prismas. Las correcciones de temperatura aproximadas de las lecturas del butiro-refractómetro se pueden hacer mediante la siguiente fórmula:

$$n = n' + K (T' - T)$$

donde n = lectura convertida a temperatura estándar, n' = lectura obtenida a temperatura T' , T = temperatura estándar, y $K = 0.55$ para grasas y 0.58 para aceites.

Las lecturas de los instrumentos que dan n directamente pueden convertirse a la temperatura estándar al sustituir el factor 0.000365 por 0.55 y 0.000385 por 0.58 en la fórmula. A medida que la temperatura aumenta, n cae. El instrumento utilizado puede estandarizarse con H₂O a 20 °C, n teórico de H₂O a esa temperatura es 1.3330. Cualquier corrección encontrada debe hacerse en todas las lecturas. El índice de refracción varía con la densidad y en la misma dirección.

B. Por el refractómetro Abbé

Para cargar el instrumento, abra el prisma doble con la cabeza del tornillo y coloque algunas gotas de la muestra en el prisma o, si lo prefiere, abra ligeramente los prismas girando la cabeza del tornillo y vierta unas gotas de muestra en la abertura en forma de embudo entre los prismas. Cierre los prismas firmemente apretando la cabeza del tornillo. Deje reposar el instrumento unos minutos antes de la lectura, de modo que la temperatura de la muestra de prueba y el instrumento sean los mismos. Limpie los prismas entre las lecturas

con un paño suave para remover el aceite, luego con una almohadilla de algodón humedecida con solvente (por ejemplo, tricloroetileno, tolueno o éter de petróleo), y deje secar.

El método de medición se basa en la observación de la posición de la línea del borde de la reflexión total en relación con las caras del prisma de vidrio de sílice. Ajuste esta frontera en el campo de visión del telescopio girando el prisma doble mediante la mirilla de la siguiente manera: sostenga firmemente el sector y mueva la mirilla hacia atrás o hacia adelante hasta que el campo de visión se divida en una porción clara y oscura. La línea que divide estas partes es el "límite" y, como regla, no será una línea nítida sino una banda de color. Los colores se eliminan girando la cabeza del tornillo del compensador hasta que se obtenga una línea nítida con menos color. Ajuste la línea del borde para que caiga en el punto de intersección del punto de mira. Lea el índice de refracción, n , de la sustancia directamente en la escala del sector, estimando el 4º lugar decimal. Tome ≥ 3 lecturas, acercándose a la intersección alternativamente de un campo a otro, y promediando. El rango de lecturas debe ser $\leq 0,0002$. Verifique la corrección del instrumento como en A, o con la placa de cuarzo que lo acompaña, usando monobromonaftaleno ($n_{20^\circ\text{C}} = 1.6587$) y haga la corrección necesaria en la lectura.

Método oficial AOAC 926.12 Humedad y materia volátil en aceites y grasas. Método del horno al vacío

Suavice la muestra, si es necesario, con calor suave, teniendo cuidado de no derretirla. Cuando esté lo suficientemente suave, mezcle bien con un mezclador mecánico efectivo.

Pesar $5 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ de porción de prueba preparada en un plato de humedad de aluminio de cerca de 5 cm de diámetro y 2 cm de profundidad con una cubierta deslizante ajustada. Secar a peso constante en el horno de vacío a temperatura uniforme $20^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$ por encima del punto de ebullición del H₂O a la presión de trabajo, que debería ser $\leq 100 \text{ mm Hg}$ (13,3 kPa). Enfríe en desecador eficiente 30 minutos y pese. El peso constante se alcanza cuando los sucesivos períodos de secado de 1 h muestran una pérdida adicional $\leq 0.05\%$. Informe el porcentaje de pérdida en peso como humedad y materia volátil.

Método oficial AOAC 920.157 Punto de fusión de grasas y ácidos grasos. Método del tubo capilar

Extraiga aproximadamente 10 mm de grasa derretida y filtrada en un tubo capilar de pared delgada, con un diámetro interno de 1 mm. Selle el extremo del tubo con grasa, usando una llama pequeña, sin llegar a quemar la grasa. Mantenga los tubos que contienen la grasa o aceite durante la noche (aproximadamente 16 h) en el refrigerador a 4 ° C - 10 ° C. Conecte el tubo capilar a un termómetro preciso graduado a 0.2 ° C, de modo que el extremo inferior esté nivelado con la parte inferior del bulbo de Hg. Suspenda en un beaker de 600 mL lleno hasta la mitad de H₂O de modo que el termómetro se sumerja aproximadamente 30 mm. Comenzando en 8 ° C - 10 ° C por debajo del punto de fusión de la muestra, aplique calor para aumentar la temperatura del baño a aproximadamente 0,5 ° C/min, agitando el H₂O en el baño mediante una pequeña corriente de aire o con un agitador lento. Tome como temperatura de punto de fusión aquella a la cual la sustancia se vuelve transparente. (Una lupa es útil para detectar la fusión completa.) Reporte un promedio de 3 determinaciones (que deben concordar dentro de 0.5 ° C).

Método oficial AOAC 940.28 Ácidos grasos (libres) en aceites crudos y refinados. Método de titulación

En aceites crudos, pese 7,05 g de aceite bien mezclado en un matraz de 250 mL o en un recipiente de 4 oz. Agregue 50 mL de alcohol, previamente neutralizado mediante la adición de 2 mL de disolución de fenolftaleína y suficiente NaOH 0.1 M para producir un color rosa pálido permanente. Valorar con NaOH 0.25 M, con agitación vigorosa hasta que aparezca un rosado tenue permanente y persista durante 1 minuto o más. Reporte como porcentaje de ácidos grasos libres expresados como ácido oleico. (Utilizando el tamaño de muestra y la molaridad del NaOH especificado en el método, el volumen en mL de NaOH 0,25 M utilizado en la titulación corresponde directamente al porcentaje de ácido oleico en la muestra). Los ácidos grasos libres también se pueden expresar en términos de valor de ácido (mg de KOH necesario para neutralizar 1 g de aceite).

Valor ácido = porcentaje de ácidos grasos libres (expresados como ácido oleico) x 1.99

Método oficial AOAC 940.28 Ácidos grasos (libres) en aceites crudos y refinados. Método de titulación

Los ácidos grasos libres también se pueden expresar en términos de valor de ácido (mg de KOH necesario para neutralizar 1 g de aceite).

Valor ácido = porcentaje de ácidos grasos libres (expresados como ácido oleico) x 1.99

Método oficial AOAC 965.33 Valor de peróxido de aceites y grasas. Método de titulación

(Nota: realizar análisis en luz diurna difusa o con luz artificial protegida de la fuente de luz directa).

A. Reactivos

(a) Disolución de ácido acético y cloroformo. Mezcle 3 volúmenes de CH_3COOH con 2 volúmenes de CHCl_3 (USP / United Stated Pharmacopeia, grado farmacéutico).

(b) Disolución de yoduro de potasio, saturada. Disuelva KI en exceso en H_2O recién hervido. El exceso de sólidos debe permanecer. Almacenar en la oscuridad. Pruebe diariamente agregando 0.5 mL a 30 mL de $\text{CH}_3\text{COOH-CHCl}_3$, (a); luego agregue 2 gotas de disolución de almidón al 1%, (mezcle aproximadamente 1 g de almidón soluble con suficiente agua fría para hacer una pasta delgada, agregue 100 mL de H_2O hirviendo y hierva durante 1 minuto mientras revuelve). Si la disolución se vuelve azul, y requiere >1 gota de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M para tornarse transparente de nuevo, prepare una disolución nueva.

(c) Soluciones patrón de tiosulfato sódico. 0.1 M y 0.01 M. Preparar y estandarizar como en 942.27 (ver A.1.13). Para 0.01 M, diluya 0.1 M con H_2O recién hervido y enfriado.

B. Determinación

(a) Grasas y aceites. Pesar 5,00 g \pm 0,05 g de la muestra en un Erlenmeyer de 250 mL con tapón de vidrio. Agregue 30 mL de $\text{CH}_3\text{COOH-CHCl}_3$, (a) y agite para disolver. Agregue 0.5 mL de disolución saturada de KI, (b), de la pipeta Mohr, deje reposar con sacudidas ocasionales durante 1 min y agregue 30 mL de H_2O . Lentamente valore con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M con agitación vigorosa hasta que el amarillo casi se haya ido. Agregue cerca de 0,5 mL de

disolución de almidón al 1% y continúe la titulación, agitando vigorosamente para liberar todo el I_2 de la capa de $CHCl_3$, hasta que desaparezca el azul. Si se usa <0.5 mL de $Na_2S_2O_3$ 0.1 M, repita la determinación con $Na_2S_2O_3$ 0.01 M.

Realice una determinación en blanco a diario (debe ser de ≤ 0.1 mL 0.1 M $Na_2S_2O_3$). Reste de la titulación de la muestra.

$$\begin{aligned} & \text{Valor de peróxido (miliequivalente de peróxido / kg de aceite o grasa)} \\ & = S \cdot M \cdot 1000 / \text{g de muestra} \end{aligned}$$

donde S = mL de $Na_2S_2O_3$ (blanco corregido) y M = molaridad de la disolución de $Na_2S_2O_3$.

Método oficial AOAC 933.08 Residuo (insaponificable) de aceites y grasas. Método de extracción con éter.

Pese con precisión entre 2 g y 2.5 g de grasa en un matraz de saponificación (se recomienda Erlenmeyer de 200 mL con unión-adaptador externa estándar 24/40). Agregue 25 mL de alcohol y 1,5 mL de disolución de KOH (3 + 2). Saponificar por ebullición, con agitación ocasional, en un baño de vapor durante 30 min bajo un reflujo de condensador de aire. (No debe producirse pérdida de alcohol durante la saponificación). Transfiera la disolución de jabón alcohólico mientras aún está caliente a un separador de 250 mL, usando un total de 50 mL de H_2O . Enjuagar el matraz de saponificación con 50 mL de éter y agregar éter al separador. Agite vigorosamente y deje que las capas se separen y aclaren. Deje pasar la capa inferior y vierta la capa de éter por la parte superior en el segundo separador que contenga 20 mL de H_2O .

Enjuague el borde de vertido con éter, agregando los enjuagues al segundo separador. Extraiga la disolución de jabón con dos porciones de 50 mL de éter de la misma manera.

Haga un total de 4 extracciones para aceites marinos u otros aceites de alto contenido insaponificable.

Agite circularmente y suavemente los extractos de éter combinados con los 20 mL de H_2O (la agitación vigorosa en esta etapa puede causar emulsiones problemáticas). Deje que las capas se separen y drene la capa acuosa. Lavar con dos porciones adicionales de 20 mL de H_2O , agitando vigorosamente. A continuación, lavar la disolución de éter 3 veces con

porciones alternativas de 20 mL de KOH acuoso aproximadamente 0,5 M y de H₂O, agitando vigorosamente cada vez. Si se forma emulsión durante el lavado, drene tanta capa acuosa como sea posible, dejando la emulsión en el separador con la capa de éter, y proceda con el próximo lavado. Después del tercer tratamiento con KOH, lave la disolución de éter sucesivamente con porciones de 20 mL de H₂O hasta que los lavados ya no sean alcalinos al valorar con fenolftaleína.

Transfiera la disolución de éter a un beaker cónico de labios de 250 mL, enjuague el separador de y el borde de vertido con éter, y agregue enjuagues a la disolución principal.

Evaporar a aproximadamente 5 mL y se transferir cuantitativamente, usando varias porciones pequeñas de éter, a un matraz grueso de 50 mL o Erlenmeyer previamente seco y se pesado con un matraz similar a modo de tara. Evaporar el éter. Cuando se haya eliminado casi todo el éter, agregue 2 mL - 3 mL de acetona y, mientras se calienta con vapor o con baño de H₂O, elimine completamente el disolvente con una corriente de aire suave. Secar a 100 °C durante periodos de 30 min a peso constante.

Se disuelve el contenido del matraz en 2 mL de éter, se añaden 10 mL de alcohol neutralizado (fenolftaleína) y se titula con NaOH alcohólico 0,1 M (o KOH). (Usualmente se requiere ≤0.10 mL.) Corregir el residuo de por presencia de ácidos grasos libres (1 mL de base 0.1 M = 0.0282 g de ácido oleico).

Corrija el residuo de peso por blanco de reactivo (obtenido realizando una determinación similar, pero omitiendo la grasa)

Método oficial AOAC 920.160 Número de saponificación (Número de Koettstorfer) de aceites y grasas. Método por titulación

A. Reactivo

Disolución alcohólica de hidróxido de potasio [JAOAC 19, 427 (1936)].

(1) Reflujar 1,2 L de alcohol durante 30 min en un matraz de destilación con 10 g de KOH y 6 g de Al granulado (o papel de aluminio). Destilar y recoger 1 L después de desechar los primeros 50 mL. Disuelva 40 g de KOH en este litro de alcohol, manteniendo la temperatura <15 ° C mientras se disuelve la base. Mantenga la disolución en una botella con tapón de vidrio. O bien, (2) Triturar 40 g de KOH en mortero de 185 mm. Añadir 45 g de CaO

granulada y morterizar hasta formar un polvo. De 1 L de alcohol, agregue 100 mL al mortero y transfiera a un matraz, enjuague el mortero con varias porciones más. Agregue el resto de alcohol al matraz, agite la mezcla ≥ 5 min e invierta un beaker sobre el cuello del matraz. Repita la sacudida varias veces durante el día. A la mañana siguiente, filtre la disolución en una botella limpia, seca y con tapón de vidrio.

B. Determinación

Pesar con precisión aproximadamente 5 g de aceite filtrado en un Erlenmeyer de 250 mL - 300 mL. Pipetee 50 mL de disolución alcohólica de KOH en el matraz, drenando la pipeta en un tiempo definido. Conecte el matraz con un condensador de aire y hierva hasta que la grasa esté completamente saponificada (aprox. 30 min). Enfriar y valorar con HCl 0,5 M, 936.15 (véase A.1.06), utilizando fenolftaleína. Realizar una determinación en blanco simultáneamente con la determinación de la muestra, utilizando la misma pipeta para medir la disolución de KOH y drenando el mismo tiempo.

Calcular el número de saponificación (mg de KOH requerido para saponificar 1 g de grasa) como

$$\text{Número de saponificación} = 28.05 \cdot (B - S) / \text{g de aceite}$$

donde B = volumen en mL 0.5 M HCl requerido por el blanco y S = volumen en mL de 0.5 M HCl requerido por la muestra.

Método oficial AOAC 925.09: Sólidos (totales) and pérdida por secado (humedad) en harinas. Método en estufa de vacío

A. Aparato

(a) Platillo metálico. Diámetro cercano a 55 mm, altura cercana a 15 mm, con tapa deslizable invertida que selle firmemente en la parte interior

(b) Desecador de aire sellado. En CaO reinerado es un agente de secado satisfactorio

(c) Estufa de vacío. Conecte con una bomba capaz de mantener vacío parcial con una presión equivalente a ≤ 25 mm Hg (3.3 kPa) y provista de un termómetro cuyo bulbo esté cerca de los platillos. Conectar botella de gas de secado con H₂SO₄ a la estufa, para permitir la entrada de aire seco al liberar el vacío.

B. Determinación

Mida con precisión cerca de 2 g de muestra bien mezclada en un platillo previamente secado a 98 °C - 100 °C, enfriado en un desecador, y pesado justo después de llegar a la temperatura ambiente. Aflojar la cubierta (no quitar) y calentar a 98 °C - 100 °C, hasta masa constante (aprox. 5 h) en vacío parcial con una presión equivalente a ≤ 25 mm Hg (3,3 kPa). Al finalizar, permita que entre aire seco en la estufa para llevarla a la presión atmosférica. Inmediatamente ajuste la tapa en el platillo, transfíralo al desecador, y pese justo después de alcanzar la temperatura ambiente. Reporte el residuo de harina como sólidos totales y la pérdida de masa como humedad (método indirecto).

Remoción de sarcotesta de semilla de papaya con procesador de alimentos

Utilizar un regulador de voltaje sobre un procesador de alimentos, y de esta manera permitir que las aspas rompan la piel externa sin llegar a afectar de manera considerable la integridad del endospermo. Para esto el voltaje debe ajustarse de manera que la velocidad de giro del procesador sea aproximadamente 750 min^{-1} , utilizando una cantidad volumétrica de semillas de 150 mL hasta 300 mL, y la misma cantidad de agua. Se realiza un ciclo de funcionamiento de 1 min, para luego filtrar la sarcotesta en un colador. Este proceso se repite 3 veces para dar una remoción de sarcotesta adecuada.

Determinación de humedad de las semillas, curvas de secado y curvas energéticas

Sumergir totalmente la muestra en agua de tubo durante toda la noche anterior al ensayo. La mañana siguiente, se remover el agua en medio de las partículas del material, en este caso el agua entre cada una de las semillas enteras, por medio de la aplicación de un filtro Kitasato acoplado a un sistema de vacío. Luego de que la muestra estuvo 1 min en el Kitasato, se colocar en un papel toalla y con otro papel toalla frotar suavemente sobre la muestra para eliminar cualquier humedad entre la superficie de las semillas que pudiera quedar remanente. Ajustar la balanza media hora antes de la prueba con la temperatura deseada, y luego medir una cantidad de aproximadamente 10 g de muestra en la balanza de humedad. Mientras la muestra va perdiendo humedad en la balanza, tomar los datos de masa del material indicados en la balanza de humedad en intervalos de tiempo definidos.

Para el ensayo se tomó la masa cada 2 min durante la primera media hora para las semillas sin sarcotesta, y cada 5 min posteriormente. En el caso de las semillas con sarcotesta se tomaron los datos cada 5 min en todo el ensayo.