

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Estudio del estado del arte para la extracción de aceite vegetal a partir de
semilla de granada**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

AUTOR

Jhan Carlo Bacilio Ruiz

ASESOR:

Ing. Fiorella Patricia Cárdenas Toro

Lima, noviembre de 2019

Resumen.

Con el presente informe se buscará presentar los objetivos por los que se quiere comparar la extracción de aceite de semilla de granada, también se explicará el método para concluir con un tipo de tecnología, se empieza con la descripción de las tres tecnologías a comparar, para presentar resultados comparables entre las tres propuestas, para, mediante una tabla con puntajes ponderados, concluir con la tecnología a utilizar para una planta productora de aceite.

Adicionalmente, se explicarán, de modo informativo, otros métodos para extraer aceite; Sin embargo, su escalabilidad no es posible al ser técnica o económicamente inviables.

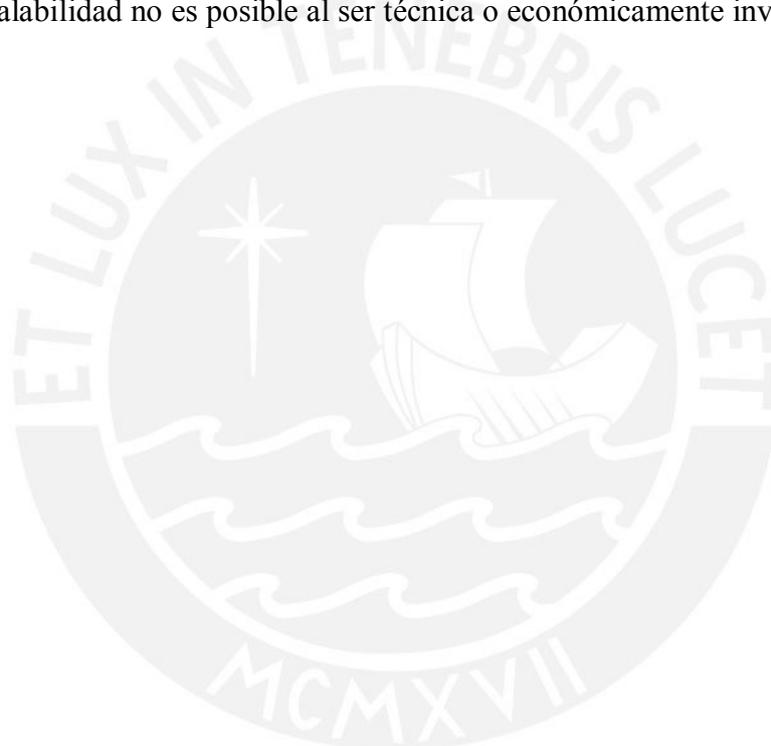
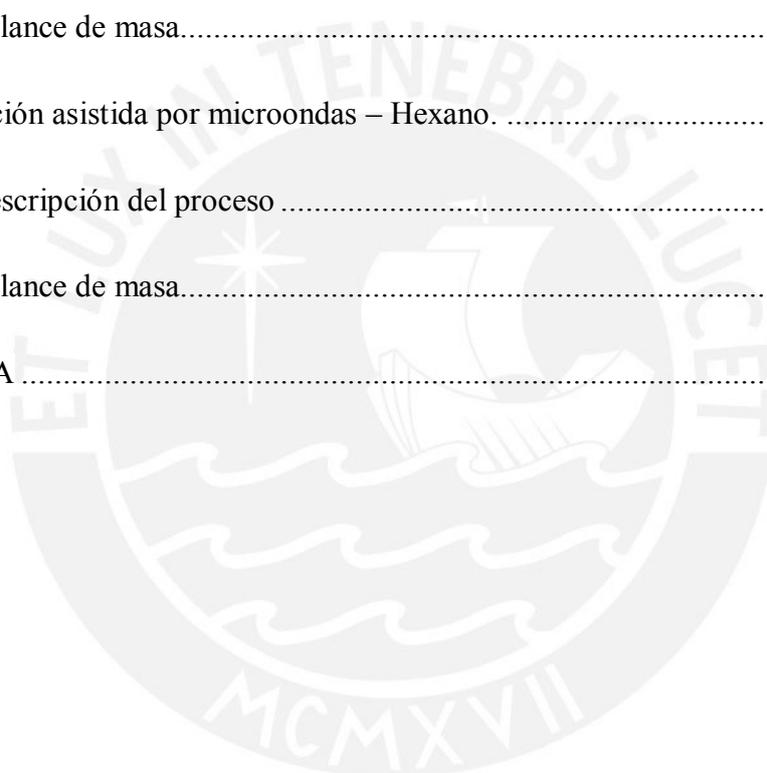


TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	1
2. MÉTODO	2
3. RESULTADOS	3
3.1. Extracción por prensado	4
3.1.1. Descripción del proceso	5
3.1.2. Balance de masa	7
3.2. Extracción supercrítica por solvente – Dióxido de carbono	10
3.2.1. Descripción del proceso	10
3.2.2. Balance de masa	15
3.3. Extracción por lixiviación “Soxhlet” con solvente – Hexano	18
3.3.1. Descripción del proceso	18
3.3.2. Balance de masa	21
4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	24
5. CONCLUSIÓN	26
6. CASOS COMPLEMENTARIOS	27
6.1. Extracción mediante lixiviación con agitación “Soxhlet” con solvente – Benceno	27
6.1.1. Descripción del proceso	27

6.1.2.	Balance de masa.....	30
6.2.	Extracción por lixiviación con agitación por solvente– Hexano.....	31
6.2.1.	Descripción del proceso.....	31
6.2.2.	Balance de masa.....	35
6.3.	Extracción asistida por microondas – Benceno.....	36
6.3.1.	Descripción del proceso.....	36
6.3.2.	Balance de masa.....	40
6.4.	Extracción asistida por microondas – Hexano.....	41
6.4.1.	Descripción del proceso.....	41
6.4.2.	Balance de masa.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....		46



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Balance de masa de componentes durante el proceso de prensado.....	8
Tabla 2: Flujos de entrada y salida del proceso de prensado.....	9
Tabla 3: Balance de masa de componentes durante el proceso supercrítico	16
Tabla 4: Flujos de entrada y salida del proceso supercrítico	17
Tabla 5: Balance de masa de componentes durante el proceso de Soxhlet.....	22
Tabla 6: Flujo de entrada y salida del proceso Soxhlet.....	23
Tabla 7: Tabla de comparación - ponderado	25



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de prensa expeller.....	4
Figura 2: DOP del prensado	5
Figura 3: Diagrama del prensado	7
Figura 4: DOP del supercrítico	10
Figura 5: Obtención de aceite por supercrítico	13
Figura 6: Diagrama para supercrítico	15
Figura 7: DOP del Soxhlet	18
Figura 8: Diagrama del proceso Soxhlet	21
Figura 9: DOP para benceno	28
Figura 10: Diagrama para benceno	30
Figura 11: DOP de lixiviación por hexano	32
Figura 12: Diagrama de bloques para la lixiviación por hexano	35
Figura 13: DOP microondas benceno	37
Figura 14: Balance de masas de microondas por benceno	40
Figura 15: DOP microondas hexano	42
Figura 16: Balance de masas microondas hexano	45

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Obtención de flujos para el prensado.	49
Anexo B: Obtención de flujos para la extracción supercrítica con dióxido de carbono.	51
Anexo C: Obtención de flujos para la extracción “Soxhlet” por solvente (hexano).	54
Anexo D: Obtención de resultados en la tabla comparativa.	57



DOCUMENTO PRINCIPAL

INTRODUCCIÓN

Se han venido descubriendo nuevas técnicas para la obtención de aceite, a parte de la ya convencional tecnología del prensado, que por aspectos ambientales es una de las técnicas más usadas (Bockisch, 1998). Sin embargo, existen formas alternativas para obtener aceite, por ejemplo, con solventes como el CO₂ o hexanos, también se viene desarrollando extracción de aceite mediante ultrasonido. En otras palabras, existen estudios que demuestran la rentabilidad en el cambio de tecnología, como un mayor rendimiento por semilla, menores residuos a disposición, menor consumo de energía, porcentaje de humedad, entre otros aspectos que se pueden utilizar para comparar las diferentes tecnologías y sustentar la elección de una para la producción de aceite de semilla de granada.

1. OBJETIVOS

En el siguiente punto se explicarán el objetivo general y los objetivos específicos del siguiente trabajo de investigación.

Objetivo general:

- El siguiente informe propone como objetivo estudiar el estado del arte para el proceso de extracción de aceite de semilla de granada para la selección de una técnica de elaboración de aceite vegetal para las semillas.

Objetivo específico:

- Investigar tipos de tecnologías para obtener aceite, para la semilla de granada o afines, como la uva o aceituna, con la finalidad de elegir las tecnologías más utilizadas para la obtención de aceites en general.
- Elaborar diagramas y tablas comparativas para uniformizar los datos de las tres tecnologías a utilizar.

- Adecuar la información de las diferentes tecnologías con la finalidad de que esta sean comparables entre si.
- Definir criterios para comparar las tecnologías y ponderar los mismos con la finalidad de elegir de la forma más objetiva posible algún tipo de tecnología.
- Presentar tecnologías adicionales que por motivos técnicos o económicos no fueron comparables, pero podrían ser presentados en un trabajo de investigación en el futuro.

2. MÉTODO

2.1. Revisar e investigar informes o documentos relacionados con el estado del arte para obtención del aceite de semillas de granada.

- Seleccionar información relacionada a la obtención de aceite vegetal
- Al encontrar bibliografías, seleccionar las que se encuentran relacionadas a tecnologías y presentan pasos para obtener aceite.
- Elegir fuentes que sean aplicables para semilla de granada.
- Definir las fuentes más completas para ser comparables entre si.

2.2. Proponer diagramas de flujo y diagrama del proceso en base a información buscada de manera previa.

- Al seleccionar las fuentes, estas se ordenan de manera que pueda ser expresada en un diagrama de operaciones del proceso (DOP) y un diagrama de flujo (balance de masa).
- Se definen procesos, si es que estos no se encuentran descritos en la bibliografía.

2.3. Presentar los flujos de entradas y salidas de las tecnologías seleccionadas con una base de 100 kilogramos de masa inicial.

- Se presentan los procesos definidos en el punto anterior en un formato de tablas, con la finalidad de uniformizar la información presentada en el inicio y fin del proceso, es decir entran 100 kg de semillas y se obtiene una cantidad diferente de aceite por proceso.

- Se comprueban los ingresos y salidas de componentes mediante una tabla de procesos contra flujos en los que se agrega un parámetro de entrada y salida de los mismos, para corroborar que los flujos de ingreso y salida sean iguales.
- Se utiliza la relación *solvent/feed* para encontrar los flujos de entrada y salida de los solventes y que estos sean aplicables en la muestra de 100 kg de semilla al inicio del proceso.

2.4. Comparar las tecnologías en base criterios obtenidos de las mismas.

- Se define un criterio respecto a la comparativa de flujos en el proceso.
- Se define un criterio respecto al resultado y comparativa de sus componentes finales.
- Se define un criterio respecto a la aplicabilidad de la tecnología y su entorno.
- Se prioriza criterios relacionados al objetivo del proyecto.
- Se pondera y presenta los resultados en una tabla.

2.5. Seleccionar una propuesta tecnológica.

- Se concluye con la elección de uno de los criterios y se explica las razones para su elección.
- Se presentan tecnologías a investigar en un futuro informe, que por motivos técnicos o económicos no fueron comparadas.

3. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se explicarán los diferentes tipos de tecnología a utilizar para fabricar aceite vegetal a base de las semillas de granada, se empezará con la descripción del proceso para continuar con un balance de masa con una base de 100 kg de semilla de granada para, finalmente, concluir con una tabla de resultados con la comparación entre tecnologías.

3.1. Extracción por prensado

El método de extracción es mediante el prensado. Como se mencionó anteriormente, después del prensado se obtiene aceite en crudo y torta residual de semilla de granada. Los procedimientos se mencionaron anteriormente, pero se produce un cambio al incluir la prensa expeller para su obtención como se observa en la figura 1.



Figura 1: *Ejemplo de prensa expeller*
Tomado de "What Does Expeller Pressed Mean?" por Thewateringmout.com, 2019

3.1.1. Descripción del proceso.

Para la obtención de aceite mediante el prensado en frío, se siguieron diversos procesos, estos se encuentran descritos en la figura 2 mediante un diagrama de operaciones.

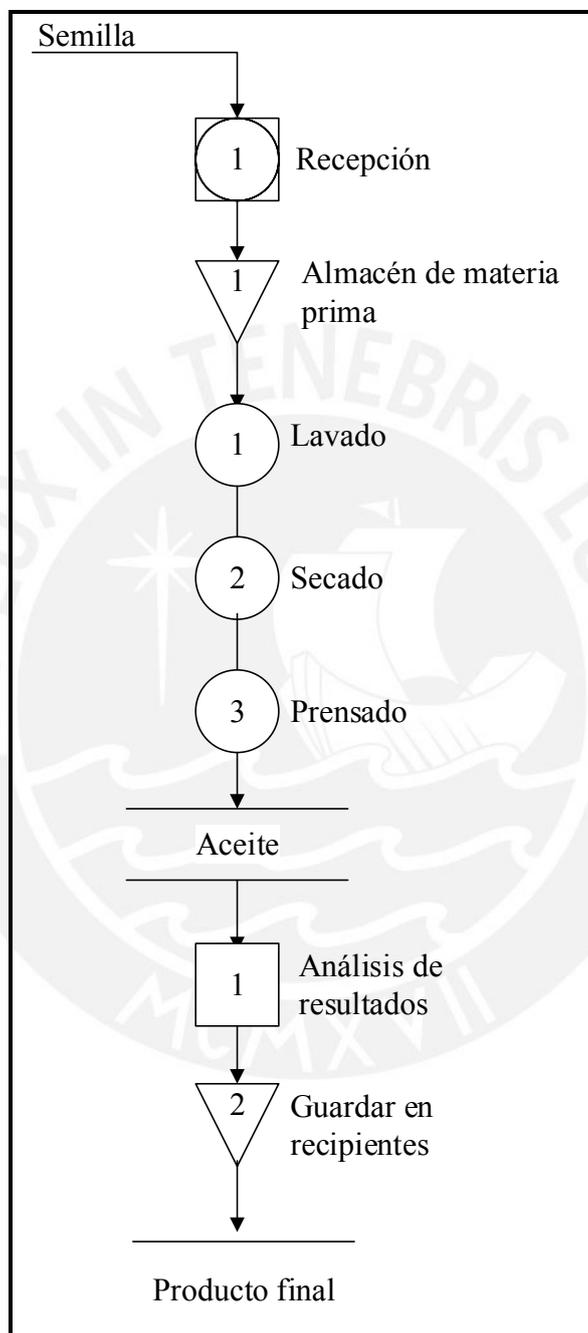


Figura 2: DOP del prensado

Tomado de “Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Granada”, por Gutierrez y Terrones, 2016.

Operaciones

i. Recepción

Las semillas se transportan desde un proveedor dedicado a la producción de jugos de frutas.

ii. Almacén de materia prima

Las semillas son almacenadas en envases cerrados al vacío para evitar la contaminación del insumo.

iii. Lavado

Se realiza un lavado con hipoclorito de sodio y agua, para presentar semillas limpias y desinfectadas, insumo necesario para el prensado, ya que no existe un filtro adicional que evite el ingreso de sustancias perjudiciales aparte del realizado por la prensadora.

iv. Secado

Las semillas fueron secadas mediante un horno al vacío a 35°C por tres horas o hasta alcanzar una humedad entre 8 a 10%.

v. Prensado

Para extraer el aceite se utiliza una prensa industrial, producto del prensado se centrifugan las semillas, aceite, a 3900 rpm por 20 minutos aproximadamente con una temperatura de 15°C hasta obtener el aceite.

Se utilizó una prensa expeller con una velocidad de giro de 60 Hz, con la boquilla ligeramente abierta para empezar el prensado y obtener la torta (residuo) y el aceite.

vi. Análisis de resultados

Se verifica que el producto final posee características similares a las obtenidas por Hernández (2011), es decir, un rendimiento (masa del aceite entre la masa de las semillas secas) del 15%, el porcentaje de ácido Púnicico obtenido por prensado alcanzó un porcentaje de 65.3%.

vii. Almacenar

Al momento de obtener el aceite, se procede al almacenamiento del mismo.

3.1.2. Balance de masa.

La elaboración de aceite, desde que ingresan semillas de granada hasta obtener el aceite, se realiza mediante siete etapas, explicado en la figura 3.

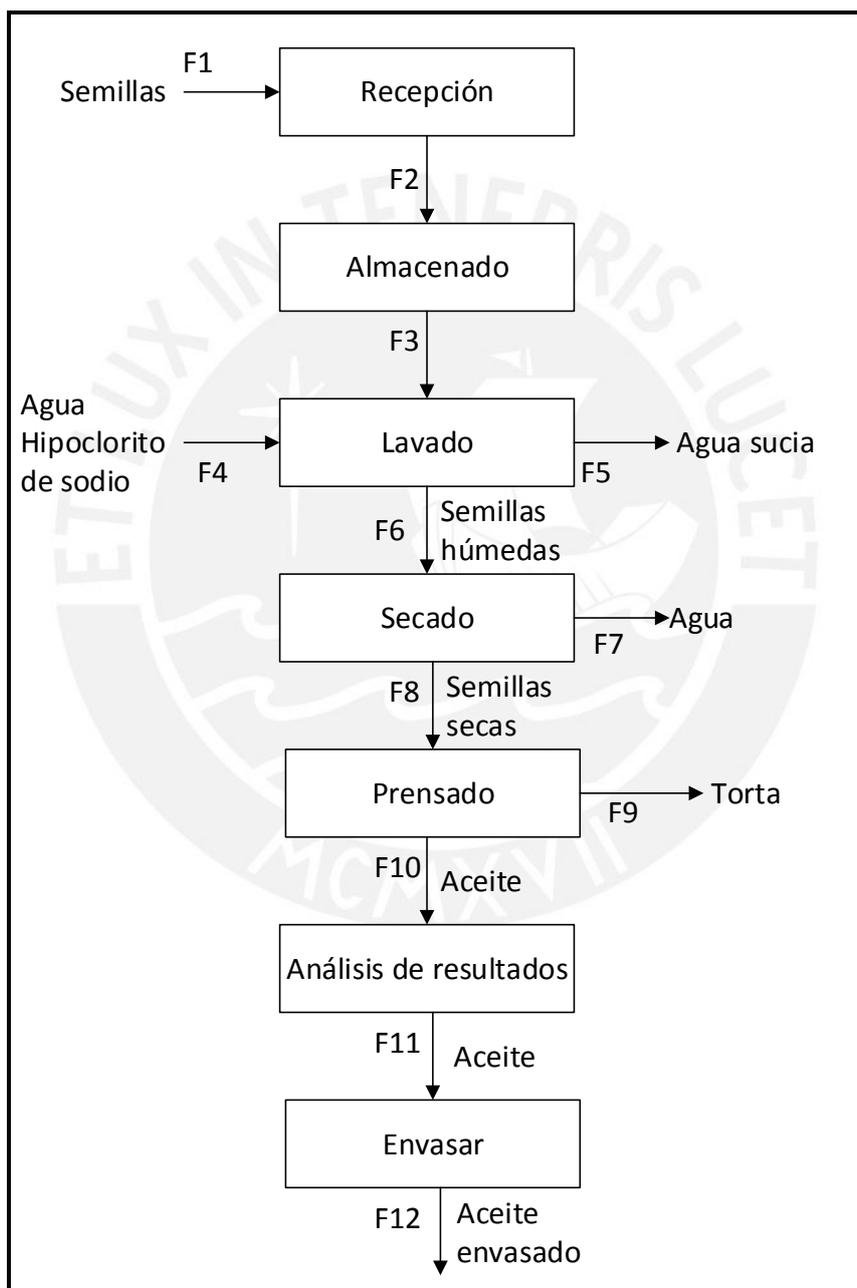


Figura 3: Diagrama del prensado

Tomado de "Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Granada", por Gutierrez y Terrones, 2016.

Las etapas definidas en el diagrama anterior, presentan los flujos descritos en la tabla 1, los cálculos se realizaron en el anexo 1.

Tabla 1

Balance de masa de componentes durante el proceso de prensado [para una base de 100 kg]

Composición	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Aceite	20	20	20	0	0	20	0	20	7.5	12.5	12.5	12.5
Otros	3.62	3.62	3.62	0	3.62	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos	50.72	50.72	50.72	0	0	50.7	0	50.7	50.7	0	0	0
Agua	25.66	25.66	25.66	5	5	25.66	15.66	10	10	0	0	0
Hipoclorito	0	0	0	0.0005	0.0005	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Adaptado de "Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Granada", por Gutierrez y Terrones, 2016.

Respecto al flujo del aceite, durante todo el experimento, este presentó la siguiente composición (%) como se presenta en la tabla 2:

Tabla 2

Flujos de entrada y salida del proceso de prensado

Operación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Recepción	IN	OUT										
	100	100										
Almacenamiento		IN	OUT									
		100	100									
Lavado			IN	IN	OUT	OUT						
			100	5	8.6	96.4						
Secado						IN	IN	OUT	OUT			
						96.4	15.66	80.74	68.24			
Prensado									IN	OUT	OUT	
									68.24	12.5	12.5	
Análisis de resultados											IN	OUT
											12.5	12.5
Envasado												IN
												12.5

Nota. Adaptado de "Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Granada", por Gutierrez y Terrones, 2016.

**Se consideró un flujo respecto a los porcentajes de semillas de granada en el flujo*

3.2. Extracción supercrítica por solvente – Dióxido de carbono.

Los fluidos supercríticos son sustancias que se encuentran por encima de su temperatura y presión crítica, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, en el siguiente método se utilizó el CO₂ como solvente al 99,9% de pureza.

3.2.1. Descripción del proceso.

Para obtener aceite por mediante un solvente, es necesaria la asistencia de una máquina para la extracción, esto se observa en la figura 4.



Figura 4: DOP del supercrítico
Fuente: (Adaptado de Ahangari y Sargolzaei 2012)

Operaciones

i) Recepción

Se reciben las semillas de granada, enviadas por una empresa productora de jugos de frutas, también se recibe el solvente, en este caso, el dióxido de carbono.

ii) Almacenado

Los insumos son almacenados, esto se realiza con la finalidad de evitar contaminar la materia prima con algún agente exterior, ya sea la humedad o algún insecto que afecte en la calidad del insumo.

iii) Lavado

Las semillas son lavadas cuidadosamente con agua destilada tres veces para remover las azúcares y otros materiales adheridos.

iv) Secado

Las semillas son calentadas mediante un horno al vacío a 39.85°C y a 25 kPa.

v) Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moledora, para reducir las semillas hasta partículas finas con dimensiones entre 20 a 30 mesh.

vi) Tamizado

También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

vii) Medición de partículas

Se escogen las partículas que se encuentran en el último nivel del tamizado, es decir:

D1: 0,125-0,45 mm.

viii) Almacenado

Las partículas fueron selladas en un contenedor plástico y refrigeradas a $-20.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la extracción.

ix) Extracción por solvente en estado supercrítico

Se utiliza un dióxido de carbono para alimentos con un flujo de 10 L/h. La extracción se realizó de la siguiente manera.

1. El dióxido de carbono se transporta por un filtro y entra en un refrigerador que lo hace líquido
2. El fluido es bombeado por un tanque a presión vertical.
3. El fluido es presurizado y entra en un recipiente de extracción.
4. El tanque y el recipiente fueron cubiertos con una chaqueta caliente a temperaturas mayores a 100°C .
5. El fluido supercrítico avanza con la temperatura y presión deseada, después se mezclan con las semillas trituradas.

El proceso de obtención de aceite por estado supercrítico se observa en la figura 5 con un flujómetro en la salida, esto permitirá encontrar relación *solvent/feed* para encontrar el consumo necesario para la elaboración de aceite.

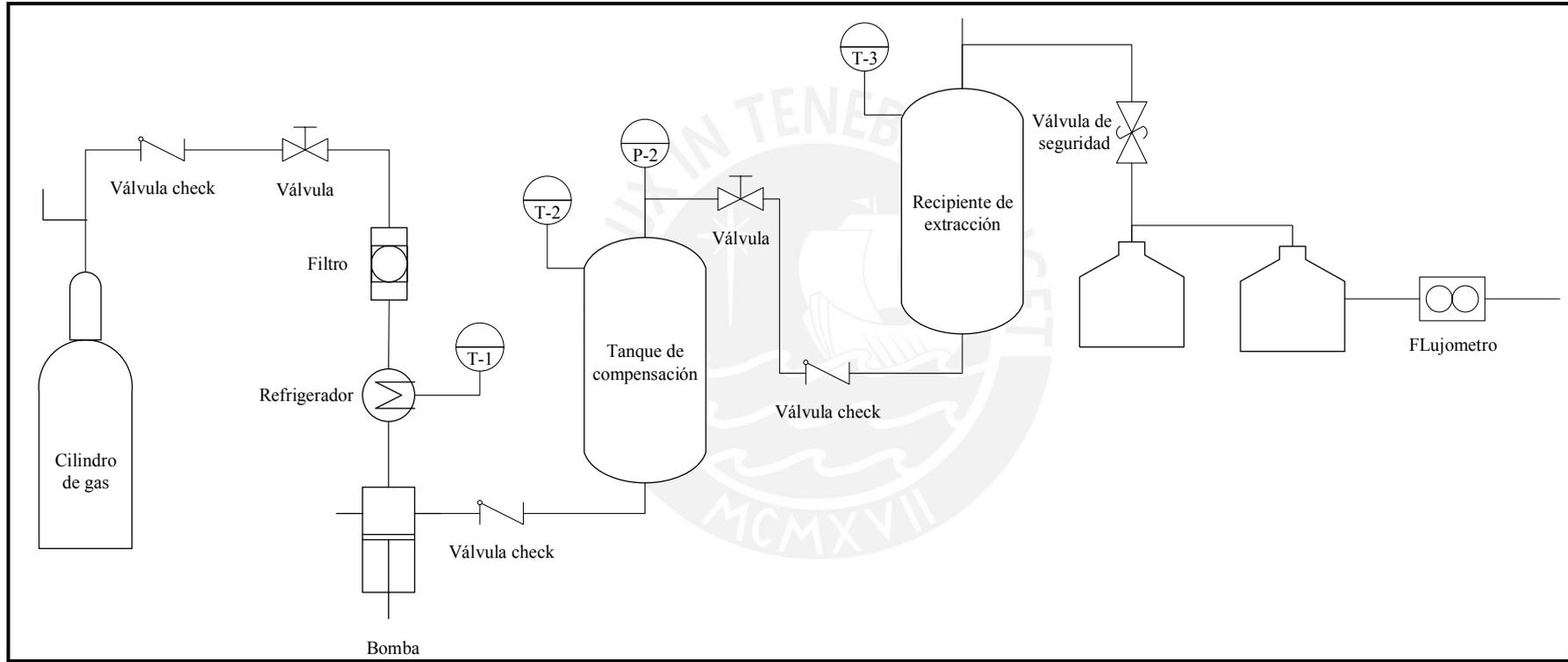


Figura 5: Obtención de aceite por supercrítico

Tomado de "Extraction of pomegranate seed oil using subcritical propane and supercritical carbon dioxide" por Ahangari 2012

x) Almacenado

El aceite extraído fue almacenado en una congeladora a -20.15°C para su posterior análisis.

xi) Análisis

Se extrajo un aceite con un rendimiento del 13.03% mediante una presión de 30 MPa y a temperatura de 39.85°C , el aceite posee una densidad de 929 kg/cm^3 y el experimento tiene una duración de 180 minutos con un flujo de 20.12 L/h y con un 73.7%⁵ de ácido punicico.

xii) Envasado

Finalmente, se envasas para su posterior distribución.



3.2.2. Balance de masa.

La obtención de semillas se realiza mediante ocho etapas, que se explicarán mediante la figura 6 con la finalidad de explicar los resultados en rendimientos y tiempos.

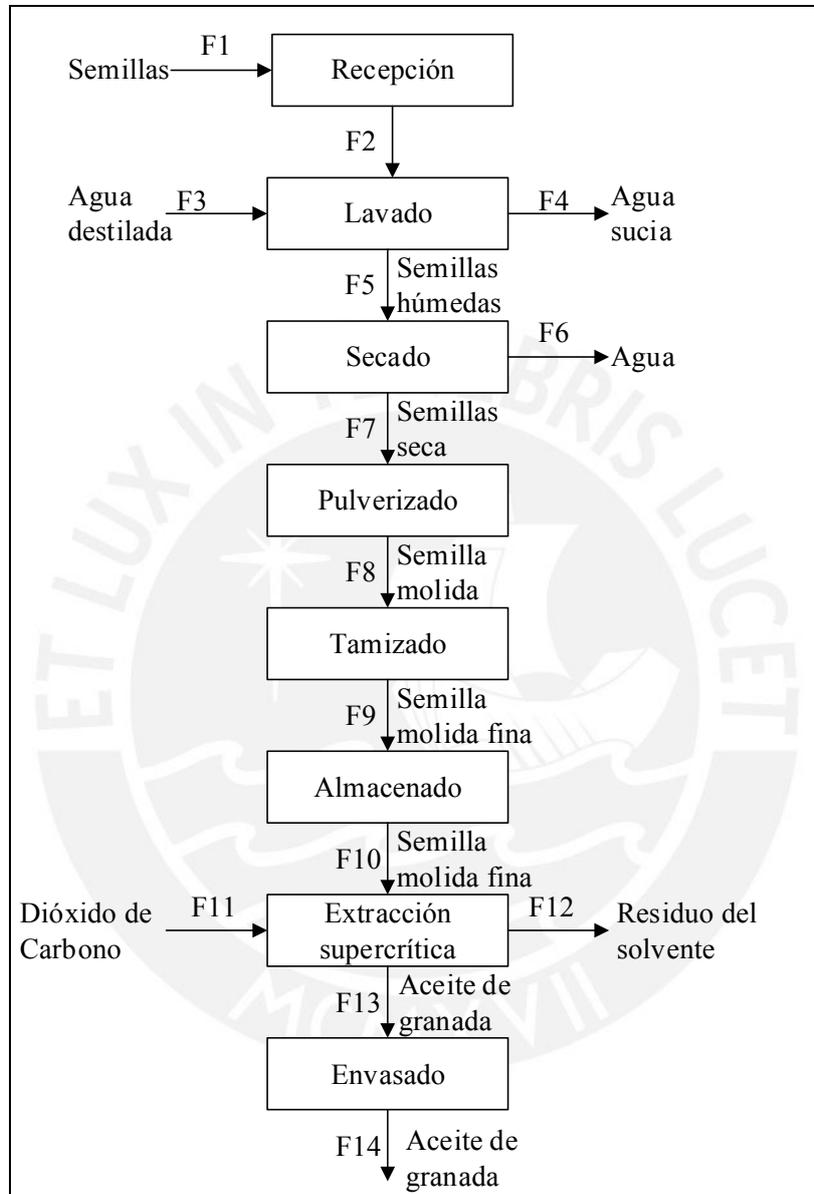


Figura 6: Diagrama para supercrítico

Fuente: (Adaptado de Ahangari, Sargolzaei 2011)

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, para la obtención de dióxido de carbono se utilizó la relación solvent/feed como se observa en el anexo 2.

Tabla 3

Balance de masa de componentes durante el proceso supercrítico. [Para una base de 100kg]

Composición	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Aceite	20	20	0	0	20	0	20	20	20	20	0	9.48	10.58	10.58
Otros	3.62	3.62	0	3.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos	50.72	50.72	0	0	50.72	0	50.72	50.7	50.7	50.7	0	50.7	0	0
Agua	25.66	25.66	5	5	25.66	15.66	10	10	10	10	0	10	0	0
Hipoclorito	0	0	0.0005	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dióxido de carbono	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270	270	0	0

Nota. Tomado de "Extraction of Pomegranate Seed Oil Using Subcritical Propane and Supercritical Carbon Dioxide", por Ahangari y Sargolzaei, 2011.

Respecto a los insumos que entran y salen del proceso, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 4

Flujos de entrada y salida del proceso supercrítico.

Operación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Recepción	IN	OUT												
	100	100												
Lavado		IN	IN	OUT	OUT									
		100	5.00	8.62	96.38									
Secado					IN	OUT	OUT							
					96.38	15.66	80.7							
Pulverizado							IN	OUT						
							80.7	80.7						
Tamizado								IN	OUT					
								80.7	80.7					
Almacenado									IN	OUT				
									80.7	80.7				
Extracción supercrítica										IN	IN	OUT	OUT	
										80.7	270	340.12	10.58	
Enviado													IN	OUT
													10.58	10.58

Nota. Tomado de "Extraction of Pomegranate Seed Oil Using Subcritical Propane and Supercritical Carbon Dioxide", por Ahangari y Sargolzaiei, 2011

**Se consideró un flujo respecto a los porcentajes de semillas de granada en el flujo.*

3.3. Extracción por lixiviación “Soxhlet” con solvente – Hexano.

El siguiente método empieza con semillas trituradas que son sometidas a reflujo usando hexano como solvente mediante un extractor *Soxhlet*.

3.3.1. Descripción del proceso.

Para la obtención del aceite de granada mediante extracción *Soxhlet* se realizaron diferentes procesos que se indican en la figura 7 mediante un diagrama de operaciones por procesos.

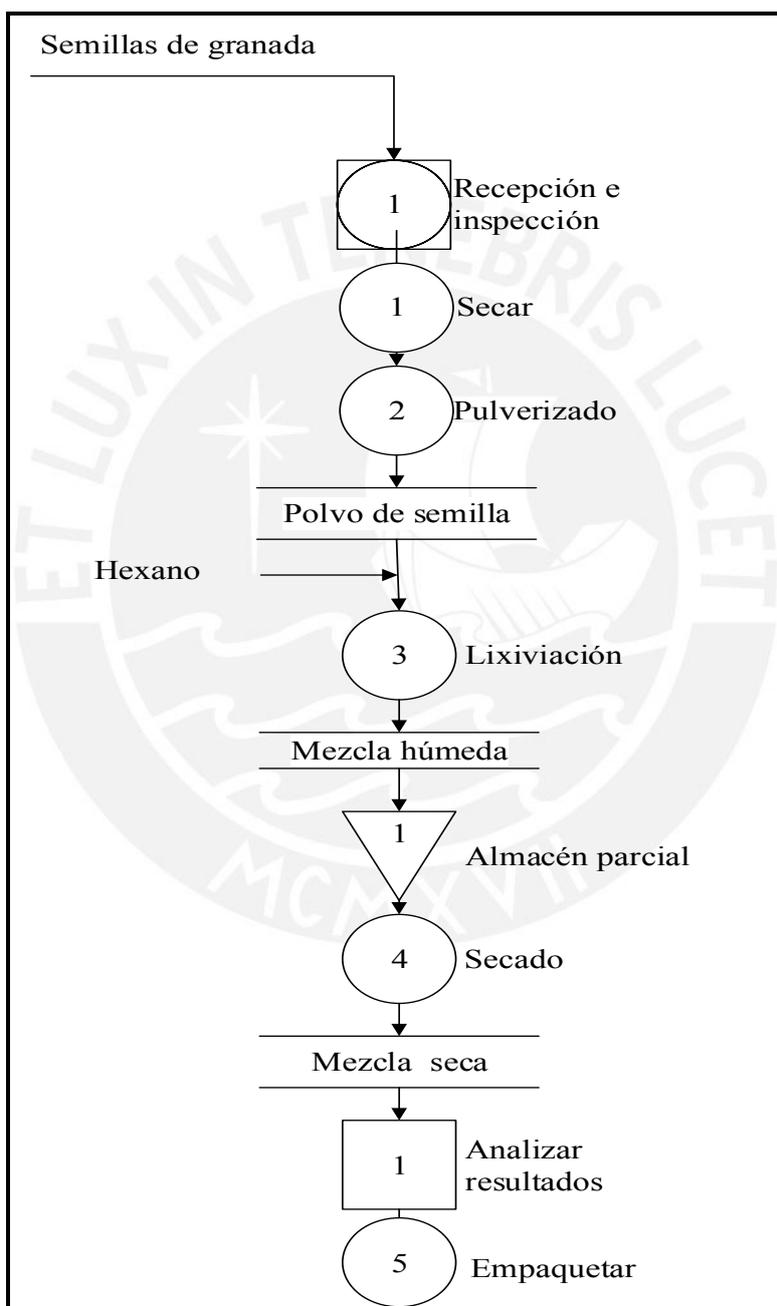


Figura 7: DOP del Soxhlet

Tomado de “Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (*Punica granatum* L.) and inter-relationships with total phenolic, Tannin, anthocyanin, and flavonoid contents” por *Hulya y Sebnem*, 2011.

Operaciones:**i. Recepción e inspección**

Se verifica que las semillas obtenidas, en este caso, de una empresa que realiza jugos de frutas, se encuentren aptas para la producción de aceite. También se reciben los demás insumos como los reactivos y solventes que realizaron pruebas de grado analítico o cromatógrafo.

ii. Secado

Las semillas fueron secadas hasta presentar un contenido de humedad con un horno al vacío a 35°C por tres horas.

iii. Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moledora de café. También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

Estas partículas fueron selladas en botellas de vidrio y mantenidas a una temperatura de 4°C hasta que la extracción finalizó.

iv. Lixiviación

Se mezcló el solvente (hexano) con las semillas molidas (D1: 0,125-0,45 mm) con una relación de 20/1 (L/Kg) en la maquina Soxhlet convencional a 110°C por 8 horas.

v. Almacén del aceite

Se almacenó el aceite a -20°C antes de pasar al análisis.

vi. Análisis de los resultados

El aceite de granada obtenido alcanzó su rendimiento máximo en 24.63%. Adicionalmente, el contenido de ácido punicico del aceite alcanzó valor máximo a 76.62%.(Orak et al., 2012)

Para encontrar el rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$r = \left(\frac{m_{\text{aceite extraido}}}{m_{\text{semillas secas}}} \right) * 100\%$$



3.3.2. Balance de masa.

Para la obtención del aceite se realizaron 9 etapas que serán descritas mediante el siguiente diagrama.

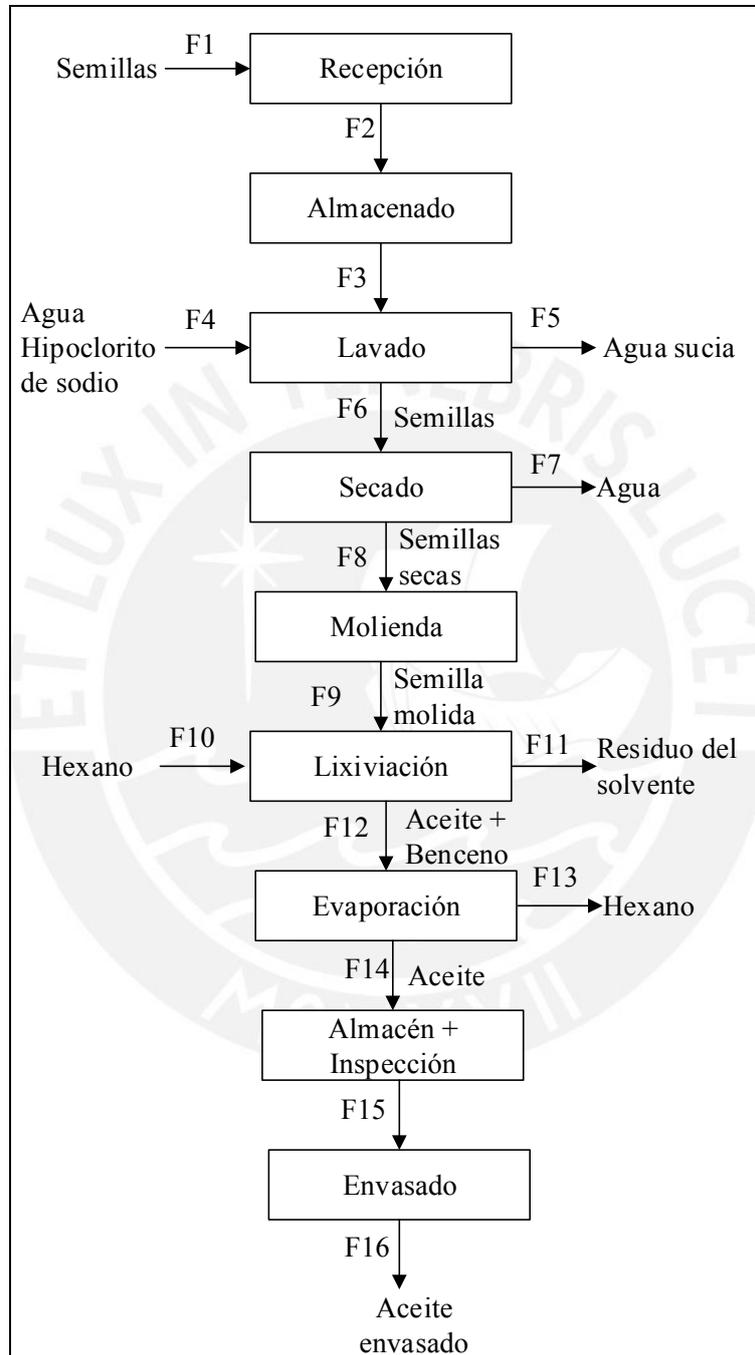


Figura 8: Diagrama del proceso Soxhlet
Fuente: (Adaptado de Hakamine, Hulya y Sebnem 2011)

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, para el flujo de hexano se realizó una conversión explicada en el anexo 3.

Tabla 5

Balance de masa de componentes durante el proceso de Soxhlet [Para una base de 100 kg de semillas]

Composición	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
Aceite	24.96	24.96	24.96	0	0	24.96	0	24.96	24.96	0	5.08	19.88	0	19.88	19.88	19.88
Otros	3.62	3.62	3.62	0	3.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos	45.76	45.76	45.76	0	0	45.76	0	45.76	45.76	0	45.76	0	0	0	0	0
Agua	25.66	25.66	25.66	5	5	25.66	15.66	10	10	0	10	0	0	0	0	0
Hipoclorito	0	0	0	0.0005	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hexano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1309.56	0	1309.56	1309.56	0	0	0

Nota. Tomado de "Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (Punica granatum L.) and inter-relationships with total phenolic, Tannin, anthocyanin, and flavonoid contents", por Hakamine, Hulya y Sebnem, 2011.

Respecto al flujo del aceite, durante todo el experimento, este presentó la siguiente composición (%):

Tabla 6

Flujo de entrada y salida del proceso Soxhlet

Operación	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
Recepción	IN	OUT														
	100	100														
Almacenamiento		IN	OUT													
		100	100													
Lavado			IN	IN	OUT	OUT										
			100	5	8.62	96.38										
Secado						IN	OUT	OUT								
						96.38	15.66	80.72								
Molienda								IN	OUT							
								80.72	80.72							
Lixiviación									IN	IN	OUT	OUT				
									80.72	1309.56	60.84	1329.44				
Evaporación												IN	OUT	OUT		
												1329.44	1309.56	19.88		
Almacén + Inspección														IN	OUT	
														19.88	19.88	
Envasado															IN	OUT
															19.88	19.88

Nota. Tomado de "Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (*Punica granatum* L.) and inter-relationships with total phenolic, Tannin, anthocyanin, and flavonoid contents", por Hakamine, Hulya y Sebnem, 2011.

4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Para comparar los resultados de las tres tecnologías previamente presentadas, se utilizó la metodología del ponderado con los siguientes factores:

- 1) Rendimiento: Es el porcentaje de aceite que se extrae de una semilla seca, se expresa con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{m_{\text{aceite}}(\text{kg})}{m_{\text{semilla seca}}(\text{kg})} * 100\%$$

- 2) Calidad de aceite: La calidad de aceite se determinó con el porcentaje de ácido punicico que contienen los productos finales, alcanzando su valor máximo en un 85% (Textron, 2008) valor a comparar con los resultados de los tres experimentos, se expresa con la siguiente fórmula:

$$\text{Calidad} = \frac{m_{\text{ac.pun}}(\text{kg})}{m_{\text{aceite}}(\text{kg})}$$

- 3) Factibilidad de implementación: Una comparativa con la industria actual y las tecnologías que son más utilizadas para producir aceite, no solo de granada, también de los más producidos a nivel nacional, para concluir si su producción es factible de forma técnica y económica.

La metodología para seleccionar la tecnología a utilizar se siguieron una serie de pasos descritos en el anexo 4.

Tabla 7

Tabla de comparación - ponderado

Factores	Peso relativo	Prensado	Calif. (0-5)	Extracción con CO2	Calif. (0-5)	Extracción con hexano	Calif. (0-5)
Rendimiento	30%	15%	4	13.03%	3	24.63%	5
Calidad de aceite	30%	65.3%	4	73.7%	5	76.62%	5
Factibilidad de implementación	40%	5*	5	2**	3	2**	3
Total	100%	4.4		3.6		4.2	

* La factibilidad de implementación más utilizadas es la del prensado es de 5, ya que al trabajar con solventes estos pueden quedar unidos a los aceites, de este modo, limitando su uso para el consumo, además de que, al no utilizar solventes, se disminuye el costo de extracción. (Plank, 2005)

**Ambos procesos presentan tiempo de procesamientos alrededor de tres horas y los experimentos suelen ser aplicados a muestras pequeñas, entre 30 a 40 gr, que gracias a la relación solvent/feed se puede realizar una comparativa; Sin embargo, elaborar equipos a la medida para producir únicamente aceite puede resultar inviable económicamente.

5. CONCLUSIÓN

Finalmente, se elige el prensado en frío con una máquina expeller para la obtención de aceite, ya que presenta un rendimiento aceptable de un 15% y con un porcentaje de ácido punicico bueno de un 65,3%, pero el aspecto a resaltar para concluir en su elección es su factibilidad de implementación a gran escala, al no necesitar solventes o equipo especializado resulta una alternativa a considerar si es que se quiere empezar en la producción de aceite vegetal a base de semilla de granada.



6. CASOS COMPLEMENTARIOS.

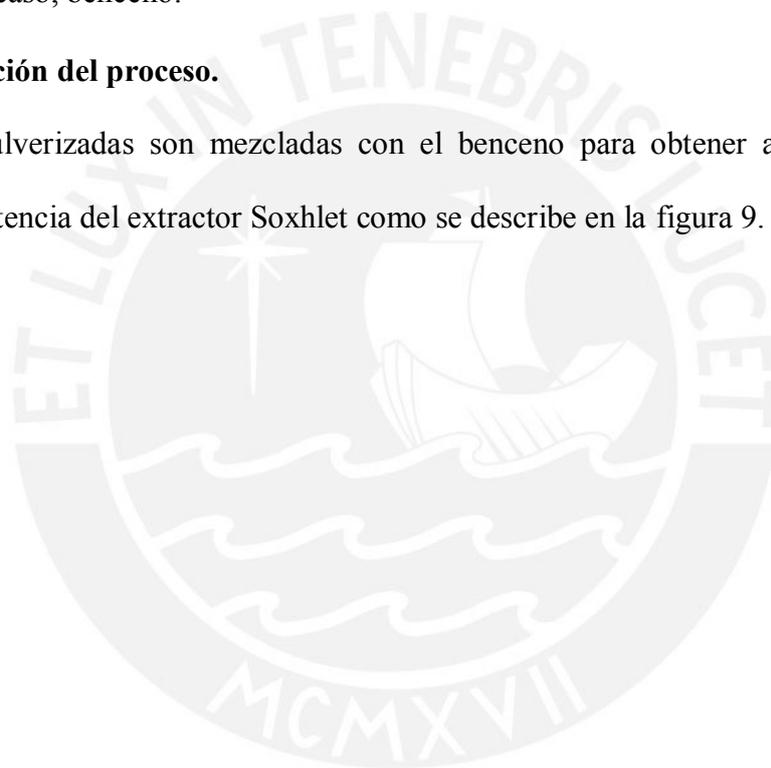
Existen otros métodos a considerar; Sin embargo, su aplicación a gran escala se encuentra en estudio, ya que no se encuentran máquinas para su producción de forma industrial.

6.1. Extracción mediante lixiviación con agitación “Soxhlet” con solvente – Benceno.

Es parecido al método de extracción para el hexano, pero la diferencia está en el solvente a utilizar, en este caso, benceno.

6.1.1. Descripción del proceso.

Las semillas pulverizadas son mezcladas con el benceno para obtener aceite de granada mediante la asistencia del extractor Soxhlet como se describe en la figura 9.



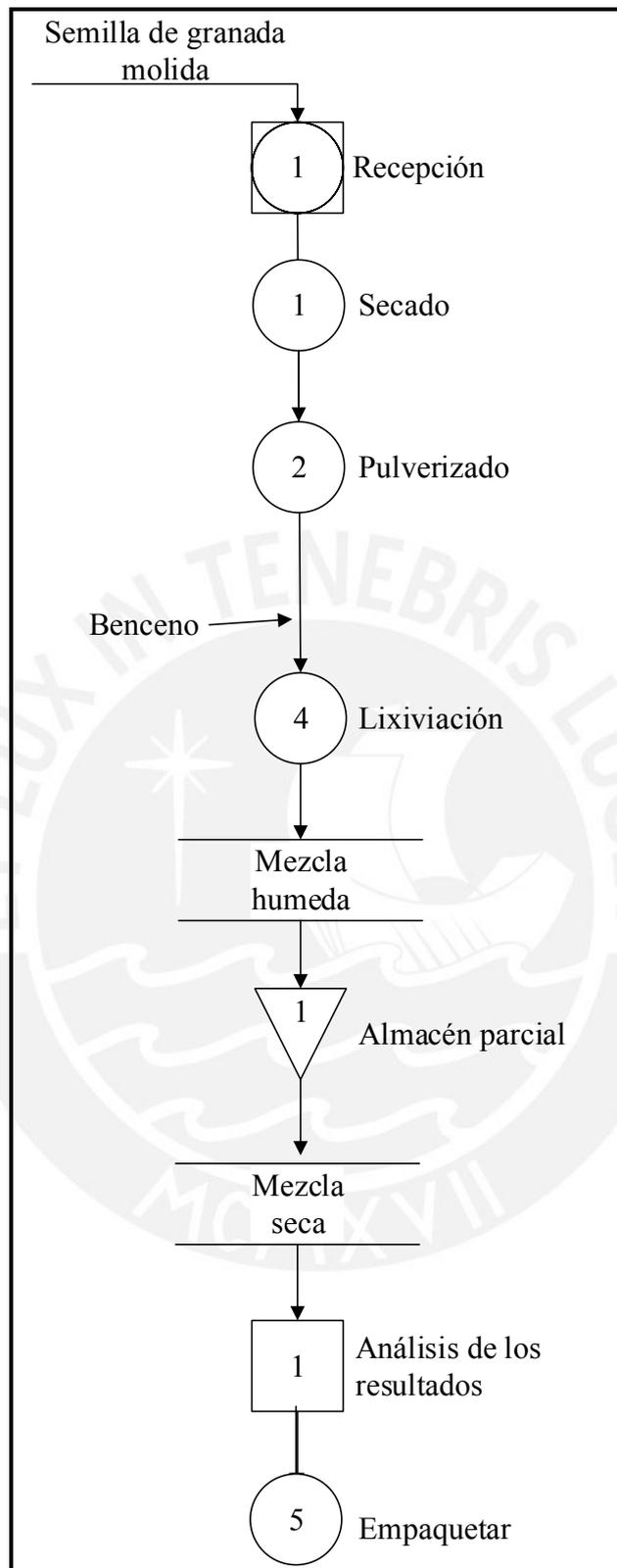


Figura 9: DOP para benceno

Tomado de "Optimisation of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. *Food technology and biotechnology*" FTB, 2017.

Operaciones:

i. Recepción e inspección

Se verifica que las semillas obtenidas, en este caso, de una empresa que realiza jugos de frutas, se encuentren aptas para la producción de aceite. También se reciben los demás insumos como los reactivos y solventes que realizaron pruebas de grado analítico o cromatógrafo.

ii. Secado

Las semillas fueron secadas hasta presentar un contenido de humedad con un horno al vacío a 35°C por tres horas.

iii. Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moladora de café. También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

Estas partículas fueron selladas en botellas de vidrio y mantenidas a una temperatura de 4°C hasta que la extracción finalizó.

iv. Mezclado

Se mezcló el solvente (hexano) con las semillas molidas (D1: 0,125-0,45 mm) con una relación de 20/1 (L/Kg) en la maquina Soxhlet convencional a 110°C por 8 horas.

v. Almacén del aceite

Se almacenó el aceite a -20°C antes de pasar al análisis.

6.1.2. Balance de masa.

La obtención del aceite por lixiviación del benceno, como se observa en la figura 10, consta de nueve etapas.

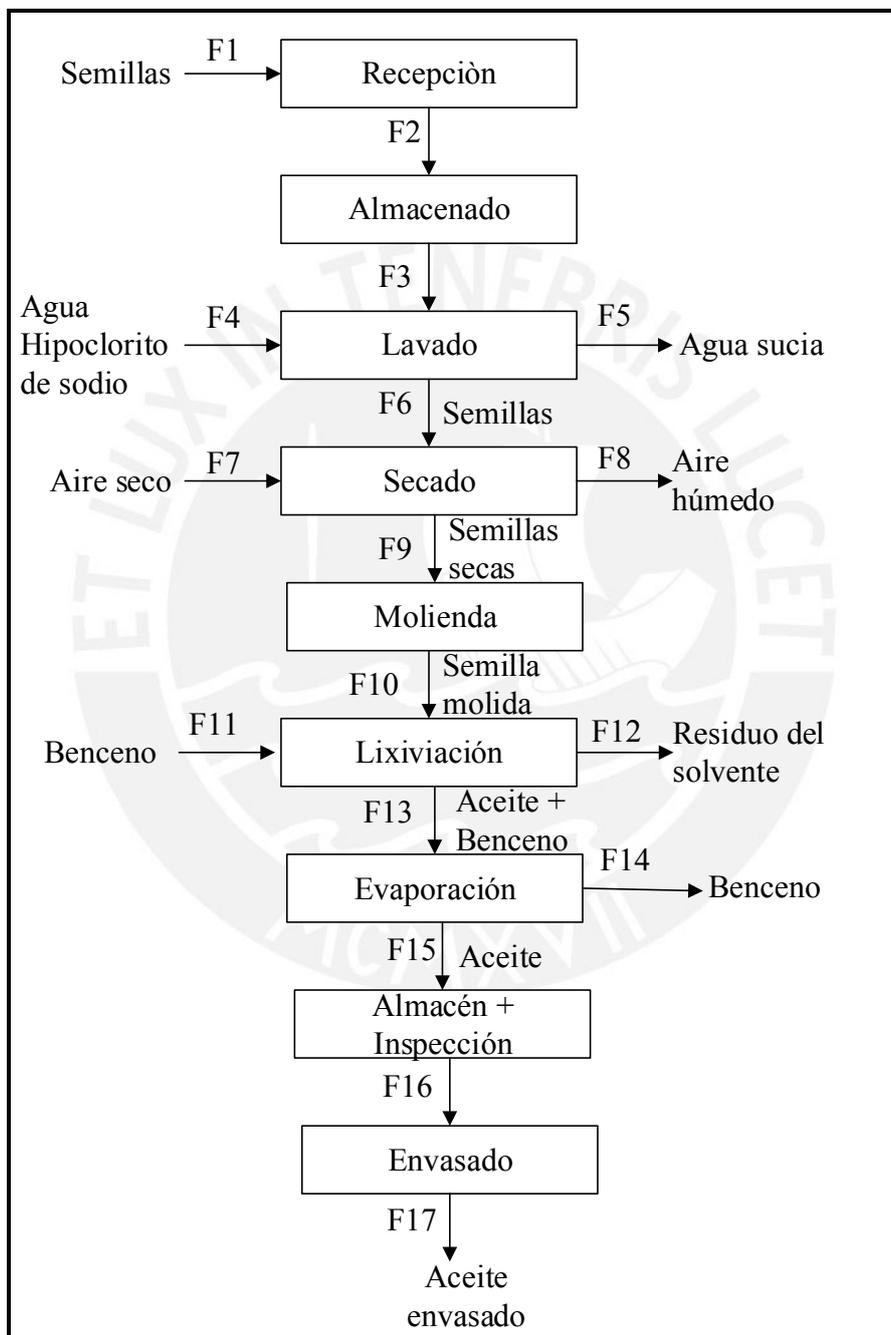


Figura 10: Diagrama para benceno

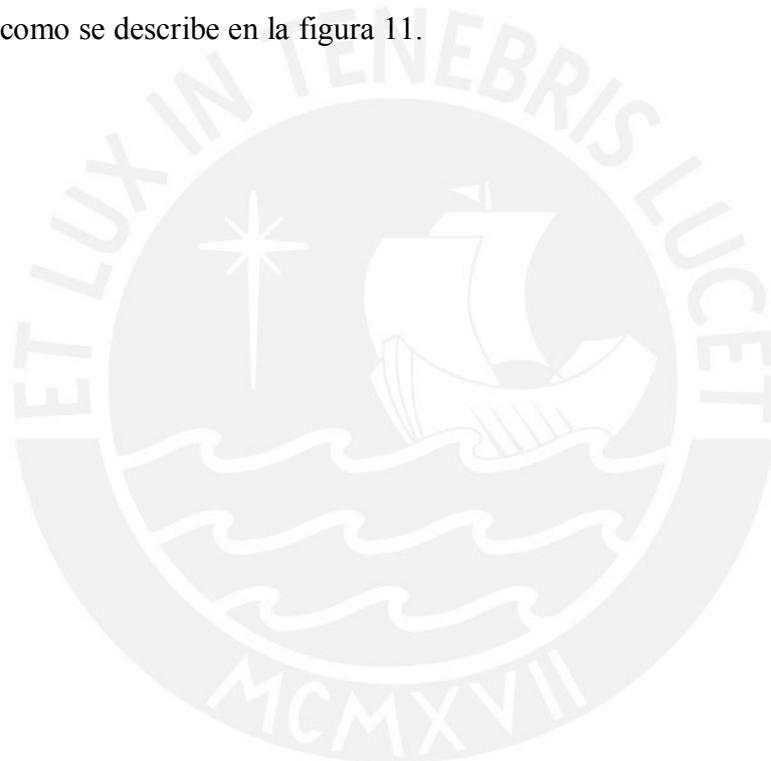
Tomado de "Optimisation of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. *Food technology and biotechnology*" FTB, 2017

6.2. Extracción por lixiviación con agitación por solvente– Hexano.

Es un proceso tradicional para la obtención del aceite, este se realiza con un agitador magnético con el que se puede mezclar las semillas pulverizadas y el solvente, en este caso el hexano, mediante diferentes procesos descritos a continuación.

6.2.1. Descripción del proceso.

La extracción de aceite por mezclado necesita un agitador magnético para obtener la mezcla con el solvente, como se describe en la figura 11.



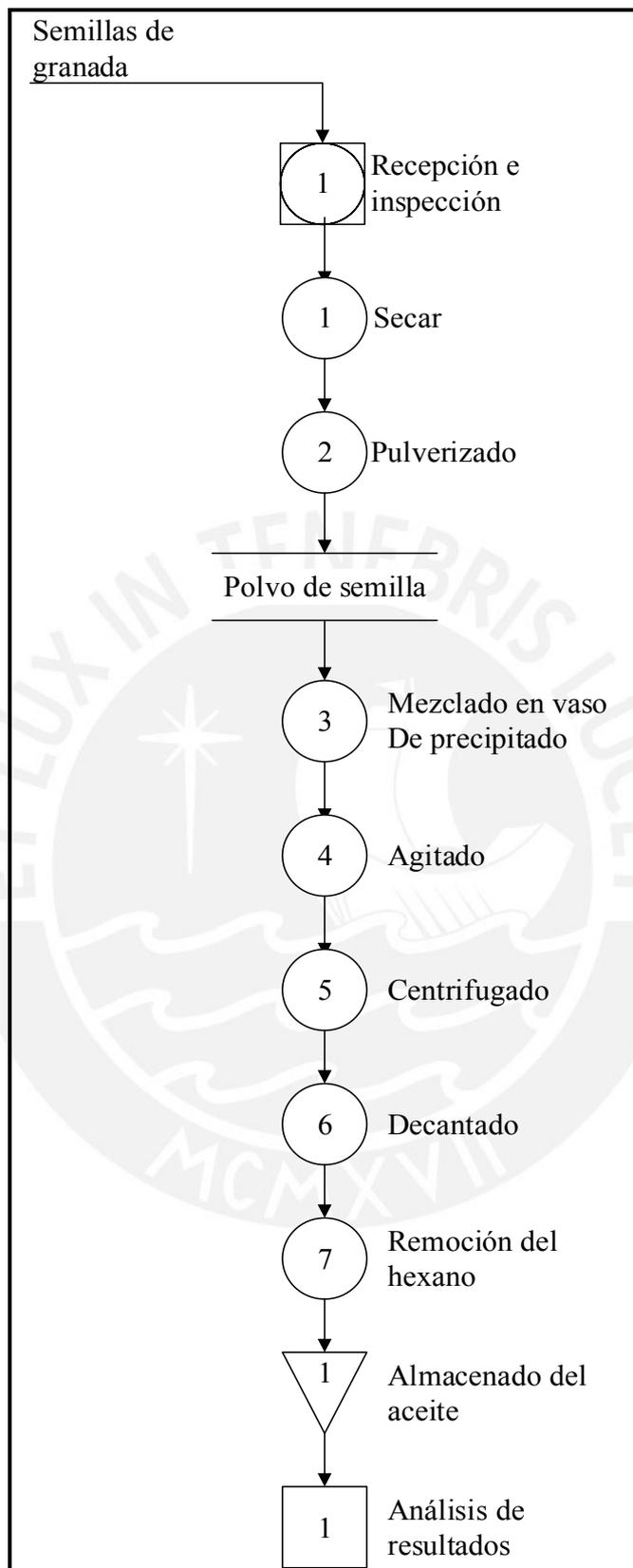


Figura 11: DOP de lixiviación por hexano

Tomado de "Optimisation of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

Operaciones

vii. Recepción e inspección

Se verifica que las semillas obtenidas, en este caso, de una empresa que realiza jugos de frutas, se encuentren aptas para la producción de aceite. También se reciben los demás insumos como los reactivos y solventes que realizaron pruebas de grado analítico o cromatógrafo.

viii. Secado

Las semillas fueron secadas hasta presentar un contenido de humedad con un horno al vacío a 35°C por tres horas.

ix. Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moledora de café. También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

Estas partículas fueron selladas en botellas de vidrio y mantenidas a una temperatura de 4°C hasta que la extracción finalizó.

x. Mezclado

Se mezcla en una relación de 1:10; Es decir, un gramo de semillas molidas es equivalente a 10 ml de solvente.

xi. Agitado

Los insumos fueron puestos dentro de un vaso de precipitación y agitado mediante un agitador magnético (modelo 613.01.001; Isolab Werthlem, Alemania) con un tiempo de extracción de 8 horas a 25°C.

xii. Centrifugado

El sólido remanente es precipitado mediante un centrifugado.

xiii. Remover hexano

El hexano es removido a 40°C, mediante un evaporador al vacío.

xiv. Almacenar aceite

El aceite se almacena a -20°C.



6.2.2. Balance de masa.

Para la obtención de aceite por lixiviación en hexano, se realiza mediante 10 etapas, presentadas en la figura 12.

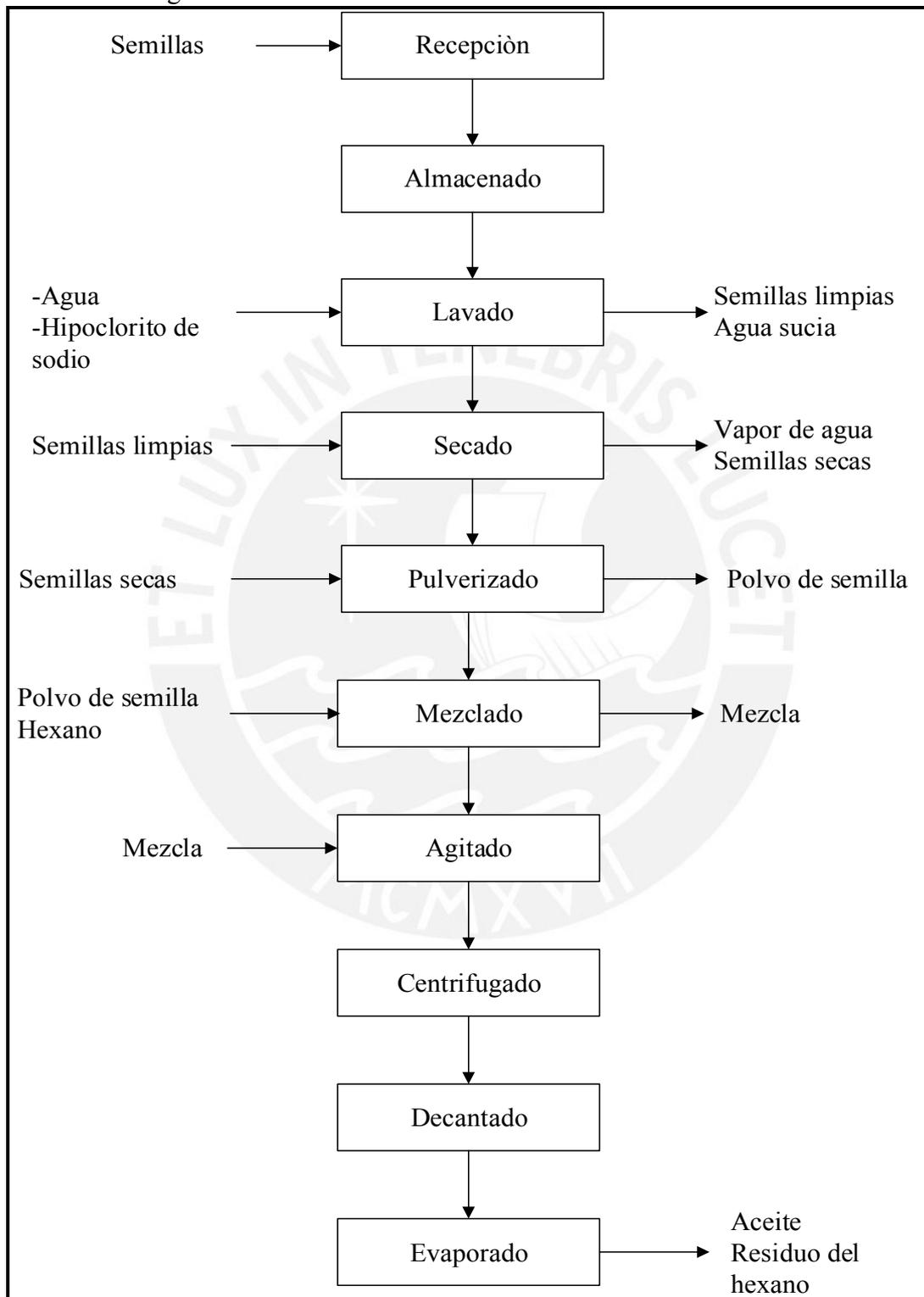


Figura 12: Diagrama de bloques para la lixiviación por hexano

Tomado de "Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

6.3. Extracción asistida por microondas – Benceno.

La extracción asistida por microondas (MASE por sus siglas en ingles), es una técnica de extracción la cual utiliza el aparato anteriormente mencionado para mezclar el polvo de granada con el solvente, en este caso benceno, para producir aceite de granada, como se explicará a continuación.

6.3.1. Descripción del proceso.

La extracción de aceite asistido con el microondas casero es un proceso iterativo con resultados distintos dependiendo cuantas veces y periodos se utilice el mismo, microondas, para la obtención de aceite que se describe en el diagrama de la figura 13.



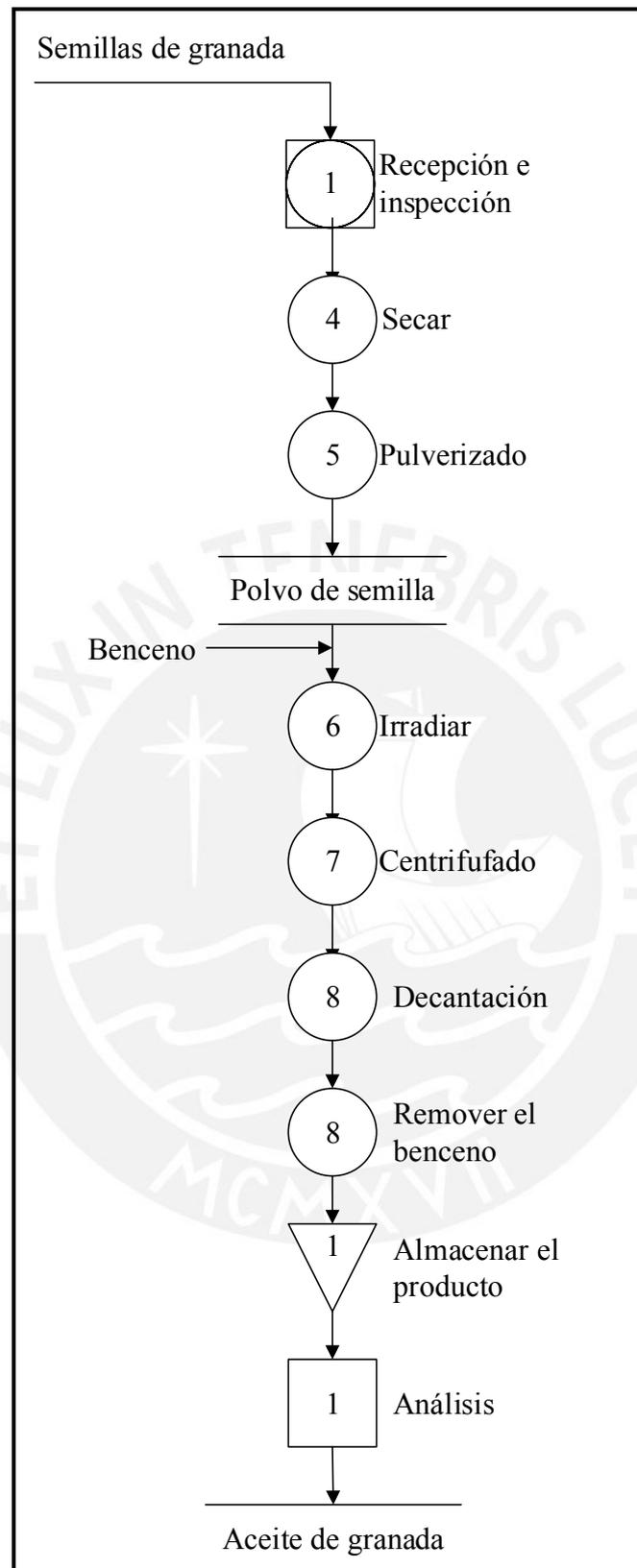


Figura 13: DOP microondas benceno

Tomado de "Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

Operaciones:i. Recepción e inspección

Se verifica que las semillas obtenidas, en este caso, de una empresa que realiza jugos de frutas, se encuentren aptas para la producción de aceite. También se reciben los demás insumos como los reactivos y solventes que realizaron pruebas de grado analítico o cromatógrafo.

ii. Secado

Las semillas fueron secadas hasta presentar un contenido de humedad con un horno al vacío a 35°C por tres horas.

iii. Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moladora de café. También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

Estas partículas fueron selladas en botellas de vidrio y mantenidas a una temperatura de 4°C hasta que la extracción finalizó.

iv. Irradiado

Fue realizado con un microondas a 2450 MHZ, la extracción fue revisada y monitorizada. Las semillas y el solvente(benceno) fueron puestos en un recipiente de cuarzo para

microondas y fue sellado a presión. Los valores de poder y tiempo fueron ajustados mediante un software.

El tiempo requerido para el calentamiento y enfriado no se consideró para el tiempo de extracción.

v. Centrifugado

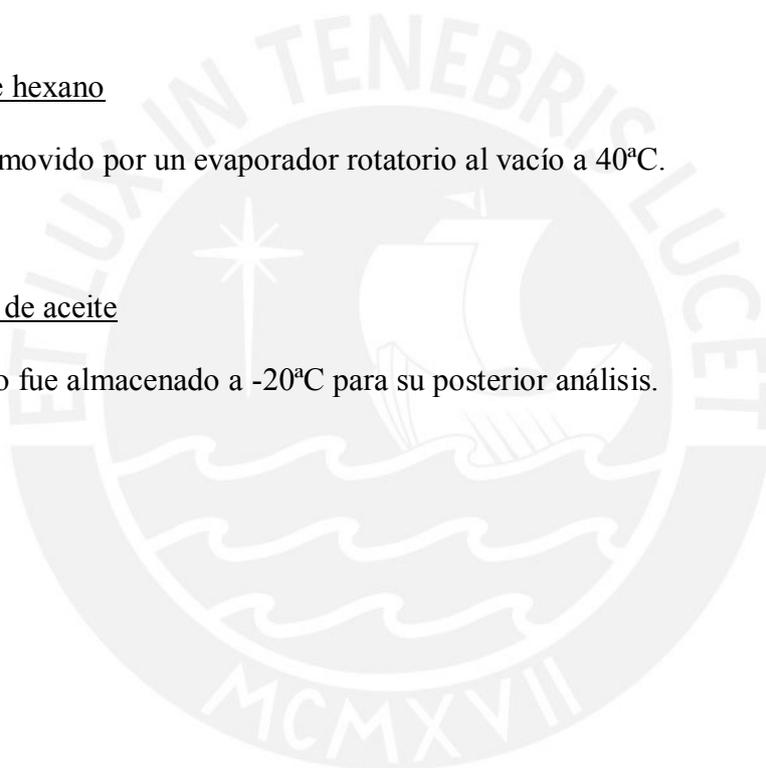
Después de la extracción, el residuo fue precipitado por centrifugado.

vi. Remoción de hexano

El hexano fue removido por un evaporador rotatorio al vacío a 40°C.

vii. Almacenado de aceite

El aceite extraído fue almacenado a -20°C para su posterior análisis.



6.3.2. Balance de masa.

En el diagrama presente en la figura 14 se presentan las etapas involucradas para la obtención de aceite, que en el caso del microondas son nueve etapas.

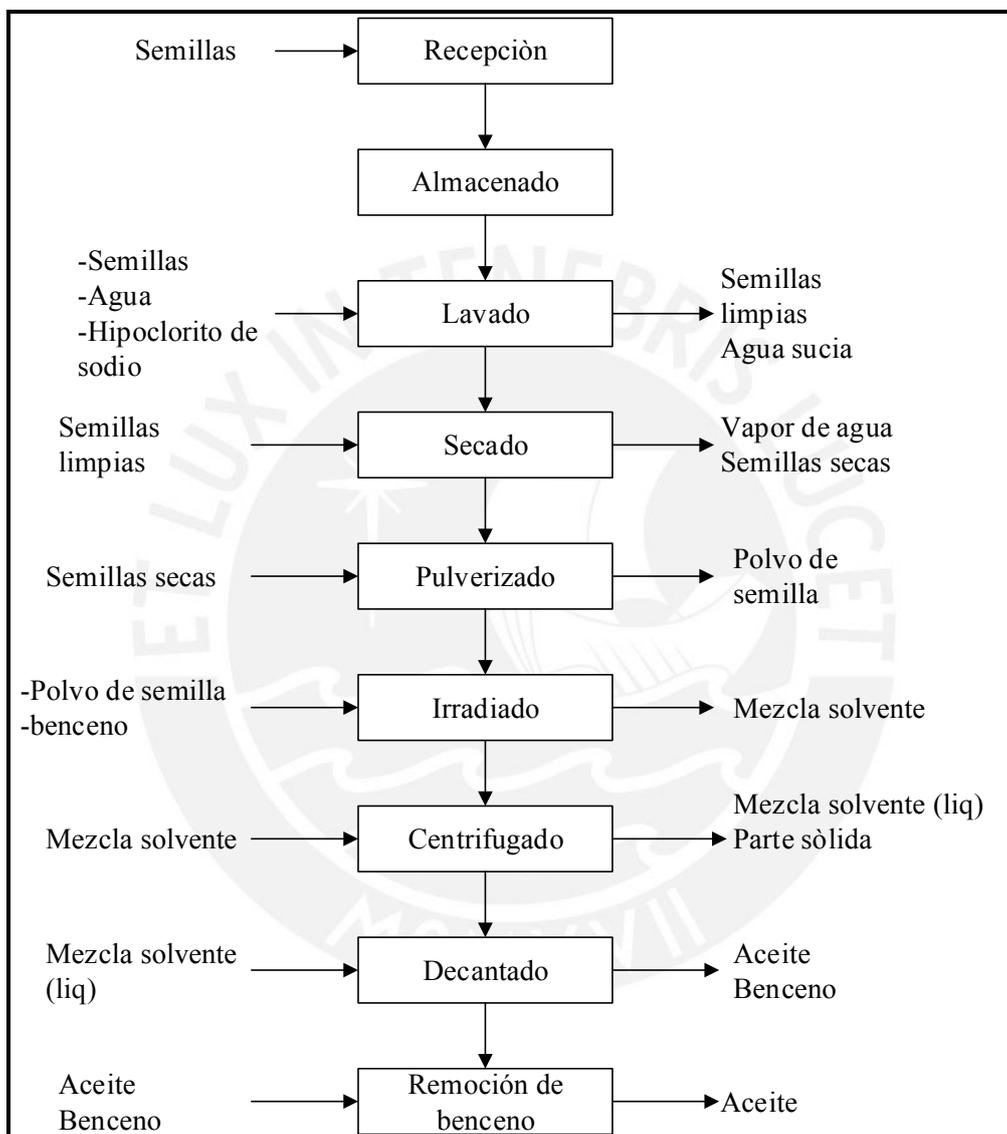


Figura 14: Balance de masas de microondas por benceno

Tomado de "Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

6.4. Extracción asistida por microondas – Hexano.

Parecido al método explicado anteriormente, pero en este caso el solvente para mezclar al polvo es el hexano, esto se explicará a continuación.

6.4.1. Descripción del proceso

La extracción de aceite asistido con el microondas casero es un proceso iterativo con resultados distintos dependiendo cuantas veces y periodos se utilice el mismo, microondas, para la obtención de aceite que se describe en el diagrama de la figura 15.



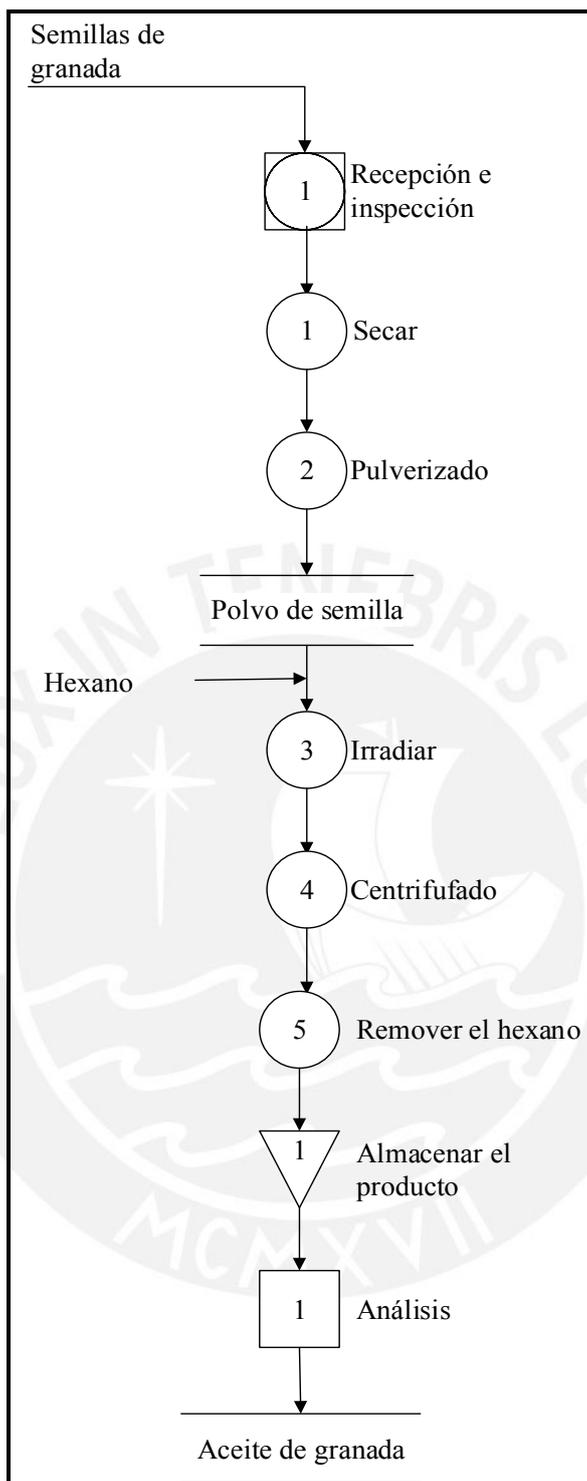


Figura 15: DOP microondas hexano

Tomado de "Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

Descripción de las partes:

viii. Recepción e inspección

Se verifica que las semillas obtenidas, en este caso, de una empresa que realiza jugos de frutas, se encuentren aptas para la producción de aceite. También se reciben los demás insumos como los reactivos y solventes que realizaron pruebas de grado analítico o cromatógrafo.

ix. Secado

Las semillas fueron secadas hasta presentar un contenido de humedad con un horno al vacío a 35°C por tres horas.

x. Pulverizado

Las semillas fueron molidas por una maquina moledora de café. También se realizó un tamizado de tres etapas para obtener partículas finas, este proceso se realizó con tamizadores de tres dimensiones:

D1: 0,125-0,45 mm

D2: 0,45-0,53 mm

D3: 0,53-0,80 mm

Estas partículas fueron selladas en botellas de vidrio y mantenidas a una temperatura de 4°C hasta que la extracción finalizó.

xi. Irradiado

Fue realizado con un microondas a 2450 MHZ, la extracción fue revisada y monitorizada. Las semillas y el solvente(hexano) fueron puestos en un recipiente de cuarzo para microondas y fue sellado a presión. Los valores de poder y tiempo fueron ajustados mediante un software. El tiempo requerido para el calentamiento y enfriado no se consideró para el tiempo de extracción.

xii. Centrifugado

Después de la extracción, el residuo fue precipitado por centrifugado.

xiii. Remoción de hexano

El hexano fue removido por un evaporador rotatorio al vacío a 40°C.

xiv. Almacenado de aceite

El aceite extraído fue almacenado a -20°C para su posterior análisis.

6.4.2. Balance de masa.

Como se observa en la figura 16, la semilla realiza más de 8 cambios antes de obtener el aceite.



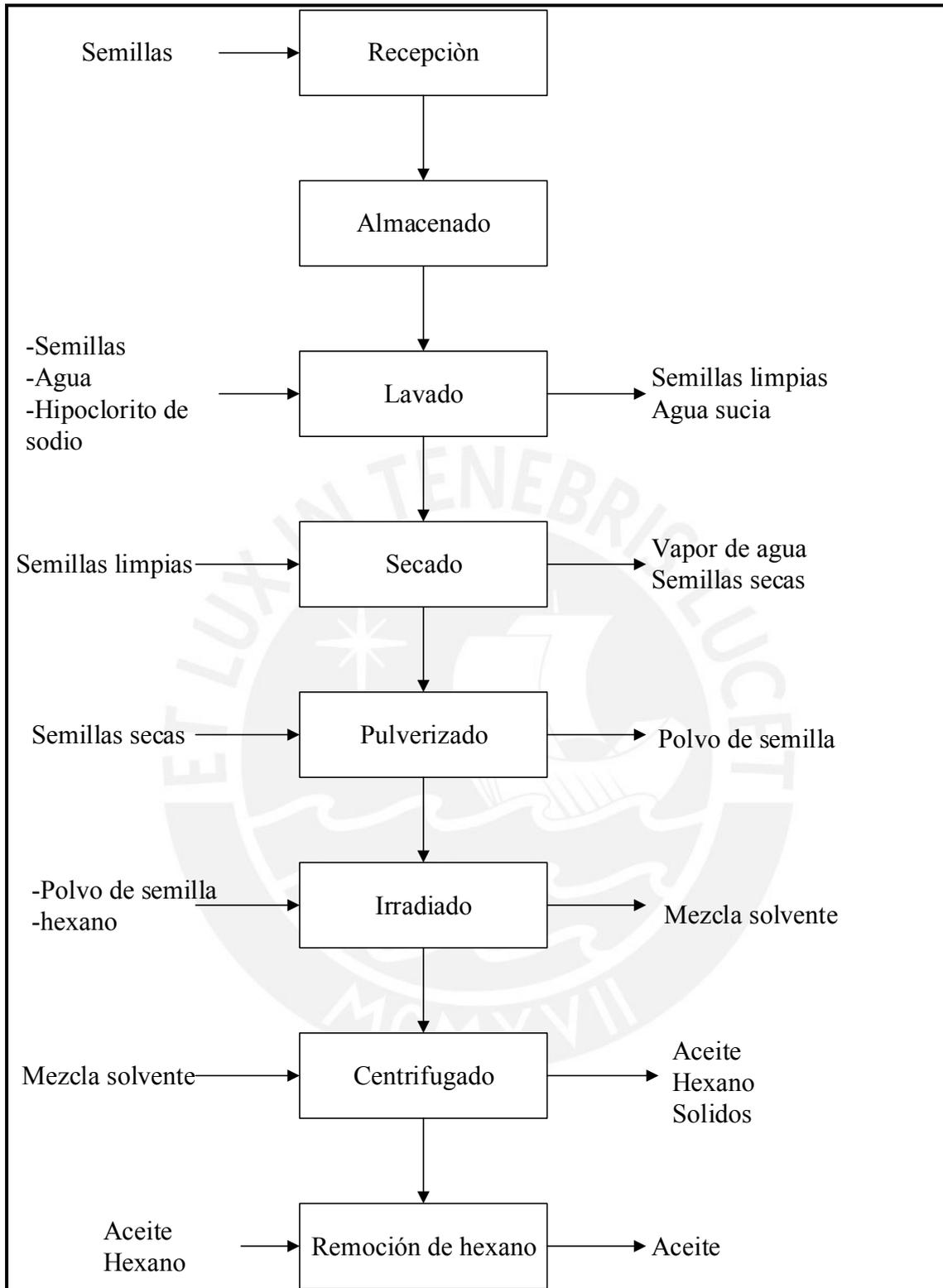


Figura 16: Balance de masas microondas hexano

Tomado de "Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. Food technology and biotechnology" FTB, 2017

BIBLIOGRAFÍA

Çavdar, H. K., Yanık, D. K., Gök, U., & Göğüş, F. (2017). Optimisation of Microwave-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil and Evaluation of Its Physicochemical and Bioactive Properties. *Food technology and biotechnology*, 55(1), 86–94. doi:10.17113/ftb.55.01.17.4638

Orak, Hakime & Yagar, Hulya & selen isbilir, Sebnem. (2012). *Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (Punica granatum L.) and inter-relationships with total phenolic, Tannin, anthocyanin, and flavonoid contents*. Food Science and Biotechnology. 21. 10.1007/s10068-012-0049-6.

Plank,R. (2005). *El empleo del frío en la industria de la alimentación. (1er.ed)*. Barcelona, España: Reverté.

Yehoshua & Philip & Neeman (1999). *Antioxidant and eicosanoid enzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids*. Laboratory of Food Engineering and Biotechnology, Nesher, Israel.

Cefla (2015).*Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal de las semillas de chia*.EPN. Ecuador.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10365/3/CD-6164.pdf>

Textron (2008). *Pomegranate seed oil- “Product data sheet”*. Barcelona, España.

https://www.brenntag.com/media/documents/bsi/product_data_sheets/life_science/textron_natural_oils/pomegranate_seed_oil_tx008045_pds.pdf

Orak, H.H., Yagar, H. & Isbilir, S.S. Food Sci Biotechnol (2012) 21: 373.
<https://doi.org/10.1007/s10068-012-0049-6>

Orak, Hakime & Yagar, Hulya & selen isbilir, Sebnem. (2012). Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (*Punica granatum* L.) and inter-relationships with total phenolic, Tannin, anthocyanin, and flavonoid contents. Food Science and Biotechnology. 21. 10.1007/s10068-012-0049-6.

Lansky & Newman (2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.006>.

Gutierrez & Terrones (2016). *Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Granada (Punica Granatum)*. Universidad Nacional Del Santa, Chimbote, Perú.

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2993/42908.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Peris, Bautista & Stübing. (1996). *Guia de las Plantas Medicinales de la comunidad valenciana*. Domenech, Federico, S.A. Editorial, 1996-416 páginas.

Ahangari, B. & Sargolzaei, J. Theor Found Chem Eng (2012). *Extraction of pomegranate seed oil using subcritical propane and supercritical carbon dioxide*. 46: 258.

<https://doi.org/10.1134/S0040579512030013>.

Plank (1984). *El empleo del frio en la industria de la alimentación*. 97884291801007.

<https://books.google.com.pe/books?id=pOQNOei7mIUC>



ANEXO

Anexo A: Obtención de flujos para el prensado.

- Componentes de la semilla.

1. Se presenta un flujo inicial de semillas de 100 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Semillas	100

2. Según la bibliografía de Lansky y Newman (2008) el aceite de granada dentro de una semilla es aproximadamente del 20%, por lo que un 20% de 100 kg es 20 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20
Otros	80

3. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de agua en las granadas es de 25.66%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20
Agua	25.66
Otros	34.34

4. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de cenizas en las granadas es de 3.62%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20
Agua	25.66
Cenizas (otros)	3.62
Sólidos	51

- Obtención del aceite.

1. Al obtener el siguiente flujo de semillas secas:

F8
20
0
50.7
10
0

2. Es decir se obtiene un total de 80.7 kg de semillas secas, utilizando el rendimiento del experimento es decir $m(\text{aceite})/ m(\text{semilla seca})$, se obtiene un rendimiento del 15% que se expresa en un total de 12.11 kg de aceite.

Anexo B: Obtención de flujos para la extracción supercrítica con dióxido de carbono.

- Componentes de la semilla.

1. Se presenta un flujo inicial de semillas de 100 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Semillas	100

2. Según la bibliografía de Lansky y Newman (2008) el aceite de granada dentro de una semilla es aproximadamente del 20%, por lo que un 20% de 100 kg es 20 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20
Otros	80

3. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de agua en las granadas es de 25.66%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20
Agua	25.66
Otros	34.34

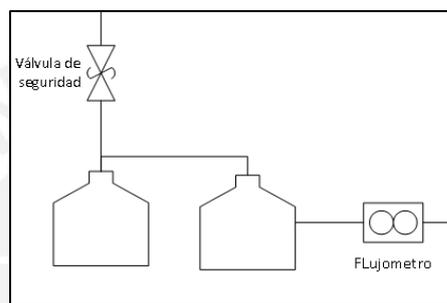
4. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de cenizas en las granadas es de 3.62%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	20

Agua	25.66
Cenizas (otros)	3.62
Sólidos	51

- El flujo del solvente.

1. En la salida del extractor de aceite se tiene el siguiente flujometro:



2. Se supone un comportamiento ideal en el experimento, es decir: 1 atm y 25°C. Ya que sale CO₂ en estado gaseoso, se puede aplicar la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

3. Según los datos del experimento, se tiene un flujo de 10 L/h y el experimento es realizado por 3 horas y la constante (R) es igual que 0.082 atm·l / mol·K. Entonces se tiene:

$$(1 \text{ atm}) \cdot (10 \text{ L/h}) \cdot (3 \text{ h}) = n \cdot (0.082) \cdot (25 + 273)$$

$$n = 1.227 \text{ mol}$$

4. El peso de una mol de CO₂ es de 44g/mol, entonces se tienen:

$$n = 1.227 \cdot 44 = 54.019 \text{ g}$$

5. Entonces la relación solvent /feed es de :

$$\frac{\text{Solvent}}{\text{Feed}} = \frac{54.02}{20} = 2.7$$

6. En el experimento para 100g se necesita 270 kg de solvente.

$$X = 100 \cdot 2.7 = 270 \text{ kg}$$

- Obtención del aceite.

1. Al obtener el siguiente flujo de semillas secas:

F8
20
0
50.7
10
0

2. Es decir se obtiene un total de 80.7 kg de semillas secas, utilizando el rendimiento del experimento es decir $m(\text{aceite}) / m(\text{semilla seca})$, se obtiene un rendimiento del 13.03% que se expresa en un total de 10.58 kg de aceite.

Anexo C: Obtención de flujos para la extracción “Soxhlet” por solvente (hexano).

- Componentes de la semilla.

1. Se presenta un flujo inicial de semillas de 100 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Semillas	100

2. Según la bibliografía de Orak y Yagar (2012) el aceite de granada dentro de una semilla es aproximadamente del 24.96%, por lo que un 24.96% de 100 kg es 24.96 kg.

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	24.96
Otros	75.04

3. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de agua en las granadas es de 25.66%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	24.96
Agua	25.66
Otros	49.38

4. Según Peris, Stübing (1996) el contenido de cenizas en las granadas es de 3.62%, por lo tanto la composición sería:

Componente	Cantidad (kg)
Aceite	24.96

Agua	25.66
Cenizas (otros)	3.62
Sólidos	45.76

- El flujo del solvente.

1. Se tiene una relación de mezcla de 20/1 (L de hexano/kg de semillas), por lo tanto al encontrar la densidad de las tablas MIST, se obtiene la siguiente relación:

$$20 \frac{\text{L hexano}}{\text{kg}} * 0.65478 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 13.0956 \text{ kg hexano / kg semilla}$$

2. Por lo tanto, se tiene una relación solvent/feed de 13.0956; Es decir:

$$\text{Flujo de hexano} = 13.0956 * 100 = 1309.56 \text{ kg}$$

- Obtención del aceite.

1. Al obtener el siguiente flujo de semillas secas:

F8
20
0
50.7
10
0

2. Es decir se obtiene un total de 80.7 kg de semillas secas, utilizando el rendimiento del experimento es decir $m(\text{aceite})/ m(\text{semilla seca})$, se obtiene un rendimiento del 24.73% que se expresa en un total de 19.96 kg de aceite.



Anexo D: Obtención de resultados en la tabla comparativa.

- Porcentaje de aceite.

1. De los resultados tanto para el prensado como para el supercrítico con dióxido de carbono, se tiene un porcentaje de aceite inicial en la semilla de 20%. Por lo tanto, los puntajes obtenidos de los resultados son:

1	2	3	4	5
[0-4]	[5-8]	[9-12]	[13-16]	[16-20]

2. En este caso como los resultados son 15% para el prensado y 13.03% para el supercrítico, se obtienen lo siguiente:

Tecnología	Resultado (%)	Puntaje
Prensado	15	4
Supercrítico	13.03	3

3. Sin embargo, para el Soxhlet, se tiene un porcentaje inicial de 24.96 aproximadamente 25, entonces sus puntajes son:

1	2	3	4	5
[0-5]	[6-10]	[11-15]	[16-20]	[21-25]

4. En este caso se tiene un 24.73%, se obtienen lo siguiente:

Tecnología	Resultado (%)	Puntaje
Soxhlet	24.73	5

5. Por lo tanto, los puntajes son los observados en la tabla.

- Calidad de aceite.

1. La calidad se determina por el porcentaje de ácido punicico en el aceite, ya que de este depende las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias del aceite. Por lo tanto, se comparan los resultados respecto al máximo porcentaje en las semillas, que es de un 85%.

Se tiene:

1	2	3	4	5
[0-17]	[18-34]	[35-51]	[51-68]	[68-85]

2. Por lo tanto, por los resultados en los análisis de los distintos experimentos, se tienen los siguientes resultados con sus respectivos puntajes:

Tecnología	Resultado (%)	Puntaje
Prensado	65.3	4
Supercrítico	73.7	5
Soxhlet	76.62	5

- Factibilidad de implementación.

1. Para el prensado: Debido a que:

- I. Es la tecnología más fácil de aplicar a gran escala, al no requerir un equipo tan especializado.
- II. No utiliza solventes y se evitan las limitaciones alimentarias que esto puede traer, además se evita el costo del solvente.
- III. Es la tecnología más utilizada a nivel industrial, a lo que se refiere a la extracción de aceite como en las aceitunas o las semillas de uva.

Por lo explicado, se le entrega un puntaje de 5.

2. Para ambas tecnologías que utilizan solvente:

- I. Presentan una mayor cantidad de aceite extraído por semilla seca.

- II. Presentan una mayor calidad de aceite con un porcentaje mayor de ácido púnicico.
- III. Sin embargo, su escalabilidad es costosa y se tienen una incertidumbre respecto a su viabilidad económica.

Por lo tanto, son buenos, pero no son la mejor alternativa al corto o mediano plazo, por lo tanto

Se tiene un puntaje de 3.

