

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Extracción de aceite de semillas de uva (Red Globe) a escala de laboratorio  
por método Soxhlet

Tesis presentada por Kimberly Analy Sención Ramírez  
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2025



# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería




Extracción de aceite de semillas de uva (Red Globe) a escala de laboratorio  
por método Soxhlet

Tesis presentada por Kimberly Analy Sención Ramírez  
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química


Guatemala,

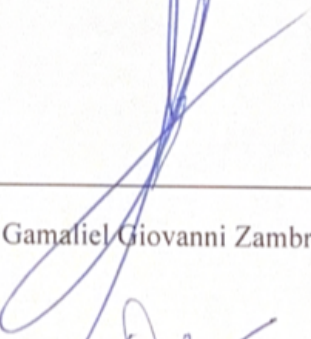
2025

Vo. Bo.

(f)   
MSc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

Terna examinadora

(f)   
MSc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f)   
M.A. Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda

Fecha de aprobación: Guatemala, 11 de diciembre de 2025

## **PREFACIO**

La realización de esta tesis ha significado un camino de aprendizajes, retos, incertidumbre y de mucho crecimiento personal. Cada etapa del proceso, con sus dificultades y satisfacciones, me permitieron descubrir nuevas capacidades y, asimismo, valorar aún más la importancia de la fe, constancia y el apoyo recibido en el transcurso de este proyecto.

Por ello, deseo expresar mi gratitud:

En primer lugar, a Dios, quien me dio la sabiduría y fortaleza necesaria para realizar este trabajo. Su presencia en los momentos de cansancio y de duda, hicieron posible que cada obstáculo se convirtiera en una oportunidad de aprendizaje. Sin Su guía y bendición, no habría sido posible.

A mis padres, por darme su amor, apoyo incondicional y el ejemplo de esfuerzo. Cada palabra de aliento y confianza fueron la base.

A mi hermano y mis primos, por siempre estar presentes para mí durante estos años, así como a mis abuelitos, por siempre dar una palabra de apoyo; sin lugar a duda, todos esenciales en mi vida.

Un agradecimiento especial, al Ing. Luis Núñez y a la Ing. Carmen Ortíz, por el tiempo dedicado a resolver mis dudas y compartir sus conocimientos para la elaboración de esta tesis. Al Ing. Zambrano por sus consejos y apoyo. A la Universidad del Valle de Guatemala y a su cuerpo de catedráticos, que me han brindado su conocimiento a lo largo de este tiempo de estudio.

Finalmente me gustaría agradecer a todos los amigos que tuve la oportunidad de hacer durante estos 5 años, amistades que me llevo en el corazón; gracias por las risas y los momentos compartidos, hicieron de mi experiencia en la Universidad mucho mejor.

# ÍNDICE

PREFACIO.....	iv
LISTADO DE FIGURAS.....	vii
LISTADO DE TABLAS .....	ix
LISTADO DE ECUACIONES .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. General.....	2
B. Específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Generalidades de la uva.....	4
B. Mayores productores y consumidores de uva en el mundo.....	5
C. Consumo y producción de uva en Guatemala .....	6
D. Consumo de uvas para el mercado de vino en Guatemala .....	8
E. Especies de uva.....	8
F. Características de la variedad Red Globe.....	11
G. Aceite de semilla de uva.....	15
H. Contenido del aceite de semilla de uva .....	17
I. Aplicaciones industriales del aceite de semilla de uva.....	18
J. Métodos de extracción de aceite de semillas.....	19
K. Selección de solvente en método de Soxhlet.....	23
L. Procesos de separación.....	24
M. Modelo matemático.....	26
N. Balance de masa .....	26
O. Balance de energía.....	27
P. Diagrama de flujo .....	27

V. ANTECEDENTES .....	29
VI. METODOLOGÍA .....	32
A. Materiales .....	32
B. Metodología general .....	33
C. Construcción del modelo matemático que describe el rendimiento en función del tiempo de extracción.....	37
VII. RESULTADOS.....	38
A. Acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe.....	38
B. Extracción por Soxhlet .....	40
C. Separación por destilación simple .....	42
D. Aceite recuperado .....	43
E. Propuesta de operaciones unitarias.....	43
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48
IX. CONCLUSIONES.....	54
X. RECOMENDACIONES .....	55
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	56
XII. ANEXOS .....	61
A. Datos de placa del equipo.....	61
B. Datos de cristalería .....	65
C. Datos originales .....	67
D. Ecuaciones .....	79
E. Cálculo de muestra .....	87
F. Análisis estadístico .....	93
G. Datos calculados .....	97
H. Pruebas de experimentación .....	116
I. Hoja de seguridad de solvente .....	123
XIII. GLOSARIO .....	126

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la uva.....	4
Figura 2. Uvas rojas y verdes con semilla producidas en Guatemala .....	7
Figura 3. <i>Vitis Vinifera</i> .....	9
Figura 4. <i>Vitis Labrusca</i> .....	9
Figura 5. <i>Vitis Rotundifolia</i> .....	10
Figura 6. <i>Vitis Rupestris</i> .....	11
Figura 7. Uva Red Globe.....	12
Figura 8. Semilla de la uva tipo Red Globe.....	13
Figura 9. Aceite de uva verde.....	16
Figura 10. Componentes nutricionales de una cucharada de semilla de uva .....	17
Figura 11. Aceite de uva roja.....	17
Figura 12. Equipo de extracción de Soxhlet.....	21
Figura 13. Montaje de destilación simple.....	25
Figura 14. Montaje destilación fraccionada .....	25
Figura 15. Ajuste de los rendimientos promedios para las corridas .....	41
Figura 16. Análisis de los residuales en función de los tiempos promedios de las corridas .....	41
Figura 17. Diagrama de las operaciones unitarias propuestas para el proceso de extracción de aceite de semilla de uva Red Globe.....	47
Figura 18. Diagrama de bloques con las identificación de corrientes .....	97
Figura 19. Diagrama de bloques con balance de masa del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe a escala laboratorio.....	105
Figura 20. Rendimientos promedio respecto a tiempos promedios de la extracción Soxhlet. ....	113
Figura 21. Establecimiento donde se adquirió la totalidad de las uvas tipo Red Globe; en El Jute, Usulután, Zacapa, para la extracción del aceite de interés .....	116
Figura 22. Uvas tipo Red Globe, aun en racimos, fotografiadas en la finca donde se adquirieron .....	117
Figura 23. Vista general de uno de los lotes de la materia prima.....	117
Figura 24. Extracción manual de las semillas de uva Red Globe.....	118

Figura 25. Lavado con agua corto de las semillas de la uva para quitar residuos del fruto como la pulpa .....	118
Figura 26. Lote de semillas de uvas secas, tras pasar el proceso de secado.....	119
Figura 27. Proceso de molienda, con procesador, de las semillas.....	119
Figura 28. Pesado de muestra pretratada en papel filtro para el proceso de extracción del aceite .....	120
Figura 29. Colocación de la muestra pretratada en la cámara .....	120
Figura 30. Sistema del equipo Soxhlet para la extracción del aceite de la semilla de uva Red Globe .....	121
Figura 31. Finalización de la primera hora de extracción del aceite de la semilla de uva Red Globe .....	121
Figura 32. Colocación del sistema de destilación simple para separar del solvente hexano y recuperar el aceite de las semillas de uva. ....	122
Figura 33. Almacenamiento, en frascos de material ambar, del aceite recuperado tras el proceso de extracción por Soxhlet y separación con destilación simple. ....	122

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Mayores productores de uva en el mundo.....	5
Tabla 2. Mayores consumidores de uva del mundo .....	5
Tabla 3. Producción, rendimiento y área cosechada de uva en Guatemala (2021) .....	6
Tabla 4. Comercio internacional de uva en Guatemala (2023) .....	7
Tabla 5. Importaciones de vino a Guatemala .....	8
Tabla 6. Pesos promedios tomados en las distintas etapas de acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe .....	38
Tabla 7. Datos obtenidos de la retención de agua en la etapa del lavado corto de las semillas de uva Red Globe .....	38
Tabla 8. Datos obtenidos de la humedad de las semillas de uva Red Globe durante el proceso de secado .....	39
Tabla 9. Resultado del análisis granulométrico en el proceso de tamizaje .....	40
Tabla 10. Resultados de los porcentajes promedios de rendimientos en función del tiempo promedio de las corridas de extracción por Soxhlet.....	40
Tabla 11. Rendimiento de la destilación de solvente en la etapa de recuperación del hexano .	42
Tabla 12. Resultados del rendimiento de aceite de semilla de uva Red Globe en base húmeda y seca .....	43
Tabla 13. Operaciones unitarias requeridas para el desarrollo del proceso de la extracción de aceite de semilla de uva Red Globe.....	43
Tabla 14. Datos de placa del secador .....	61
Tabla 15. Datos de placa del triturador.....	61
Tabla 16. Datos de placa del tamizador.....	61
Tabla 17. Datos del termómetro .....	62
Tabla 18. Datos de placa de la balanza analítica .....	62
Tabla 19. Datos de placa de balanza de mesa.....	62
Tabla 20. Datos de placa de balanza de mesa.....	62
Tabla 21. Datos de placa del analizador de humedad.....	63
Tabla 22. Datos de placa de la manta térmica para el control de temperatura .....	63
Tabla 23. Datos de placa de la plancha térmica con agitación mecánica .....	63

Tabla 24. Datos de placa de la bomba sumergible para recirculación de agua .....	64
Tabla 25. Componentes de cristalería del equipo Soxhlet.....	65
Tabla 26. Componentes de cristalería del equipo de destilación simple .....	66
Tabla 27. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 1/3).....	67
Tabla 28. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 2/3) .....	67
Tabla 29. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 3/3) .....	68
Tabla 30. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 1/3) .....	68
Tabla 31. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 2/3) .....	69
Tabla 32. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 3/3) .....	70
Tabla 33. - Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 1/3).....	71
Tabla 34. Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 2/3) .....	72
Tabla 35. Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 3/3) .....	73
Tabla 36. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 1/3) .....	74
Tabla 37. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 2/3) .....	75
Tabla 38. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 3/3) .....	76
Tabla 39. Pesos tomados en las distintas etapas de acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe.....	77
Tabla 40. Datos previos en cada corrida, antes de la extracción por Soxhlet .....	77
Tabla 41. Datos después de la extracción por Soxhlet .....	78
Tabla 42. Datos después de la destilación simple .....	79
Tabla 43. Nombre de las corrientes del balance de masa de la selección y despulpe de las semillas .....	98
Tabla 44. Balance de masa de la selección y despulpe de las semillas .....	98
Tabla 45. Nombre de las corrientes del balance de masa del lavado corto de las semillas.....	98
Tabla 46. Balance de masa del lavado corto de las semillas .....	99
Tabla 47. Nombre de las corrientes del balance de masa del secado de las semillas lavadas...	99
Tabla 48. Balance de masa del secado de las semillas lavadas .....	100
Tabla 49. Nombre de las corrientes del balance de masa de la trituration de las semillas secas .....	100
Tabla 50. Balance de masa de la trituration de las semillas secas .....	101

Tabla 51. Nombre de las corrientes del balance de masa del tamizaje de las semillas trituradas .....	101
Tabla 52. Balance de masa del tamizaje de las semillas trituradas .....	102
Tabla 53. Nombre de las corrientes del balance de masa de la extracción por Soxhlet .....	102
Tabla 54. Balance de masa de la extracción por Soxhlet .....	103
Tabla 55. Nombre de las corrientes del balance de masa de la destilación simple .....	103
Tabla 56. Balance de masa de la destilación simple.....	104
Tabla 57. Requerimientos eléctricos de la placa del secador .....	106
Tabla 58. Balance de energía del secador en las 12 corridas .....	106
Tabla 59. Requerimientos eléctricos del triturador .....	106
Tabla 60. Balance de energía del triturador en las 12 corridas.....	107
Tabla 61. Requerimientos eléctricos del tamizador.....	107
Tabla 62. Balance de energía del tamizador en las 12 corridas.....	108
Tabla 63. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 1 hora de extracción.....	108
Tabla 64. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 2 horas de extracción .....	109
Tabla 65. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 3 horas de extracción .....	109
Tabla 66. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 4 horas de extracción .....	110
Tabla 67. Balance de energía de extracción por Soxhlet las 12 corridas .....	111
Tabla 68. Requerimientos de energía del sistema de destilación simple.....	111
Tabla 69. Balance de energía del sistema de destilación simple para las 12 corridas.....	112
Tabla 70. Rendimientos obtenidos en la extracción por Soxhlet y la separación con destilación simple.....	112
Tabla 71. Coeficientes de variación entre los intervalos de los rendimientos entre los puntos de extracción por Soxhlet.....	113
Tabla 72. Determinación del porcentaje de rendimiento de las próximas horas con el modelo establecido .....	116
Tabla 73. Propiedades físicas y químicas del solvente hexano .....	123
Tabla 74. Información de la estabilidad y reactividad del solvente hexano.....	123
Tabla 75. Información de la toxicología del solvente hexano de acuerdo a SGA.....	124
Tabla 76. Información de eliminación, seguridad y manejo .....	124

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo matemático ajustado por modelo de decaimiento extractivo .....	42
Ecuación 2. Balance de masa en el despulpe manual.....	79
Ecuación 3. Balance de masa en el lavado de semillas .....	80
Ecuación 4. Determinación de agua retenida en la etapa de lavado de las semillas .....	80
Ecuación 5. Determinación del porcentaje de retención de agua en el proceso de lavado de las semillas .....	80
Ecuación 6. Balance de masa en el secado.....	80
Ecuación 7. Balance de sólidos en el secador .....	81
Ecuación 8. Balance de agua en el secador .....	81
Ecuación 9. Balance de masa en la trituration .....	81
Ecuación 10. Balance de masa en el tamizaje .....	82
Ecuación 11. Balance de masa en la extracción Soxhlet.....	82
Ecuación 12. Balance de masa en la destilación .....	82
Ecuación 13. Rendimiento de extracción .....	82
Ecuación 14. Rendimiento de la destilación.....	83
Ecuación 15. Potencia eléctrica .....	83
Ecuación 16. Energía eléctrica suministrada.....	83
Ecuación 17. Calor sensible en el sólido .....	83
Ecuación 18. Energía de evaporización.....	84
Ecuación 19. Energía útil.....	84
Ecuación 20. Pérdidas de calor.....	84
Ecuación 21. Masa máxima evaporada .....	84
Ecuación 22. Decaimiento extractivo.....	85
Ecuación 23. Tamaño de muestra.....	85
Ecuación 24. Relación solvente-muestra para las extracción por Soxhlet .....	85
Ecuación 25. Determinación del factor de escala para estimaciones de producción .....	85
Ecuación 26. Error estándar de Welch .....	86
Ecuación 27. Estadístico de prueba de t en Welch.....	86
Ecuación 28. Grados de libertad efectivos de acuerdo con Welch – Satterthwaite.....	86

Ecuación 29. Media aritmética .....	93
Ecuación 30. Desviación estándar .....	93
Ecuación 31. Intervalo de confianza al 95% .....	94
Ecuación 32. Coeficiente de variación .....	94
Ecuación 33. Propagación de incertidumbre de suma y resta .....	95
Ecuación 34. Propagación de incertidumbre de multiplicación y división .....	95
Ecuación 35. Código para ajustar datos experimentales a modelo de decaimiento extractivo	114

## RESUMEN

El presente trabajo evaluó la extracción del aceite de las semillas de uva Red Globe, estableciendo bases técnicas para su aprovechamiento. Inicialmente,  $45.75 \pm 2.95$  g de semillas uva Red Globe se sometieron a un acondicionamiento, en etapas de limpieza y separación, garantizando uniformidad de la materia para 12 extracciones independientes, bajo las mismas condiciones, con Soxhlet. Donde se determinó que tras el proceso de lavado para remover residuos restantes, se obtuvo un  $2.73 \pm 0.30$  % de retención de agua. Además, durante el secado a  $65$  °C por 5 horas, la humedad disminuyó de  $46.14 \pm 0.76$  % a  $6.01 \pm 1.10$  %, clave para evitar emulsiones. En la etapa de trituración y tamizaje, se consiguió una granulometría de  $0.500$  mm como tamaño de partícula, obteniendo  $19.75 \pm 0.26$  g de semillas tamizadas. Por otro lado, en cuanto a la extracción, el tiempo de operación influyó directamente con una tendencia desacelerada, alcanzando  $10.5$  % de rendimiento tras 4 horas de operación. A partir de este resultado, se utilizó el modelo de decaimiento extractivo, donde se determinó un rendimiento máximo teórico ( $15.27$  %) y un tiempo característico (102 minutos), indicando que prolongar el proceso más allá de dicho intervalo resultaba poco eficiente. Asimismo, en la destilación, al usar  $190 \pm 1$  mL de hexano, se recuperó  $95-96$  %, obteniendo  $1.694 \pm 0.402$  g de aceite de semilla y un rendimiento en base seca del  $5.49 \pm 1.34$  %. Finalmente, se determinaron las operaciones unitarias, de despalillado, despulpe, lavado, drenado, secado, trituración, tamizado, extracción sólido líquido con solvente y destilación; basadas en principios de funcionamiento y dimensionamiento, como referencia técnica en futuros desarrollos.

## ABSTRACT

This study evaluated the extraction of oil from Red Globe grape seeds, establishing technical bases for its utilization. Initially,  $45.75 \pm 2.95$  g of Red Globe grape seeds were subjected to conditioning, in stages of cleaning and separation, ensuring uniformity of the material for 12 independent extractions, under the same conditions, with Soxhlet. Where it was determined that after the washing process to remove remaining residues,  $2.73 \pm 0.30$  % water retention was obtained. Furthermore, during drying at  $65^\circ\text{C}$  for 5 hours, humidity decreased from  $46.14 \pm 0.76$  % to  $6.01 \pm 1.10$  %, key to avoiding emulsions. In the crushing and sieving stage, a particle size of 0.500 mm was achieved, obtaining  $19.75 \pm 0.26$  g of sieved seeds. On the other hand, regarding extraction, the operating time directly influenced the process, showing a decelerating trend, reaching 10.5 % yield after 4 hours of operation. Based on this result, the extractive decay model was used, where a theoretical maximum yield (15.27 %) and a characteristic time (102 minutes) were determined, indicating that extending the process beyond this interval was inefficient. Likewise, in distillation, using  $190 \pm 1$  mL of hexane, 95-96 % was recovered, obtaining  $1.694 \pm 0.402$  g of seed oil and a dry-basis yield of  $5.49 \pm 1.34$  %. Finally, the unit operations of destemming, pulping, washing, draining, drying, crushing, sieving, solid-liquid solvent extraction, and distillation were determined; based on operating and sizing principles, as a technical reference for future developments.

# I. INTRODUCCIÓN

La uva forma parte de uno de los cultivos frutales con mayor relevancia en el mundo, con una producción que en el 2021 alcanzó 74.8 millones de toneladas de uva (OIV, 2022). Entre las variedades, la Red Globe destaca por su demanda internacional como producto de mesa y la alta área de cultivo, con aproximadamente 160,000 hectáreas a nivel mundial (OIV, 2017). Además de su importancia económica para el consumo y en la industria vitivinícola, la uva genera subproductos que pueden ser valorizados, entre estos se destaca a las semillas de la uva, las cuales dependiendo de la variedad contienen una cantidad significativa de aceite, que de acuerdo con estudios realizados, se caracteriza por el contenido de ácidos grasos insaturados y componentes antioxidantes.

En Guatemala, el cultivo de uva se concentra principalmente en los departamentos de Zacapa y la región oriental del país, donde la variedad Red Globe es una de las más cultivadas y comercializadas. Aunque tradicionalmente el fruto ha tenido aplicaciones limitadas, a las semillas se plantea darle un enfoque diferente para generar un producto de mayor valor agregado. De esta forma, el aceite obtenido podría ser una alternativa con aplicaciones relevantes en distintos sectores de la industria.

Para el aprovechamiento de este subproducto, es necesario implementar un proceso de extracción que permita recuperar el aceite en las semillas de manera adecuada. La extracción de aceites vegetales es un proceso que permite separar compuestos lipídicos en matrices sólidas mediante el uso de solvente, siendo el método de Soxhlet una de las técnicas más empleadas por su control y estandarización, lo que lo convierte en una herramienta útil para la evaluación de rendimientos y la comparación de resultados. El Soxhlet consiste en una extracción continua mediante ciclos sucesivos, donde el solvente caliente, se difunde a través de la muestra sólida. El solvente, normalmente hexano, se evapora, condensa y recircula sobre la muestra, lo que permite la recuperación del aceite hasta alcanzar el equilibrio de extracción.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como finalidad, evaluar el rendimiento del proceso de extracción del aceite de semilla de la uva tipo Red Globe, por medio del método de Soxhlet. Para obtener datos del proceso de extracción, fue necesario realizar un acondicionamiento a las semillas para garantizar uniformidad de las muestras. De esta manera, se definió la metodología como base para definir condiciones controladas de operación y cuantificar la cantidad de aceite recuperado con relación a los parámetros operativos.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. General**

Obtener el aceite de las semillas de uva Red Globe, previamente acondicionadas, y modelar matemáticamente el rendimiento del proceso, con el fin de establecer bases técnicas para su aprovechamiento.

### **B. Específicos**

1. Acondicionar las semillas de uva mediante limpieza, secado y tamizado, asegurando pureza y homogeneidad del aceite obtenido para garantizar condiciones adecuadas de extracción y reproducibilidad en el rendimiento del aceite.
2. Variar el tiempo de extracción para determinar el rendimiento del proceso de extracción del aceite esencial de las semillas de uva y construir un modelo matemático representativo del proceso.
3. Proponer la secuencia de operaciones unitarias, como base para el desarrollo del proceso de extracción del aceite de semillas de uva tipo Red Globe.

### III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, de acuerdo con FAO (2024), la producción de uva en 2021 alcanzó las 19,592.18 toneladas, aunque los datos no se desglosan por porcentaje por variedad, la Red Globe se encuentra entre las más cultivadas y comercializadas en el país. Esto evidencia que, aunque la uva no se produce en los mismos volúmenes que otros cultivos tradicionales, representa una fuente de materia prima que puede generar subproductos agroindustriales que actualmente se encuentran poco aprovechados.

Dentro de estos, las semillas de uva que poseen un aceite con alto contenido de ácidos grasos esenciales, así como compuestos fenólicos antioxidantes, lo que las hace muy valiosas para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Aunque en algunos contextos las semillas suelen considerarse un residuo, en este estudio se plantean como un subproducto con valor potencial, cuya adecuada transformación puede generar aceite con compuestos de interés. A diferencia de otras semillas cultivadas en Guatemala, como el marañón o el girasol, que ya cuentan con procesos establecidos de extracción, las semillas de uva han tenido uso limitado, por lo que a nivel nacional no hay una ruta técnica completa definida bajo parámetros que orienten a decisiones, por eso, para dar un paso más a la posible valorización de este recurso, es indispensable contar con un proceso que genere información sobre el acondicionamiento, extracción y separación.

El presente estudio se desarrolló con el propósito de aportar datos técnicos sobre el proceso de extracción de aceite de semillas de uva Red Globe mediante el método Soxhlet, bajo condiciones controladas de operación. El proceso incluyó 3 fases: la primera correspondió al acondicionamiento de las semillas mediante limpieza, secado, trituración y tamizado, con el fin de garantizar pureza y uniformidad en las muestras. En la segunda fase se realizó la extracción con hexano usado como solvente, donde se cuantificó el rendimiento. A partir de estos datos, se realizó un ajuste con modelos de decaimiento extractivo para describir el comportamiento del proceso y estima de rendimientos próximos. Finalmente, para el desarrollo del proceso se determinaron las operaciones unitarias junto con el principio de dimensionamiento, estableciendo una secuencia lógica de pasos como base para futuros procesos, abriendo la posibilidad de diversificar los productos derivados de la uva en Guatemala y fortaleciendo la industria local.

## IV. MARCO TEÓRICO

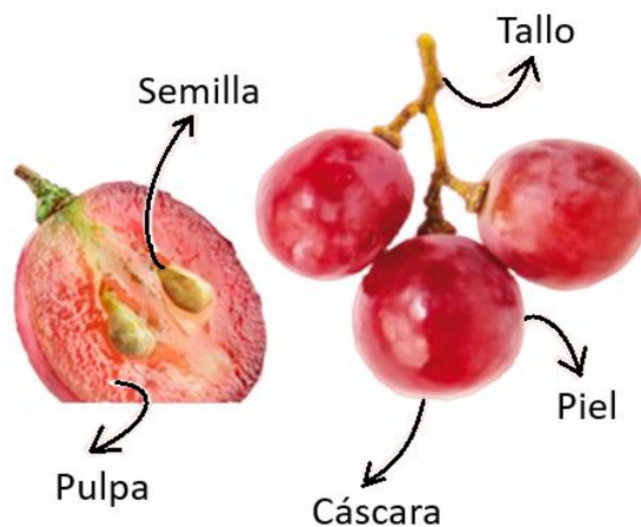
### A. Generalidades de la uva

La uva es una especie trepadora de hoja caduca, pertenece al género *Vitis*, la mayoría de las variedades cultivadas derivan de la vid europea. Su uso principal es el de la vinificación donde el tipo de uva más usada se le denomina *vinis vinífera*, otro uso menos común es la deshidratación para la elaboración de pasas (Miranda, 2003).

Las partes que conforman la uva son:

- Tallo: culla función es sostener y alimentar a todo el racimo de uvas, algunas veces es usado para la vinificación, pero regularmente es desechado.
- Piel, cascara o hollejo: es la capa externa de la uva que actúa como envoltorio de la pulpa. Contiene pigmentos y es responsable del color y aroma de la uva. En su exterior tiene una capa conocida como pruina, la cual contiene levaduras.
- La pulpa: es la parte más abundante de la uva, constituye el 80-90 % de la masa y es la parte principal para la vinificación, en ella se encuentran los azúcares y minerales, así como los ácidos orgánicos.
- La semilla: es la encargada de dar la parte amarga para la vinificación y se cuentan con aproximadamente de 3 a 4 semillas por baya.

**Figura 1. Partes de la uva**



(Jimenez-Robles et al., 2025)

## B. Mayores productores y consumidores de uva en el mundo

China es el mayor productor de uvas del mundo, más específicamente la región de Xinjiang es la más productora. Factores como el clima seco de la región, la alta duración de la insolación, así como avanzados sistemas de riego contribuyen a que posean millones de toneladas métricas cosechadas anualmente. La región de Xinjiang alberga variedades como Red Globe, Thompson Seedless y Shine Muscat, siendo consumidas localmente o como para el consumo extranjero (Kaur, 2025).

**Tabla 1. Mayores productores de uva en el mundo**

Rank	Country	Annual Production (in Million Metric Tonnes)
1	China	14.8 – 15.5
2	Italy	7.3 – 7.6
3	Spain	6.8 – 7.1
4	USA	6.2 – 6.5
5	Turkey	3.9 – 4.1

(Kaur, 2025)

Para el consumo de uvas tomamos en cuenta su uso principal (vinificación) siendo Francia el rey indiscutible del vino, haciéndolo el país más consumidor de uvas en el mundo. La producción de vino es liderada por las regiones de Burdeos y Toscana, para la elaboración del vino se enfoca en la calidad y las denominaciones del origen de este mantienen los precios elevados, se tiene una exportación que abarca el 30 % de su producción y teniendo como principales consumidores los Estados Unidos y China (Cata Vino, 2025).

**Tabla 2. Mayores consumidores de uva del mundo**

Rank	Country	Annual Production (Hectoliters)
1	Francia	48,000,000
2	Italy	40,000,000
3	Spain	30,000,000
4	USA	24,000,000
5	Chile	11,500,000
6	Australia	10,500,000
7	Argentina	9,000,000
8	South Africa	9,000,000
9	Germany	8,500,000
10	Portugal	7,000,000

(Cata Vino, 2025)

## C. Consumo y producción de uva en Guatemala

En Guatemala el cultivo de la uva ya sea para producción de vino o de consumo, se concentra principalmente en el oriente del país, específicamente en Usumatlán y Teculután municipios del departamento de Zacapa (Pérez Herrera, 2024). Estas áreas cuentan con un clima cálido durante todo el año, donde la temperatura se encuentran entre 19 °C a 35 °C, e incluso a veces hasta los 38 °C. La lluvia durante los último años ha presentado ciclo, con una época seca que es de noviembre a mayo y una época de lluvia que es desde finales de mayo hasta enero, con lluvias fuertes. Además, los terrenos de la región, mayormente arenosos y con buen drenaje, son los mejores para cultivar los frutos como la uva, lo que permite el crecimiento adecuado de la planta y una buena calidad de los mismos.

Estas condiciones, con técnicas agrícolas comunes como la poda, permiten estimular el crecimiento de las ramas productivas y así poder asegurar una buena circulación del aire y de la luz solar. Es común el uso de soportes (estacas o alambres) para ayudar a guiar el crecimiento y sostener las ramas. Además, el riego debe ser regular especialmente en los periodos de desarrollo, la principal técnica empleada en Guatemala es el riego por goteo. (Pérez Herrera, 2024).

Asimismo, según los datos del MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) en Guatemala se planta en invierno o a inicios de primavera dejando entre 1.5 a 3 metros entre planta y entre 2 a 3 metros entre hileras para que tengan el espacio de crecimiento adecuado.

### 1. Producción

En Guatemala, de acuerdo con FAO (2024), la producción de uva en el año 2021 según el área de cosecho de 2,643 ha, llegó a las 19,592.18 toneladas, aunque los datos no se desglosan por el porcentaje del tipo de variedad, Red Globe se encuentra entre las más cultivadas y comercializadas en el país, lo que la convierte en una fuente viable de semillas para la obtención de aceite.

**Tabla 3. Producción, rendimiento y área cosechada de uva en Guatemala (2021)**

Elemento	Unidad	Valor
Número de índice de producción bruta (2014-2016=100)	Index	102.54
Número del índice de producción bruta per cápita	Index	93.19
Área cosechada	ha	2,643.00

Productividad por unidad de superficie cultivada.	100 g/ha	74,138.00
Producción	t	19,595.18

(FAOSTAT, 2024)

**Figura 2. Uvas rojas y verdes con semilla producidas en Guatemala**



(Pérez Herrera, 2024)

La época de cosecha depende del tipo de uva y clima, pero generalmente ocurre a finales del verano y principios del otoño. Las uvas que se usaran para la realización de vino se cosechan al alcanzar su nivel óptimo de azúcar y se procesan rápidamente para evitar su fermentación prematura. Las uvas para consumo de mesa se cosechan cuando están maduras, este tipo de uva se almacena en condiciones de refrigeración para preservar su frescura (Pérez Herrera, 2024).

## 2. Consumo

En cuanto a lo que se consume en Guatemala, la mayor parte de lo que se produce a nivel nacional, se vende para consumo como fruta de mesa, el cultivo en su mayoría es de uva roja con semilla, algunas verdes en menor proporción. Sin embargo, de acuerdo con los datos proporcionados por el OEC World (2023) la importación que se realiza es aun mayor, lo que indica que se consume más de lo que se logra producir de manera local.

**Tabla 4. Comercio internacional de uva en Guatemala (2023)**

Comercio internacional	Valor	Posición del país en el mundo	Número de producto	Principales destinos
Importaciones	\$31.8 M	49/222	191 más importado.	1. Honduras (\$102k) 2. España (\$76.9k) 3. Nicaragua (\$48.1k) 4. Chequia (\$33.5k)

				5. El Salvador (\$29.3k)
Exportaciones	\$314,000	83/157	579 más exportado.	1. Perú (\$14.2M) 2. USA (\$7.02M) 3. Chile (\$6.43M) 4. México (\$2.42M) 5. Argentina (\$930k)

(OEC World, 2023)

#### D. Consumo de uvas para el mercado de vino en Guatemala

El mercado de vino en Guatemala es bastante reducido, solo un porcentaje menor de la población tiene acceso a este producto y de ellos solo un pequeño grupo participa activamente en el consumo de este. El vino no forma parte de los hábitos de consumo del guatemalteco, siendo considerado un artículo reservado para ocasiones especiales (Jañez, 2005).

El mayor consumo se da en restaurantes, en la mayoría de los cuales se pueden encontrar vinos de bodegas españoles, así como en supermercados y tiendas especializadas en vinos. Se destaca principalmente el consumo de vino de Rioja, Penedés, Rivera del Duero, Somontano y Navarra (Jañez, 2005).

**Tabla 5. Importaciones de vino a Guatemala**

País	Principales importadores de vino (valores en \$)						
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Argentina	56.644	50.97	55.867	93.575	139.097	172.918	206.728
Chile	883.608	926.29	728.84	1.038.51	1.103.80	1.035.93	1.485.06
España	479.18	598.62	507.07	621.975	866.915	849.22	781.344
Francia	282.345	196.10	271.62	289.407	406.969	412.942	298.938
Italia	200.826	288.30	370.43	401.454	479.674	363.924	267.798
USA	322.315	255.74	246.24	442.438	262.465	183.24	144.441

(Jañez, 2005)

#### E. Especies de uva

##### 1. *Vitis vinifera*

Es la especie más conocida a nivel mundial, su uso principal es para la elaboración de vinos. Esta presente en todos los continentes que posean un clima templado, entre los cuales podemos mencionar América central, América del sur, América del norte,

Europa, Asia y Sud África. Las uvas más comunes de esta especie son, Red Globe, Cavernet, Merlot, etc.

**Figura 3. *Vitis Vinifera***



(Glory LLC, 2025)

2. *Vitis labrusca*

Es original de América del norte y es donde más se encuentra distribuida, tienen la peculiaridad de tener un aroma a fresa y la nota *foxy*. Debido a su aroma tan pronunciado no es tan usada para la elaboración de vinos, se usa más en jugos y mermeladas, la uva más conocida de esta especie es la Concord, siendo esta la más usada en jugos en Estados Unidos (Salaya & Pszczolkowski, 2015).

**Figura 4. *Vitis Labrusca***



(Glory LLC, 2025)

### 3. *Vitis rotundifolia*

Es originaria de la parte sur de Estados Unidos, no es resistente a climas fríos. Posee una enorme resistencia a plagas y enfermedades, sus bayas son de un tamaño grande (aprox. 5cm de diámetro). Su principal uso es el de mermeladas, jugos, jalea y refrescos. Las uvas más conocidas de esta especie son Catawba y Scuppernong.

**Figura 5. *Vitis Rotundifolia***



(Glory LLC, 2025)

### 4. *Vitis Rupestris*

Es originaria del sudeste de los Estados Unidos, encontrándose únicamente en áreas soleadas, nunca en bosques. Las plantas son de gran vigor y poseen flores en ellas. Las uvas más conocidas de esta especie son, du Lot Martin, Ganzin y Metálica. Estas uvas no son aptas para la elaboración de vinos ni para el consumo debido a su baya muy amarga. Es usada principalmente para los portainjertos bioactivos y aceites esenciales. Estas semillas representan aproximadamente el 2-5% del peso total de la uva, dependiendo de la variedad, las condiciones de cultivo y el procesamiento. Su aprovechamiento contribuye a la sostenibilidad del sector vitivinícola al reducir los residuos y ofrecer materias primas para diversas industrias.

**Figura 6. *Vitis Rupestris***



(Glory LLC, 2025)

## F. Características de la variedad Red Globe

### 1. Origen e importancia

La variedad Red Globe pertenece a la especie *Vitis vinifera L.* Su origen es de Estados Unidos, particularmente del territorio californiano. Luego fue extendiéndose su cultivo en diferentes territorios de América Latina. Desde su introducción, se ha expandido a diversas regiones productoras de uva, como Perú, Chile, México y Guatemala, adaptándose bien a climas cálidos y secos (Peña, 2023).

Su importancia económica no solo radica en el mercado de fruta fresca, sino que también es utilizada como insumo para la elaboración de vinos, aguardientes, piscos, vinagres, pasas, néctares y bebidas azucaradas. Además, en la generación de subproductos como semillas, hollejos y raspón, cuya valorización puede derivar en productos de alto valor añadido (Fawzi et al., 2017).

Su aprovechamiento integral como subproducto es clave, un claro ejemplo de esto son las semillas, que son ricas en aceites, polifenoles y antioxidantes. Estos compuestos permiten aplicaciones industriales como en la cosmética, la farmacología y la alimentación (Peña, 2023).

### 2. Descripción botánica

Desde el punto de vista botánico, esta cepa presenta características únicas que contribuyen a su éxito en la viticultura como a su aprovechamiento industrial (Salaya & Pszczolkowski, 2015).

**Figura 7.Uva Red Globe**



(Salaya & Pszczolkowski, 2015)

### 3. Estructura de la planta

*La vitis vinífera* es una especie del tipo leñosa, que pertenece a la familia *Vitaceae*. Se caracteriza por su crecimiento trepador mediante zarcillos helicoidales, su tallo principal o tronco se lignifica con el tiempo, dando así a una estructura duradera. Su sistema radicular es profundo y extensivo, lo cual permite adaptarse a condiciones diversas. Las hojas son palmadas, poseen márgenes dentados y los sarmientos, de crecimiento anual, son clave para controlar el rendimiento y calidad del cultivo (Salaya & Pszczolkowski, 2015).

#### 3.1. Características del fruto

De acuerdo con su nombre "Red Globe" su fruto es de gran tamaño y de forma elipsoide, posee una piel gruesa y consistente. Posee un color rojo violáceo, muy vistosa, con semillas de tamaño medio y globosas. El tamaño de las bayas oscila entre los 20 y 30 milímetros de diámetro. El número de bayas por racimo puede variar entre 50 y 100, dependiendo del manejo agrónomo. Su maduración ocurre de forma secuencial, iniciando en la base y terminando en la punta del racimo (Salaya & Pszczolkowski, 2015).

#### 3.2. Semillas

Las semillas de la Red Globe son una de las partes más valiosas del fruto de este tipo de uva, hablando desde un punto de vista industrial, debido a su riqueza en aceites esenciales y antioxidantes. Esta semilla no solo representa un subproducto de la industria vinícola, sino que también una materia prima de alto valor agregado, especialmente en procesos de extracción de compuestos bioactivos (Peña, 2023).

La variedad Red Globe suele contener aproximadamente entre 1 y 4 semillas por baya, su composición incluye entre 8 y 20% de aceite, dependiendo de la variedad, condiciones edafoclimáticas y etapa de maduración. Estas presentan un reservorio importante de compuestos bioactivos, especialmente flavonoides y taninos condensados (Salaya & Pszczolkowski, 2015).

La capa externa de las semillas es lignificada, es decir, está compuesta por un material rígido que protege al embrión interno y le confiere resistencia estructural. Esta lignificación no solo asegura la supervivencia de las semillas en condiciones adversas, sino que también las hace altamente resistentes a la degradación. Esto a su vez implica tratamientos previos, como la molienda o el secado que se usan para romper la capa externa y facilitar el acceso a los compuestos bioactivos presentes en su interior (Salaya, 2009).

La cantidad y calidad de las semillas está dada por factores agroclimáticos y de manejo agrícola, entre los cuales están, la fertilidad del suelo y el tipo de nutrientes disponibles afectan el tamaño y la composición química de las semillas. De igual forma, el clima juega un papel clave, cantidades de sol y la temperatura durante el periodo de maduración impacta directamente en la acumulación de lípidos y antioxidantes. Las prácticas de manejo agrícola, como el riego y la poda, también juegan un papel fundamental en influir en la densidad y desarrollo de las semillas, asegurando su calidad para aplicaciones industriales (Salaya, 2009).

**Figura 8. Semilla de la uva tipo Red Globe**



Florapower (2016)

### 3.3. Ciclo biológico y productividad

El ciclo de vida de las uvas incluye las siguientes fases; brotación, floración, cuajado, desarrollo del fruto, maduración y senescencia. En condiciones ópticas la variedad Red Globe puede alcanzar productividades de hasta 30 a 35 toneladas por hectárea por año, es una de las favoritas para la exportación debido a su adaptación a diversos suelos y climas, así como resistencia y facilidad al transporte (Peña, 2023).

Durante la brotación, que ocurre a principios de la primavera, la planta reinicia su actividad metabólica movilizando las reservas acumuladas en las raíces y partes leñosas. En esta fase las semillas aún no están desarrolladas, se establecen las condiciones fisiológicas que influirán en su formación futura, ya que el equilibrio nutricional de la planta también determinará el tamaño y la calidad de los frutos, a su vez, el tamaño y calidad de las semillas. Durante la floración, que ocurre en la segunda mitad de la primavera, las flores son polinizadas por autogamia (autopolinización), la fecundación da origen a los embriones que formaran las semillas. Este proceso es altamente sensible a condiciones ambientales como la lluvia, viento y temperaturas extremas. En un entorno favorable en esta fase asegura una buena cuaja y formación de semillas viables dentro de las bayas (Salaya, 2009).

Durante el crecimiento de los frutos, desde principios del verano hasta el otoño, las semillas se desarrollan de manera paralela a la pulpa. En este periodo, las semillas pasan de ser estructuras blandas para lignificarse progresivamente, lo cual protege los compuestos bioactivos en su interior. En esta etapa es donde ocurre la mayor acumulación de aceite y polifenoles. La maduración prolongada característica propia de la Red Globe favorece a una mayor acumulación de metabolitos secundarios de interés. Durante la cosecha (aproximadamente a finales del otoño) es cuando los frutos alcanzan su madures fisiológica. En esta fase las semillas han alcanzado su mayor tamaño, presentando una cubierta lignificada totalmente desarrollada (Salaya, 2009).

### 3.4. Composición química de las semillas de uva

Los componentes químicos que forman parte de las bayas son el agua, azúcares, minerales, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados, lípidos, y compuestos fenólicos. Los componentes químicos que forman parte de las semillas son compuestos fenólicos, lípidos, proteínas, fibras y cenizas (Hernández, 2010).

#### 3.4.1. Fracción lipídica

La fracción lipídica de la semilla de la uva está compuesta principalmente ácidos grasos, aproximadamente entre el 10 y el 17%, esto depende de factores como

la madurez del fruto o el clima. También contiene vitamina E y otros compuestos bioactivos (Hidalgo Filipovich, 2016).

#### 3.4.2. Compuestos fenólicos

Las semillas de la uva son ricas en compuestos fenólicos, especialmente procianidinas. En la variedad de Red Globe los niveles más altos tenemos:

- a. Procianidinas: estas son conocidas por su capacidad antioxidante, incluso mayor que las de la vitamina C y E.
- b. Ácido gálico: es conocido por su captura de radicales libres e inhibir procesos oxidativos.

El total de los compuestos fenólicos puede encontrarse en la cascara interna de la semilla (Ghafoor et al., 2009).

#### 3.4.3. Proteínas

La cantidad de proteínas presentes en la semilla de la uva es pequeña, aproximadamente entre el 6 y 10%. Las albuminas y globulinas son la mayor parte de las proteínas presentes, también existen las glutelinas y prolaminas, aunque en menor cantidad (C. Bejerano & M. Zapater, 2013).

#### 3.4.4. Fibras dietética

Las fibras dietéticas están presentes en forma de celulosa, hemicelulosa y lignina. Las fibras dietéticas representan entre

#### 3.4.5. Minerales

Las semillas de la uva contienen diversos minerales en pequeñas cantidades, entre las cuales podemos mencionar el magnesio, hierro, selenio, zinc y el potasio (C. Bejerano & M. Zapater, 2013).

### G. Aceite de semilla de uva

El aceite de semilla de uva por su composición es clasificado en el grupo de ácidos grasos oleico y linoleico. Este aceite posee grandes cantidades de vitamina E, compuestos fenólicos y fitoesteroles, proporcionándole propiedades antioxidantes. Esto hace que sea un

producto de alto valor en aplicaciones alimentarias, cosméticas y farmacéuticas (Arjona, Aceves, Galicia & Santini, 2002).

**Figura 9. Aceite de uva verde**



(Tua Saude, 2025)

Se requieren aproximadamente 200 kg para producir un litro de aceite, por lo que es considerado un aceite mas caro que otros del tipo vegetal. Su uso se ha incrementado debido a que posee un aroma y sabor agradable (Tua Saude, 2025). Además, proporciona diversos beneficios para la salud, entre los cuales se encuentra:

- a. Mejora de colesterol: por ser rico en ácido linoleico (omega 6) ayuda a controlar el mal colesterol, ayudando a la salud del corazón. Por su gran contenido de vitamina E actúa como un antioxidante que previene la formación de placas de grasa en las arterias ayudando a prevenir enfermedades como infartos (Tua Saude, 2025).
- b. Hidratación de piel: posee propiedades humectantes por lo que el aceite de semilla de uva mantiene la piel hidratada y previene su descamación. Al ser un poderoso antioxidante previene la formación de arrugas, estrías, celulitis, cicatrices y el envejecimiento precoz (Tua Saude, 2025).
- c. Fortalecimiento del cabello: el aceite de uva es un poderoso hidratante para el cabello, previene puntas abiertas, caída excesiva y las hebras frágiles y quebradizas, además ayuda a la reducción de caspa (Tua Saude, 2025).

**Figura 10. Componentes nutricionales de una cucharada de semilla de uva**

Componentes nutricionales	1 cucharada (15 mL)
Energía	132,6 kcal
Carbohidratos	0 g
Proteína	0 g
Grasas	15 g
Grasas poliinsaturadas	10,44 g
Grasa monoinsaturadas	2,41 g
Grasas saturadas	1,44
Omega 6 (ácido linoleico)	10,44 g
Vitamina E	4,32 mg

(Tua Saude, 2025)

#### H. Contenido del aceite de semilla de uva

El aceite de semilla de uva se caracteriza por tener un color amarillo claro verdoso, es un aceite ligero, no graso, lo que lo convierte en una opción popular para combinarlo con aceites esenciales para el cuidado de la piel. Este aceite es rico en ácido linoleico, ácido graso omega 6 y vitaminas C y E además de antioxidantes (Heshelow,2023).

**Figura 11. Aceite de uva roja**



(Heshelow,2023)

Su composición está dada por:

- a. Ácidos grasos: estos componen el 99 % del total del aceite, el principal siendo el ácido linoleico, también encontramos el ácido oleico. Otros ácidos presentes en menores proporciones son el ácido palmítico y el ácido esteárico. Otros ácidos presentes son el omega 6 y omega 9, ayudando a la síntesis del colágeno.
- b. Polifenoles: compuestos bioactivos presentes en el aceite de la uva, poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, ayudan a prevenir el envejecimiento celular y mejoramiento del perfil lípido en humanos. Entre los antioxidantes más relevantes encontramos las proantocianidinas, los y-tocoferoles, el resveratrol y fitosteroles (Ghafoor et al., 2009).
- c. Vitaminas: la cantidad de vitaminas presente no es tanta en comparación con otros aceites vegetales, contiene principalmente vitaminas liposolubles. La vitamina E es la mas abundante, siendo un poderoso antioxidante, ya en menor proporción tenemos la vitamina C (Ghafoor et al., 2009).

## I. Aplicaciones industriales del aceite de semilla de uva

### 1. Industria alimentaria

En la industria alimentaria el aceite de semilla de uva es una de las opciones favoritas debido a perfil lípido saludable. Es usado en la fabricación de aderezos, vinagres y varias salsas, además es común mente usado en la elaboración de ensaladas y mayonesas debido a su sabor suave y neutro, lo que no cambia el perfil sensorial del alimento final. Otro de sus usos es la conservación de los alimentos, gracias a sus antioxidantes naturales ayudan a retardar la oxidación de otros lípidos en productos procesados (Codex Alimentarius, 2019).

Tiene un alto grado de ácido linoleico (omega 6) y ácido oleico (omega 9) por lo que su consumo se ha asociado con efectos beneficiarios sobre la salud cardiovascular, especialmente por la reducción de los niveles LDL en la sangre. Posee un punto de humo alto, lo que lo ace una opción valiosa para la cocción ligera a temperaturas medias sin descomponerse fácilmente a diferencia de otros aceites vegetales (Baydar et al., 2007).

### 2. Industria cosmética

En la industria cosmética el aceite de semilla de uva es comúnmente usado gracias a su textura ligera, rápida absorción dérmica, incoloro y perfil antioxidante. Actúa como emoliente natural, promoviendo la elasticidad de la piel y suavidad, sin dejar sensación de grasa. Debido a esto es común mente usado en la elaboración de cremas fáciles, diferentes lociones corporales, faciales, aceites para masajes, bálsamos labiales y productos para el cuidado del cabello (Bayer et al, 2007).

Debido a que posee ácido linoleico (omega 6) favorece a la restauración de la barrera cutánea, previniendo la pérdida de agua y ayudando a calmar la piel inflamada o sensible. Los compuestos fenólicos presentes protegen a las células cutáneas del estrés oxidativo, funcionando como un escudo contra el envejecimiento y la formación de arrugas inducidas por radicales libres. Debido a su tolerancia termina es comúnmente usado en medicamentos para combatir pieles grasas, pieles secas y las pieles con tendencia al acné (Bayer et al., 2007).

### 3. Industria farmacéutica

En la industria farmacéutica el aceite de semilla de uva es usada por su composición de ácidos grasos, presencia de vitaminas E y polifenoles. Se usa para la elaboración de cremas, ungüentos y capsulas blandas que mejoran la solubilidad y biodisponibilidad de activos que requieran un medio graso para su absorción. Las capsulas blandas de aceite de semilla de uva son comercializadas como antioxidante natural, además de su composición de componentes antioxidantes y antiinflamatorios pueden apoyar en terapias para la piel y sistema cardiovascular (Bayer et al., 2007).

### 4. Industria química

En la industria química el aceite de semilla de uva es usado para la fabricación de biopolímeros, lubricantes ecológicos, biodegradables y no tóxicos. Es investigado para su uso en la producción de biodiesel, debido a su alto rendimiento gracias a su contenido en ácidos linoleico. Debido a sus propiedades humectantes es usado en la elaboración de jabones artesanales (Bayer et al., 2007).

## J. Métodos de extracción de aceite de semillas

La extracción de aceite de semillas implica la trituration de células vegetales para la liberación de aceite, seguida de un procedimiento de para la separación del aceite de los componentes sólidos de la semilla, existen varios métodos.

### 1. Prensado mecánico

Es uno de los métodos mas antiguos para la extracción de aceite vegetal, consiste en aplicar presión física a las semillas para liberar el aceite que se encuentra en sus células. Es conveniente y practico ya que no hace falta solventes químicos. Existen dos tipos de prensados mecánicos comúnmente usados, los cuales dependen de la temperatura a la que están expuestas las semillas (Saage, 2025).

### 1.1. Prensado en frío

Este método consiste en la extracción a temperaturas por debajo de los 50 °C grados, gracias a no usar calor evita el proceso oxidativo del aceite causado por el calor, conservando así más compuestos bioactivos como la vitamina E y polifenoles. Por medio de prensa hidráulica se realiza la presión para la extracción del aceite, sin embargo, este procedimiento obtiene un rendimiento bastante bajo, aproximadamente entre el 15 y 10% del aceite total de la semilla (Saage, 2025).

### 1.2. Prensado en caliente

Este método consiste en la extracción a temperaturas entre los 70 y 100 °C grados, se agrega calor mediante el proceso de tostar las semillas previas al prensado que se realiza comúnmente expellers continuos que gracias a la fricción mecánica elevan aun mas el calor de extracción. Este método genera un mayor rendimiento que el presando en frio, sin embargo, el calor usado para la extracción se pierden algunos compuestos bioactivos como los polifenoles (Saafe, 2025).

## 2. Extracción con solventes

La extracción por medio de solventes es la mas usada en la industria, a la extracción debe preceder la limpieza y trituración de la semilla. Esta trituración tiene como finalidad abrir las células y facilitar la salida del aceite. La temperatura necesaria para el proceso, a veces más elevada, la del solvente, por lo que las semillas trituradas no se calientan. La extracción por solvente es una típica operación de transferencia de masa, donde el solvente penetra en el sólido y el aceite contenido en el se hace miscible con el solvente. El aceite se recupera luego mediante separación del solvente por destilación o evaporación (Valderrama, 1994).

### 2.1. Extracción Soxhlet

El método de Soxhlet técnica utilizada para la extracción de compuestos bioactivos de materiales sólidos. Este método se basa en la extracción solido-liquido, permite la separación de los lípidos contenidos en las semillas mediante el uso de un disolvente adecuado. Las ventajas mas importantes de este método son el contacto continuo de la muestra con una porción fresca del disolvente, un bajo coste de adquisiciones y la posibilidad de procesar grandes cantidades de muestra. Dentro de sus limitaciones tenemos el tiempo necesario para la extracción y los volúmenes del disolvente (Canosa Rodríguez, 2009).

**Figura 12. Equipo de extracción de Soxhlet**



(Canosa Rodríguez, 2009)

El método Soxhlet opera mediante un sistema de recirculación de disolvente, este principio básico es la evaporación del disolvente en el matraz, luego su condensación en el extractor, donde gotea sobre la muestra sólida. Este proceso permite que el disolvente disuelva los lípidos presentes en las semillas, estos se acumulan en el matraz inferior tras ser arrastrados en el ciclo continuo. Este sistema se asegura que se alcance una saturación del disolvente en cada ciclo, de forma que se busca maximizar la recuperación del aceite esencial (Canosa Rodríguez, 2009).

La principal ventaja del método de Soxhlet es su capacidad de extraer de forma exhaustiva los lípidos presentes en una matriz sólida, como las semillas de la uva. Gracias a la recirculación continua del disolvente, el sistema logra mantener una alta eficiencia sin la necesidad de la aplicación de agitación mecánica. Esta técnica resulta sumamente útil en matrices con estructuras lignificadas como las semillas de uva, en estas el aceite se encuentra protegido por una pared celular rígida (Luque de Castro & García-Ayuso, 1998).

Otra de las ventajas del método es su reproducibilidad, ya que en condiciones constantes de temperatura y sin variaciones de presión se minimiza la variabilidad experimental. Lo que permite realizar comparaciones entre diferentes tiempos de extracción y lotes de semilla o condiciones de pretratamiento de las semillas. Otra ventaja es que el montaje no requiere la intervención constante del operador durante el proceso.

Como desventajas tenemos que el proceso requiere una fuente de calor constante durante varias horas, aumentando el consumo energético y limitando la viabilidad económica a gran escala. La exposición continua del aceite a temperaturas elevadas puede provocar la degradación parcial de compuestos sensibles al calor, como polifenoles, reduciendo el valor nutricional o funcionalidad del aceite extraído si no se optimizan los tiempos. El uso de disolventes orgánicos volátiles implica riesgos operativos y ambientales, por lo que estos deben de gestionarse mediante la ventilación adecuada, además de la recuperación de vapores y el manejo seguro de los residuos (Azmir et al., 2013).

## 2.2. Extracción industrial con hexano

La extracción con hexano es un proceso bastante común a nivel de la industria, en el cual se hace uso del hexano como disolvente para separar compuestos no polares, entre los cuales tenemos aceites y grasas. La eficiencia de los procesos de extracción con hexano puede variar mucho en función de la materia prima y la extracción, el rendimiento de extracción y el tiempo de extracción están bastante correlacionados (Primo Yufera, 2020).

## 2.3. Extracción industrial con etanol

La extracción con etanol es un método que ha ganado mucha popularidad debido a su eficiencia en la obtención de extractos de gran pureza, conservando al mismo tiempo los compuestos del objetivo. El etanol posee propiedades útiles, como la polaridad y la capacidad de disolver sustancias polares y no polares, siendo muy útil para diferentes compuestos vegetales (Primo Yufera, 2020).

El proceso de extracción por etanol implica el suministro del disolvente al material vegetal y la disolución selectiva de los materiales deseados. Con la interacción del disolvente, penetrando en los tejidos vegetales, donde desintegra los tabiques celulares y libera los elementos buscados en la solución. Una de las ventajas relacionadas con la extracción con etanol es la versatilidad de este, donde se puede utilizar para cualquier tipo de material vegetal como las flores, hojas, raíces o semillas para recuperar diversas sustancias como alcaloides, terpeno, cannabinoides y flavonoides (Primo Yufera, 2020).

## 3. Extracción con fluidos supercríticos

Los fluidos supercríticos son buenos disolventes debido a su baja viscosidad y coeficiente de difusión, parecido a los gases. La tensión superficial de estos fluidos es igual a cero, por lo que son adecuados para la extracción de sustancias contenidas en matrices

solidas. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el fluido mas utilizado para este proceso, destacando que es reciclable y de bajo impacto ambiental (Primo Yufera, 2020).

## K. Selección de solvente en método de Soxhlet

La selección del disolvente es un aspecto fundamental en el método de Soxhlet, ya que determina la eficiencia de la extracción y la calidad del aceite que se obtendrá.

### 1. Hexano

El hexano es un compuesto apolar, que no puede formar enlaces de hidrogeno con el agua, es el disolvente más comúnmente usado para la extracción de aceite de semillas, esto gracias a su capacidad de disolver lípidos. Una de sus ventajas es su bajo punto de ebullición, esto facilita su recuperación mediante condensación, lo que reduce costos y riesgos ambientales. Otra de sus ventajas es su alta eficiencia, llegando a alcanzar rendimientos de mas 98% del total del aceite disponible. El hexano no altera la calidad de los ácidos grasos ni de los antioxidantes que se encuentran presentes en el aceite preservando sus propiedades funcionales (Primo Yufera, 2020).

### 2. Éter de petróleo

El éter petróleo es un disolvente volátil e inflamable el cual es derivado del petróleo, presenta características similares al hexano como su disolución de lípidos al punto de ebullición. Una desventaja es un costo de obtención mayor, además que su uso es mas restringido lo que complica un uso a gran escala. Como principal ventaja tenemos que posee una alta eficiencia similar a la del hexano (Primo Yufera, 2020).

### 3. Etanol

El etanol es un compuesto químico orgánico cuya función principal es la de combustible o disolvente, es un compuesto mas seguro y sostenible al ser comparado con el hexano y el éter de petróleo. Este posee un impacto menor en cuanto a toxicidad por lo que es más fácil de manejar, esto lo hace una buena opción para la producción de aceites destinados el consumo humano o a productos orgánicos. Como desventajas tenemos que su capacidad de disolución requiere mayores volúmenes de disolvente y tiempos de extracción más elevados (Primo Yufera, 2020).

Al momento de la selección del disolvente no solo se debe de considerar su capacidad de extracción, sino también el propósito que se le dará al aceite que se extraiga. Para

diferentes aplicaciones industriales como la alimenticia o la cosmética donde se prioriza la calidad del aceite, el hexano es la opción mas adecuada gracias a su alto rendimiento y selectividad. Mientras que en aplicaciones donde la seguridad y el cuidado del medio ambiente son prioridad, como en cuidados de uso personal, el etanol es una opción bastante aceptada.

Otro factor para tomar en cuenta es, la facilidad de recuperación y reutilización, esto afecta tanto los costos operativos como el impacto ambiental del proceso. Entre las técnicas de recuperación tenemos, la destilación.

## L. Procesos de separación

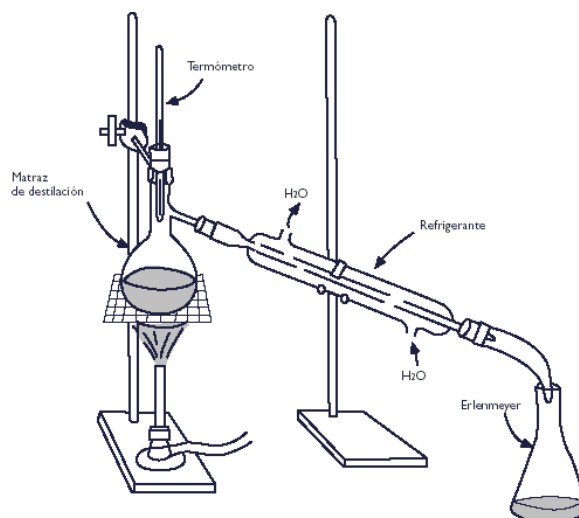
### 1. Destilación

#### 1.1. Destilación simple

La destilación es un proceso de separación de para mezclas de líquidos cuyos componentes se diferencien entre si en sus temperaturas de ebullición. La separación de la mezcla de líquidos tiene lugar de forma que los componentes pasan a la fase gaseosa y seguidamente se condensa sin reflujo. La proporción de componentes con puntos de ebullición inferiores es mayor en el destilado que en la mezcla inicial (Hopp, 2022).

Este proceso se basa en la diferencia de punto de ebullición de las sustancias que conforman una mezcla. Cada sustancia cuenta con su propio punto de ebullición donde al alcanzar esta temperatura la sustancia en estado líquido pasa a estado gaseoso. Al calentar la mezcla, obtenemos que la sustancia con el punto de ebullición mas bajo se evapora primero y la sustancia con punto de ebullición mas alto permanece en estado líquido. Como su principal ventaja tenemos que se logran obtener líquidos puros y concentrados y es comúnmente usado en la industria para limpiar líquidos, eliminando impurezas. Sin embargo, entre sus desventajas tenemos que se requiere una alta cantidad de energía para calentar la mezcla, además que no se recomienda cuando los puntos de ebullición de las sustancias son muy similares (King, 2021).

**Figura 13. Montaje de destilación simple**

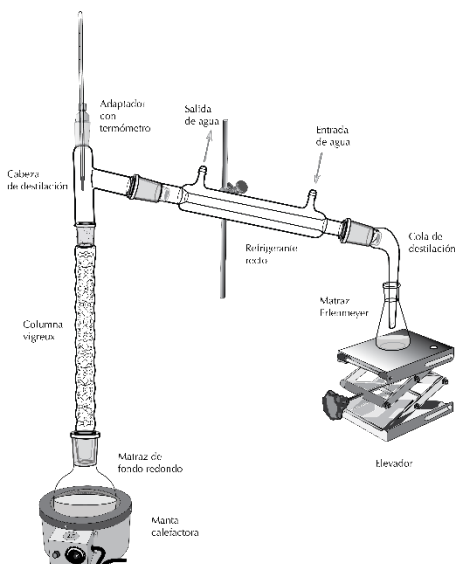


(Pasto & Johnson, 2023)

### 1.2. Destilación fraccionada

La destilación fraccionada se emplea cuando es necesario separar dos o más compuestos volátiles. El principio de destilación fraccionada está basado en la ejecución de un gran número de ciclos teóricos de condensación -evaporación. Al usar una columna de fraccionamiento se produce un equilibrio entre el líquido condensado que desciende por su interior y los vapores ascendentes, lo cual produce el efecto de múltiples ciclos de condensación- evaporación (Pasto & Johnson, 2023).

**Figura 14. Montaje destilación fraccionada**



(Pasto & Johnson, 2023)

## M. Modelo matemático

Un modelo matemático es el conjunto de ecuaciones que representan la dinámica de un sistema, estas ecuaciones permiten comprender y predecir el comportamiento de sistemas complejos. Los modelos matemáticos pueden adoptar muchas formas distintas, dependiendo del sistema que se quiera modelar y las condiciones iniciales del mismo. La utilización de modelos matemáticos es de vital importancia a la hora de analizar fenómenos físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos, etc. Por medio de expresiones matemáticas se busca comprender la relación entre variables y busca predecir comportamientos futuros bajo diferentes condiciones (Ogata, 2003).

## N. Balance de masa

El balance de masa es una constatación de la conservación de la materia. El balance de masa afirma que la cantidad de todas las especies que contienen átomos determinados en una disolución es igual a la cantidad de átomos introducidos en la disolución. Un sistema abierto es aquel que permite realizar un intercambio de masa a través de los límites del sistema, mientras que un sistema cerrado no permite este tipo de intercambio con los alrededores (Harris, 2003).

El balance de masa de un proceso industrial es una contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en el curso del intervalo de tiempo de operación asignado. El principio general de los cálculos de balance de masa es establecer un número de ecuaciones independientes igual al número de incógnitas de composición y masa (Hougen & Ragatz, 1982).

El concepto de balance de masa está dado en la ley de conservación de la materia o la ecuación de continuidad

$$\textit{entradas} - \textit{salidas} + \textit{produccion} = \textit{acumulacion}$$

Donde en sistemas continuos o permanentes la acumulación es igual a cero, en los sistemas sin reacciones químicas la producción es igual a cero. Para los sistemas cerrados, las entradas y salidas son iguales a cero. Gracias a este modelo matemático permite conectar la teoría de la conservación de la materia con el análisis de procesos industriales (Orozco, 1998).

## O. Balance de energía

El balance de energía es la aplicación de la primera ley de la Termodinámica, la cual establece que, en un proceso físico o químico, la energía no se crea ni se destruye. Las principales manifestaciones de energía en la industria se pueden clasificar como externas, internas y en transición (Patiño, 2000).

Las energías externas son aquellas que dependen de la situación relativa de los cuerpos con respecto a coordenadas de espacio y tiempo, como:

- Energía potencial: es la que el cuerpo tiene en relación con su posición y que se debe a las fuerzas de atracción en un campo gravitacional
- Energía cinética: es la energía que posee un cuerpo debido a su velocidad relativa a una zona de referencia

La energía interna se define como la cantidad total de energía que contiene una sustancia dentro de si misma y que es la suma de energías cinéticas y potenciales intramoleculares e intermoleculares. Incluye el movimiento rotacional, vibraciones e interacciones electromagnéticas internas (Patiño, 2000).

Aplicando el concepto de conservación de la energía tenemos un sistema cerrado, donde no hay transferencia de masa en sus fronteras, la energía si puede ser transferida ya sea en forma de calor o de trabajo, este proceso se puede expresar como:

$$\text{Energía final} - \text{Energía inicial} = \text{Energía transferida}$$

$$\Delta U = Q - W$$

Donde  $Q$  es el calor que se transfiere y  $W$  es la cantidad de trabajo,  $\Delta U$  es el cambio de energía (Patiño, 2000).

## P. Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo son herramientas clave en el diseño de un proceso, muestran el arreglo o disposición del equipo seleccionado para llevarlo a cabo y además indican la conexión de las corrientes, tasas de flujo, composiciones y condiciones de operación. El diagrama de flujo constituye un modelo esquemático del proceso y tiene como función servir de base para el diseño de equipo, tubería, instrumentación y distribución de planta. También se utilizará en la preparación de manuales de operación y entrenamiento de operadores (Santos, Gracia & Molina, 2005).

El diagrama de flujo se elabora a partir de balances de materia alrededor de cada unidad y del proceso completo. También deben de hacerse balances de energía para determinar flujos de ella, así como requerimientos de servicios. Como el diagrama de flujo es el documento definitivo sobre el proceso, su presentación debe ser clara, exacta y completa (Santos, Gracia & Molina, 2005).

## 1. Tipos de diagrama de flujo

### 1.1. Diagramas en bloques

Es la forma más simple de representación, cada bloque representa un equipo individual o una etapa del proceso. Es útil para mostrar los procesos de forma más simplificada en informes o textos.

### 1.2. Diagrama pictórico

En los diagramas de flujo detallados que se utilizan para el diseño y operación, los equipos normalmente se muestran en forma pictórica y estilizada

## 2. Información esencial en los diagramas de flujo

En los diagramas de flujo se debe colocar cierta información imprescindible para la caracterización del proceso y esta es: flujo de cada componente individual, composición en fracción por peso, flujo total de la corriente, temperatura y presión de operación. Otra información no de carácter esencial per útil para la comprensión del proceso es porcentaje molar, densidad, viscosidad y entalpía (Santos, Gracia & Molina, 2005).

## V. ANTECEDENTES

El análisis de los compuestos del aceite proveniente de los diferentes tipos de semilla de uva, ha sido de interés para poder evaluar el aprovechamiento de las mismas. Baydar et al., (2007) en el artículo de *Extraction of grape seed oil by Soxhlet and supercritical carbon dioxide* aportan una base técnica y hacen referencia a la comparación de métodos de extracción, entre Soxhlet y por fluidos supercríticos, en el se menciona que el rendimiento varía dependiendo del método, del solvente y de las parámetros de operación. Además, como conclusión se menciona que con el método de Soxhlet se obtuvo un mejor rendimiento, la cantidad total de aceite en base seca (8-10 %) fue mayor comparándolo con el scCO<sub>2</sub>, sin embargo, el scCO<sub>2</sub> dio una tasa de extracción inicial más alta, es decir, fue más selectiva, por lo que el aceite que se obtuvo, aunque en menor proporción, fue más puro y sin trazas de solvente químico.

Romero et al., (2019) en su trabajo *Evaluación del rendimiento y calidad del aceite extraído de semillas de uva mediante Soxhlet* tuvieron como finalidad evaluar la calidad fisicoquímica del aceite extraído del tipo de semilla *Concord*, usando hexano como solvente, para determinar en qué industria tendría un potencial uso. En el estudio acondicionaron las semillas mediante secado y molienda para el posterior proceso de extracción, al finalizar, el aceite se analizó bajo varios parámetros como el índice de saponificación, acidez y peróxidos, además de la densidad y el perfil de ácidos grasos. Como conclusión se obtuvo un 10-12 % de rendimiento en base seca, presentó un alto contenido de ácidos grasos, principalmente el ácido linoleico con 60-70 % de presencia.

En el artículo escrito por Maier et al., (2009) *Characterization of grape seed and pomace oil extracts and their antioxidant capacity* se ha evaluado el perfil de compuestos fenólicos mediante la capacidad antioxidante del aceite extraído de distintos tipos de semilla de uva (*Cabernet Mitos, Schwarzriesling, Spätburgunder*), por medio de prensa hidráulica y la comparación entre diferentes solventes como metanol, HCl, agua, etanol puro y mezcla de etanol-agua. La finalidad es encontrar alternativas con nueva tecnología para la formulación de cosméticos, principalmente de este subproducto agrícola por su bajo contenido de grasos saturados, además de su alta estabilidad oxidativa. También, se compararon las semillas enteras sin acondicionamiento y sin extracción con las semillas sin acondicionamiento con extracción, con la finalidad de poder analizar las pérdidas o ganancias de los compuestos de interés. Se obtuvo como resultado que el rendimiento fue menor en la extracción por prensa porque según los ensayos FRAP y TEAC, la mayor parte de los fenoles se quedaron en el equipo.

Ghafoor (2009) en el artículo *Supercritical fluid extraction of phenolic compounds and antioxidants from grape (Vitis labrusca B.) seeds* se realizó un acondicionamiento previo

a 9 genotipos de semillas de uva, las cuales se secaron por 5 horas en el horno a 65 °C hasta llegar a peso constante, con una humedad entre 4.95 y 6.54 % . Después se molieron para tener una previa rotura antes de la extracción por fluidos supercríticos para el aceite de la semilla se uva, utilizando como solvente al hexano, la condición de operación de la temperatura en el montaje fue de 68 °C, con 5-7 g de muestra, por al menos 4 horas. Al finalizar, se obtuvo un rendimiento de 10.45 al 16.4 % en base seca, además de que, en todos los genotipos, el ácido graso predominante fue el linoleico (C18:2), seguido por el oleico (C18:1) y el palmítico (C16:0).

En el trabajo escrito por Tangolar et al., (200) de *Evaluation of fatty acid profiles and mineral content of grape seed oils extracted by different methods* el principal objetivo fue comparar las diferentes variedades de uva, evaluando el contenido de aceite, la composición por medio de los ácidos grasos y también el contenido de mineral. Se concluyó que la eficiencia del método Soxhlet está dada por la cantidad de humedad que posean las semillas inicialmente, así como el grado de molienda y el usar semillas secas y pulverizadas. El rendimiento del aceite extraída varió entre los 10.45-16.7 % de contenido total, dependiendo del tipo de uva y el acondicionamiento previo, donde la composición mostró que el ácido linoleico (C18:2) fue el componente predominante, seguido del oleico (C18:1) y el palmítico (C16:0).

El método de Soxhlet es destacado por su capacidad para realizar extracciones continuas y reproducibles, tal y como se menciona en el trabajo *Effect of roasting and extraction conditions on the yield, chemical properties and antioxidant activity of Pistacia atlantica seed oil* donde se compara el método Soxhlet con otros métodos, como extracción con solvente de agitación y prensa en frío, se concluyó que el método se Soxhlet obtiene mejores rendimientos y extracción mas completa de los lípidos en el tipo de semillas pequeñas como las presentes en las uvas. Además, se mencionó que la actividad antioxidante del aceite aumentaba conforme aumentaba la intensidad del tostado, probablemente debido al incremento de compuestos fenólicos o compuestos de reacción de Maillard formados durante el calor (Azadmard-Damirchi, 2010).

En el trabajo *Kinetic modeling of oil extraction from plant seeds using Soxhlet method* de Santos et al., (2021) se destacó la importancia de modelar el proceso de extracción de aceite en función del tiempo transcurrido, de forma que se puedan identificar las mejores condiciones de operación y se pueda reducir el consumo de solvente.

De acuerdo con el trabajo *Diseño conceptual de una planta piloto para la extracción de aceite de aguacate mediante solventes orgánicos* se realizó un escalamiento para la extracción del aceite de las semillas de aguacate, donde se definió el proceso de operaciones unitarias clave para la realización e implementación de una planta piloto. El proceso en los resultados fue molienda, secado, extracción con solvente, recuperación del aceite y la

recuperación del solvente mediante destilación. También se incluye el balance de masa y energía que es funcional para saber la capacidad de los equipos y las pérdidas en función de la energía suministra (Tzompantzi et al., 2020).

## VI. METODOLOGÍA

### A. Materiales

#### 1. Equipo

- 1.1. Triturador
- 1.2. Secador
- 1.3. Tamizador
- 1.4. Balanza analítica
- 1.5. Balanza de mesa
- 1.6. Balanza de humedad
- 1.7. Manta térmica
- 1.8. Plancha térmica
- 1.9. Bomba sumergible
- 1.10. Termómetro de alcohol
- 1.11. Plataforma elevadora

#### 2. Cristalería

- 2.1. Kit de Soxhlet
- 2.2. Kit de destilación simple
- 2.3. 5 tapones de vidrio
- 2.4. 2 balones de 3 bocas 250 mL
- 2.5. 1 balón 1000 mL

#### 3. Materiales y reactivos

- 3.1. 240 libras de uva tipo Red Globe
- 3.2. 190 mL Hexano
- 3.3. 5 claps
- 3.4. 4 soportes
- 3.5. 5 pinzas
- 3.6. 4 mangueras
- 3.7. 1 cubeta 20 L
- 3.8. Papel filtro
- 3.9. 1 agitador magnético pequeño

## B. Metodología general

### 1. Materia prima

Se adquirieron como materia prima las uvas del tipo Red Globe en el viñedo El puente ubicado en El jute, Usumatlán, Zacapa, Guatemala. La compra se hizo por lotes de 25 libras para evitar la degradación de los compuestos de interés en las semillas del fruto, que se utilizaron en el proceso de la extracción de aceite.

Se garantizó el estado físico de las uvas, por medio de fotografías, donde se rastreó la condición de las mismas, desde antes de cortarlas de sus racimos. Y se seleccionaron las que se encontraban en mejor estado.

La materia prima se trasladó al lugar donde se realizó el pretratamiento en cajas plásticas adecuadas para evitar abolladuras en el fruto, que protege la exposición solar de forma directa y las altas temperaturas, con la finalidad de no llegar a una fermentación temprana indeseada, junto con el deterioro de la fruta.

### 2. Pretratamiento de semillas de uva

#### 2.1. Recolección de semillas

Las semillas de la uva Red Globe se obtuvieron de forma manual con espátulas y cuchillo, de forma cautelosa para evitar dañar tanto la superficie como el interior de la misma. Se eliminaron los restos de pulpa y piel que quedaron en las semillas y que pudo afectar la calidad de la extracción. Las semillas se fueron almacenando en recipientes herméticos, limpios y secos.

En la selección de las semillas, solo se usaron las enteras y que no se veían deterioradas o dañadas. Además, se guardaron de forma directa después de extraerlas del fruto para evitar que existiera alguna contaminación.

Se anotó el peso de la totalidad de pulpa y escobajo, para cuantificar las pérdidas y también el de las semillas que se obtenían en cada lote para poder obtener la relación entre semillas y cantidad de uvas usadas.

#### 2.2. Lavado corto

Las semillas recolectadas fueron lavadas con agua destilada, durante no más de 30 segundos, para poder terminar de quitar cualquier residuo, se evitó el remojo largo, solo escurrido por gravedad para que los compuestos de interés se solubirizaran. No se realizó ningún movimiento mecánico ni manual para evitar la fricción que pudo afectar su superficie.

### 2.3. Secado

Las semillas de uva limpas fueron sometidas al proceso de secado controlado en un horno a 65 °C, durante 5 horas con mediciones intermedias cada 2 horas hasta alcanzar la reducción de la humedad necesaria, obteniendo por medio de la balanza de humedad analítica un porcentaje por debajo del 8 % en peso.

Esto se realizó por medio de la colocación de las semillas en bandejas de acero inoxidable, de forma que la distribución fuera homogénea, haciendo una capa delgada, evitando que hubieran semillas encima una de la otra, así se evitaba una transferencia de calor y masa no uniforme.

Las semillas se enfriaban a temperatura ambiente por un tiempo y se almacenaban en frascos herméticos y adecuados para la posterior etapa.

### 2.4. Trituración

Una vez secadas las semillas, se trituraron en un procesador por 44 segundos, 4 pulsaciones de 5 segundos con pausas de 6 segundos, hasta obtener partículas con tamaño entre 0.5 mm y 1 mm. Se tamizó para obtener un tamaño de partícula homogéneo de 0.5 mm, que optimice la extracción de aceite.

### 2.5. Tamizaje

La semilla proveniente del proceso de trituración entró al tamizador mecánico vibratorio, con el principal objetivo de separar y por medio del análisis granulométrico obtener el tamaño de semilla de uva que favoreció la eficiencia de la extracción.

Se utilizó una serie de tamices estándar correspondiente a mallas:

0.6 mm (ASTM N°30 y Tyler 28) - (0.589 mm)

0.5 mm (ASTM N°35 y Tyler 32) - (0.495 mm)

0.4 mm (ASTM N°40 y Tyler 35) - (0.417 mm)

0.25 mm (ASTM N°60 y Tyler 60) - (0.246 mm)

El tiempo de operación fue de 5 minutos, evitando que la semilla se polvorizara, calentara y dejara compuestos de interés en el equipo. Se trabajó a 60 Hz como frecuencia de velocidad constante.

Al finalizar, la fracción útil obtenida, el rango de apertura de 0.6 a 0.4 mm, fue almacenada en condiciones ambientales controladas y etiquetada para su uso en la extracción.

### 3. Proceso de extracción del aceite por Soxhlet

#### 3.1. Montaje del sistema Soxhlet

- a. Se colocó un soporte universal. Se colocaron 2 pinzas, una en la parte inferior que debe sostener el balón de 3 bocas y otra en lo superior para sostener el condensador.
- b. Se colocó la estufa en la parte inferior del soporte.
- c. Se armó por aparte el sistema de Soxhlet, empezando por la parte del balón de 3 bocas, el cual se llenó con el solvente hexano y se tapó de forma seguida las 2 bocas laterales para evitar fugas del mismo; una con tapón de vidrio y la otra con uno de hule para insertar el termómetro y poder controlar la temperatura del solvente. En la junta de en medio, se unió con vaselina y clap, al extractor del Soxhlet que tiene la muestra. Toda esta parte del sistema se unió con la pinza al soporte y se ajustó a una altura adecuada para estar en contacto con la estufa y sin que el clap le diera presión de más al sistema balón/extractor. Encima del extractor se conectó con vaselina el condensador, además de unir la parte de arriba con la pinza del soporte. Al condensador, se le colocaron las mangueras; la primera manguera (lado izquierdo) es de la salida, la segunda manguera (lado derecho) es de la entrada.
- d. Se colocó en una cubeta de 20 L agua de la llave, junto con la bomba de recirculación y se conectaron ambas mangueras que están en el condensador. El agua empezó a recorrer de forma adecuada por todo el condensador y a enfriar.
- e. Por último, se conectó la plancha y se colocó temperatura de aproximadamente 170 °C.

#### 3.2. Extracción por Soxhlet

- a. Se colocó entre 20-21 g de semillas pretratadas en filtros para cada corrida, los cuales se cerraron con un poco de hilo para compactar la muestra y que los reflujos en la extracción hicieran el trabajo de la extracción de los compuestos de interés en el aceite. La muestra en filtro fue colocada dentro del extractor Soxhlet.
- b. Se usó 190 mL de hexano como disolvente en cada corrida.
- c. El sistema se operó a una temperatura registrada por el termómetro de 58–60 °C, con la plancha de calentamiento ajustada a 390 °C y una agitación de nivel 10. Se prepararon 12 muestras en total, distribuidas en 4 tiempos de extracción: 1, 2, 3 y 4 horas, con 3 réplicas por cada tiempo.
- d. Se registró el número promedio de ciclos de extracción observados para los 4 tiempos de extracción; 1, 2, 3 y 4 horas.
- e. Al terminar cada corrida, se pesó tanto la muestra con filtro, como el balón con solvente y aceite para conocer el peso de la solución extraída.
- f. Se realizaron los cálculos correspondientes.

#### 4. Proceso de separación de la mezcla solvente/aceite extraída

##### 4.1. Montaje del sistema de destilación simple

- a. Se colocaron los 3 soportes universales, en serie, consecutivos y ubicados lado a lado para ayudar a sostener el resto del equipo.
- b. Se ubicó en el primer soporte universal, una plataforma elevadora a una altura aceptable porque de ahí partirá la altura del resto del equipo. Encima del elevador, se colocó la manta térmica.
- c. En el segundo soporte universal, con una pinza, se puso el tubo condensador/refrigerante en la posición y altura adecuada; se dispuso a colocarse un poco arriba del soporte, de modo que quedó flotando. Al condensador, se le colocaron las mangueras; la primera manguera (lado izquierdo) es de la salida, la segunda manguera (lado derecho) es de la entrada.
- d. Por aparte, se armó la parte que recibe el solvente ya separado y puro. Se comenzó por poner la unión tipo Y tapada con un tapón de vidrio en la junta superior, mientras que la junta hembra se conecta con el balón de 1000 mL que está abajo y recibe. Al finalizar, con una pinza se posiciona en el tercer soporte universal, donde la junta de conexión lateral de la unión Y se conectó al condensador con vaselina y con claps para terminar de asegurar.
- e. Se armó por separado la parte donde está la solución; muestra y el hexano. Se colocó el termómetro en el hule con vaselina por aparte y se puso en el tubo de cuello de cisne; la unión de estos se colocó en la boca de en medio del balón de 3 bocas, asegurándolo con clap. De los lados del balón de 3 bocas, se pusieron 2 tapones de vidrio. Al finalizar, se unió al condensador, con vaselina, 2 claps y con la pinza al soporte.
- f. Se subió el elevador junto con la manta a una altura considerable, sin topar con el balón de 3 bocas.
- g. Para colocar la muestra, se abrió una de las tres bocas del balón y se puso la solución; hexano junto con el aceite. Se limpió la boca del balón para evitar deslices y se puso el tapón con vaselina, asegurando que estuviera bien puesto para evitar que se evapore el solvente.
- h. Se colocó en una cubeta de 20 L agua de la llave, junto con la bomba de recirculación y se conectaron ambas mangueras que están en el condensador. El agua empezó a recorrer de forma adecuada por todo el condensador y a enfriar.
- i. Por último, se conectó la manta térmica y puso la temperatura de aproximadamente 150 °C.

#### 4.2. Purificación del aceite

- a. Al tener la muestra cargada, se registró la masa inicial.
- b. Se encendió la manta térmica para mantener controlada la temperatura y alcanzar la ebullición del solvente para asegurar una adecuada separación.
- c. Después de la ebullición del solvente, se recolectó en el balón que se encontraba al finalizar la condensación.
- d. Se pesó el balón con el solvente recuperado y el balón que conservó el aceite extraída.
- e. Se realizaron los cálculos correspondientes.

### C. Construcción del modelo matemático que describe el rendimiento en función del tiempo de extracción

#### 1. Herramientas

1.1. Excel

1.2. Google Colab Phyton

#### 2. Procedimiento para construir el modelo matemático

- a. Se definió el comportamiento de los datos para determinar el modelo matemático que lo describió.
- b. Se definió el rango experimental, es decir, el tiempo mínimo y máximo.
- c. Se calculó el rendimiento de extracción en cada punto experimental.
- d. Se hizo el conjunto de pares, es decir, tiempo-rendimiento de cada punto.
- e. Se adaptó la forma hiperbólica de saturación, tipo de decaimiento extractivo porque fue la apropiada para demostrar el agotamiento progresivo del soluto.
- f. Se escribió el código por medio de Google Colab Phyton.
- g. Los datos se graficaron por medio del programa.
- h. Se realizaron los ajustes al modelo para adaptar los datos a los experimentales para determinar el rendimiento máximo y el tiempo que se alcanzó al 50 % de rendimiento
- i. El programa entregó los datos ajustados al modelo con los datos experimentales y se verificaron todos los datos con el gráfico de porcentaje residual en función del tiempo, con la finalidad de evaluar la distribución de todos los puntos.

## VII. RESULTADOS

### A. Acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe

**Tabla 6. Pesos promedios tomados en las distintas etapas de acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe**

Etapas del acondicionamiento	Promedio	Rendimientos porcentuales (% m/m)	Desviación estándar
Uvas entrantes ( $\pm 159.7$ g)	9,088.52	100	251.3110059
Despulpe de las uvas ( $\pm 160.9$ g)	9,030.78	99.4	253.361086
Semillas de uvas extraídas ( $\pm 1.88$ g)	45.75	0.51	2.95494347
Semillas de uvas lavadas ( $\pm 1.54$ g)	53.99	118	2.415924912
Semillas de uvas secas ( $\pm 0.97$ g)	30.93	57.3	1.531250974
Semillas de uvas trituradas ( $\pm 1.14$ g)	29.26	94.6	1.798034912
Semillas de uvas tamizadas ( $\pm 0.164$ g)	19.75	67.5	0.257389594

En la tabla se presentan los pesos promedios, de 12 muestras, correspondientes a la preparación de semillas de uva Red Globe en cada una de las etapas. Cada promedio se reporta con el rendimiento porcentual masa masa respecto a la anterior etapa mencionada y la desviación estándar, respectiva. Los datos de los pesos experimentales individuales de cada corrida se muestran en la **Tabla 37**.

**Tabla 7. Datos obtenidos de la retención de agua en la etapa del lavado corto de las semillas de uva Red Globe**

No. Corrida	Agua retenida (g)	Porcentaje de retención (%)
1	8.60	2.87
2	7.68	2.56
3	7.78	2.59
4	8.71	2.90
5	9.29	3.10
6	6.78	2.26
7	9.07	3.02
8	8.54	2.85
9	6.69	2.23
10	9.48	3.16
11	7.62	2.54
12	8.67	2.89
Promedio (%)	8.24	2.73
Desviación estándar	0.88	0.30

En la tabla se muestran los resultados del agua retenida y el porcentaje de retención de las 12 corridas en la etapa del lavado con agua durante no más de 30 segundos, para poder terminar

de quitar cualquier residuo, de las semillas en el proceso de acondicionamiento. Se muestran agrupadas por hora de operación de la posterior extracción de Soxhlet.

**Tabla 8. Datos obtenidos de la humedad de las semillas de uva Red Globe durante el proceso de secado**

No. Muestra	Porcentaje de humedad inicial (%)	Porcentaje de humedad después de 2 horas del proceso de secado (%)	Porcentaje de humedad después de 4 horas del proceso de secado (%)	Porcentaje de humedad después de 5 horas del proceso de secado (%)
1	45.82	20.31	9.43	6.66
2	44.37	22.15	11.19	5.61
3	45.9	21.39	9.16	4.75
4	46.34	20.76	8.73	6.26
5	46.12	18.71	9.29	6.87
6	46.75	18.65	8.61	4.51
7	45.96	18.18	9.93	4.18
8	45.71	22.54	9.65	5.62
9	46.58	21.51	8.24	7.46
10	47.33	18.88	8.86	6.11
11	46.98	18.45	11.09	6.77
12	45.81	21.23	8.15	6.92
Promedio (%)	46.14	20.23	9.36	6.01
Desviación estándar	0.76	1.58	0.99	1.10

En la tabla se muestran los resultados de porcentaje de humedad a lo largo del tiempo del secado de las semillas de uva, etpa en el proceso de acondicionamiento. Hay 12 corridas agrupadas por hora de operación de la posterior extracción de Soxhlet. El porcentaje de humedad requerido era menor a 8 % tras 5 horas de secado a 65 °C.

**Tabla 9. Resultado del análisis granulométrico en el proceso de tamizaje**

No. Muestra	Carga completa al tamizador (g)	>0.6 mm (g)	0.6-0.4 mm (g)	0.4-0.25 mm (g)	<0.25 mm (g)	Total (g)
1	28.65	1.298	19.9978	5.624	1.73	28.65
2	31.08	1.754	19.8878	7.221	2.222	31.08
3	27.01	1.077	19.8222	4.666	1.436	27.00
4	27.57	1.224	19.4073	5.306	1.633	27.57
5	29.91	1.576	19.4064	6.827	2.101	29.91
6	30.98	1.855	19.4232	8.038	1.662	30.98
7	29.6	1.49	19.6666	6.457	1.987	29.60
8	28.52	1.333	19.6333	5.776	1.777	28.52
9	31.95	1.848	19.6315	8.007	2.464	31.95
10	26.52	0.965	20.0864	4.182	1.287	26.52
11	31.21	1.678	20.0254	7.271	2.237	31.21
12	28.09	1.209	20.0279	5.242	1.612	28.09
Promedio (%)	29.26	1.44	19.75	6.22	1.85	29.26
Desviación estándar	1.798	0.302	0.257	1.277	0.356	1.799

La tabla muestra el análisis granulométrico en el tamizaje de las semillas de uva, etapa en el proceso de acondicionamiento. Hay 12 corridas agrupadas por hora de operación de la posterior extracción de Soxhlet. Y, se presenta el peso de la carga completa que ingresa al tamizador junto con los pesos retenidos en cada plato, dividido por la fracción de tamaño de partícula. El tamaño requerido era lo obtenido en el plato de 0.6-0.4 mm (g).

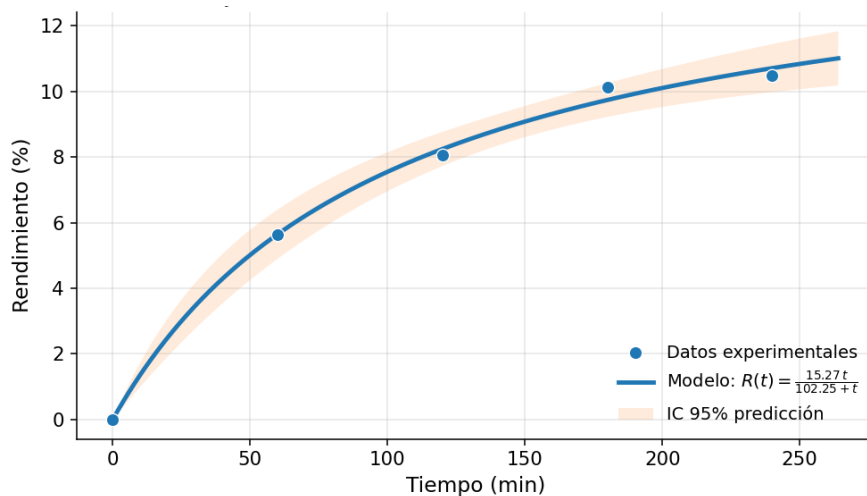
## B. Extracción por Soxhlet

**Tabla 10. Resultados de los porcentajes promedios de rendimientos en función del tiempo promedio de las corridas de extracción por Soxhlet**

Extracción	No. Corrida	Rendimiento de la extracción (%)	Media (x)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de variación (%)
Hora 1	1	5.611	5.6443	0.031262331	0.553871096
	2	5.649			
	3	5.673			
Hora 2	4	8.078	8.0667	0.07960737	0.986868221
	5	7.982			
	6	8.14			
Hora 3	7	10.159	10.1397	0.053678053	0.529386758
	8	10.079			
	9	10.181			
Hora 4	10	10.401	10.4887	0.089029958	0.848820544
	11	10.579			
	12	10.486			

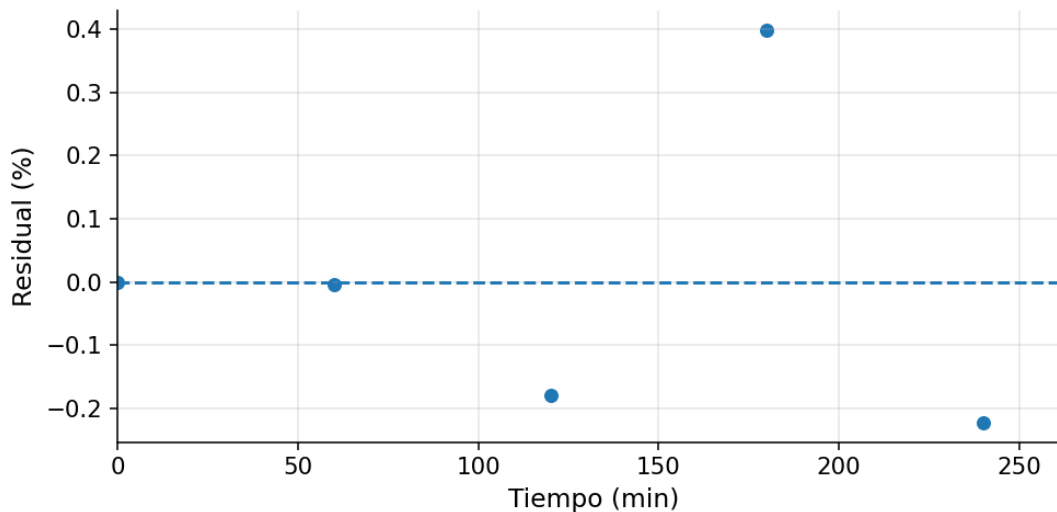
En la tabla se presentan los porcentajes promedios de rendimiento de aceite de la uva Red Globe en función del tiempo promedio de operación de las corridas de extracción por Soxhlet, considerando el tiempo de 0 a 240 minutos.

**Figura 15. Ajuste de los rendimientos promedios para las corridas**



En la figura se muestran los datos experimentales de los rendimientos promedios de la extracción de aceite de semillas de uva Red Globe, por Soxhlet con solvente, obtenidos de la **Tabla 10** para evaluar su comportamiento y presentar el ajuste del modelo matemático de decaimiento extractivo, con un I.C. al 95 % de confianza, además de determinar los parámetros necesarios.

**Figura 16. Análisis de los residuales en función de los tiempos promedios de las corridas**



En la figura se muestra el resultado del análisis de los residuales obtenidos del modelo de decaimiento extractivo ajustado a los datos experimentales. Se muestra la distribución en función del tiempo promedio de las corridas, donde los valores cercanos a 0 y sin dispersión, señalan un buen ajuste.

### Ecuación 1. Modelo matemático ajustado por modelo de decaimiento extractivo

$$R(t) = \frac{15.27 t}{102.25 + t}$$

Donde:

R(t) = rendimiento acumulado de aceite (%) en función del tiempo

t = tiempo de extracción (minutos)

La ecuación muestra al modelo matemático ajustado por el modelo de decaimiento extractivo a los datos experimentales de extracción de aceite de semilla de uva Red Globe. El modelo describe el rendimiento acumulado en función del tiempo, prediciendo un rendimiento máximo teórico de 15.25 % y una constante de 102.25 min, que representa el tiempo para alcanzar la mitad de dicho rendimiento.

### C. Separación por destilación simple

**Tabla 11. Rendimiento de la destilación de solvente en la etapa de recuperación del hexano**

No. Corrida	Rendimiento de la destilación (%)	Media (x)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de variación (%)
1	95.568	95.39	0.297442992	0.31182324
2	95.045			
3	95.552			
4	95.508	95.28	0.444892122	0.466955782
5	95.555			
6	94.762			
7	94.498	94.64	0.283012956	0.299050011
8	94.451			
9	94.963			
10	94.934	94.34	0.612114641	0.648850387
11	94.37			
12	93.711			

En la tabla se presentan los porcentajes de rendimientos obtenidos durante la destilación simple para la recuperación del hexano, proveniente de la mezcla solvente/aceite en las 12 corridas experimentales. Se reportan los valores individuales y de igual forma el promedio agrupado con la desviación estándar los mismos.

## D. Aceite recuperado

**Tabla 12. Resultados del rendimiento de aceite de semilla de uva Red Globe en base húmeda y seca**

No. Corrida	Semillas de uva alimentada ( $\pm 0.01$ g)	Semillas de uva secas ( $\pm 0.01$ g)	Aceite de semilla de uva recuperado ( $\pm 0.14$ g)	Porcentaje de rendimiento en base seca (%)	Porcentaje de rendimiento en base húmeda (%)
1	44.82	31.01	1.12	3.62	2.50
2	48.48	33.1	1.12	3.39	2.32
3	42.08	28.41	1.12	3.96	2.67
4	42.99	29.59	1.57	5.30	3.65
5	46.67	32.28	1.55	4.80	3.32
6	49.58	31.43	1.58	5.03	3.19
7	46.21	31.18	2.00	6.41	4.32
8	44.57	30.55	1.98	6.48	4.44
9	49.84	32.63	2.00	6.13	4.01
10	41.38	28.53	2.09	7.32	5.05
11	48.77	32.07	2.10	6.55	4.31
12	43.61	30.44	2.10	6.90	4.81
Promedio	45.75	30.935	1.694	5.490	3.716
Desviación estándar	2.955	1.517	0.402	1.337	0.918

En la tabla se presentan los porcentajes de rendimiento de la obtención del aceite de semilla de uva, tanto en base seca como en base húmeda. Se reportan los valores individuales correspondientes a las 12 corridas realizadas.

## E. Propuesta de operaciones unitarias

**Tabla 13. Operaciones unitarias requeridas para el desarrollo del proceso de la extracción de aceite de semilla de uva Red Globe**

Etapas	Operación unitaria	Principio de funcionamiento	Principio de dimensionamiento	Justificación de selección
1	Separación sólido sólido por despallado mecánico	Diferencia por rigidez y geometría entre el escobajo y las bayas. Con un transporte axial se golpean los racimos, donde se separan las bayas y con cilindro perforado que funciona como colador, se descargan por gravedad.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Eficiencia de separación entre bayas y el escobajo</li> <li>3. Longitud e inclinación del tambor</li> <li>4. Velocidad de rotación y número de paletas</li> <li>5. Apertura de la criba</li> <li>6. Porcentaje de pérdida de grano</li> </ol>	Se elimina el escobajo por la lignocelulósica que contamina las semillas, además, se evita el arrastre de tallos al despulpado y mejora higiene.

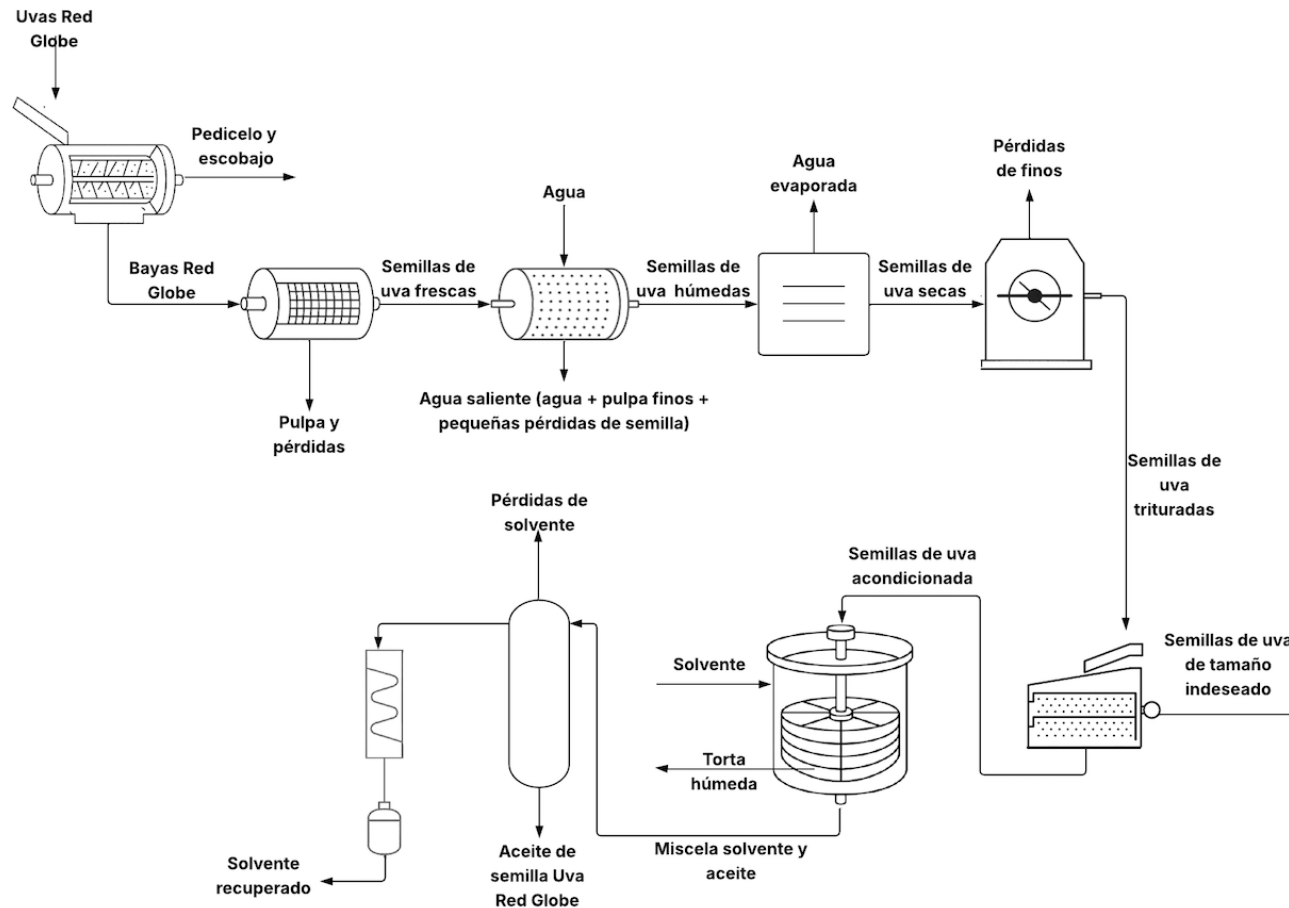
2	Separación sólido sólido por despulpe mecánico	Diferencia por tamaño y consistencia entre la parte blanda y la fracción sólida. Por medio de una rotación de impulsor, en forma de palas o rodillos, se empuja la pulpa a través de un tamiz, donde los sólidos duros quedan retenidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Selectividad del tamiz</li> <li>3. Área de malla (m<sup>2</sup>)</li> <li>4. Tamaño de perforación</li> <li>5. Velocidad de rotación del impulsor</li> <li>6. Porcentaje de rotura de semilla permitido</li> </ol>	Separa semillas sin triturarlas, es una operación en vía húmeda por lo que reduce la pérdidas y fricción de compuestos solubles.
3	Lavado por aspersión de sólidos	Se eliminan los restos de pulpa o de azúcares que están adheridos a la superficie de las semillas, por medio de la aspersión de agua se rompe la tensión superficial, se disuelven y se arrastra.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Consumo de agua (L/kg)</li> <li>3. Presión y caudal de las boquilla de aspersión</li> <li>4. Tiempo de residencia en la zona de lavado</li> <li>5. Cobertura y distribución de aspersión</li> </ol>	Se reduce la carga orgánica y azúcares pegajosos que pueden dificultar el proceso de secado y extracción, además mejora inocuidad.
4	Separación sólido líquido con drenado por gravedad	Se remueve el agua libre superficial, por medio de gravedad, mediante mallas o bandejas inclinadas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Área de drenado (m<sup>2</sup>)</li> <li>3. Tiempo de residencia para alcanzar humedad libre mínima</li> <li>4. Tamaño y distribución de perforaciones en área de drenaje</li> <li>5. Pendiente o la inclinación de la bandeja</li> </ol>	Disminuye humedad libre antes del secado → menor energía térmica; equipo pasivo y robusto.

5	Secador de sólidos	Se tiene transferencia de calor por la convección del aire caliente a las semillas y también transferencia de masa del vapor de agua hacia la corriente gaseosa, reduciendo el porcentaje de humedad hasta obtener el solicitado.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Carga de agua a evaporar (kg/h)</li> <li>3. Curva de secado de las semillas</li> <li>4. Temperatura y caudal de aire de secado</li> <li>5. Área de contacto sólido–fluido (m<sup>2</sup>)</li> <li>6. Temperatura del aire</li> <li>7. Tiempo de residencia en el secador</li> </ol>	Al reducir la humedad se evita hidrólisis y oxidación del aceite, además mejora el rendimiento de extracción con solvente. Se selecciona el equipo según eficiencia térmica y capacidad de controlar la temperatura para preservar la calidad del aceite.
6	Trituración de sólidos	Se reduce el tamaño de las semillas por medio de una fuerza mecánica, de impacto o cizalla, aplicadas a un molino. Las tensiones mecánicas superan la resistencia del tegumento, abren la semilla y se generan las partículas de granulometría controlada.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Distribución de tamaño objetivo</li> <li>3. Velocidad de rotación del rotor</li> <li>4. Consumo específico de energía para determinar la potencia requerida del molino (kW)</li> </ol>	Aumenta el área superficial específica y expone el núcleo oleaginoso, acelerando la lixiviación y elevando el rendimiento con solvente.
7	Tamizado vibratorio	Diferencia por tamaño geométrico, mediante la separación de partícula usando cribas que tienen especificaciones como ASTM y Tyler. La vibración controla la eficiencia del paso y la estratificación, evitando obstrucciones.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Área de criba (m<sup>2</sup>)</li> <li>3. Número de mallas o etapas</li> <li>4. Apertura de las mallas</li> <li>5. Amplitud y frecuencia de vibración</li> <li>6. eficiencia de separación</li> </ol>	Al reducir el tamaño se puede buscar por granulometría controlada el tamaño que maximiza la transferencia de masa sin generar finos que compacten el lecho ni provoquen arrastre de sólidos.

8	Extracción sólido-líquido con solvente	Es la transferencia de masa del soluto (aceite) desde la matriz sólida (semilla triturada) hacia un solvente. El ciclo continuo asegura que el sólido esté siempre en contacto con el solvente y con capacidad extractiva, hasta alcanzar el equilibrio de partición sólido-líquido.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Relación sólido/solvente</li> <li>3. Tiempo de residencia o número de ciclos de recirculación</li> <li>4. Tamaño y porosidad del lecho de partículas trituradas.</li> <li>5. Área de contacto sólido-líquido</li> <li>6. Temperatura de operación <math>\approx</math> punto de ebullición del solvente</li> </ol>	El aceite se encuentra atrapado en la matriz sólida de la semilla, algo que sería difícil poder recuperar por separación mecánica. El uso de un solvente orgánico no polar permite la disolución selectiva de los triglicéridos, de acuerdo con principios de afinidad química.
9	Destilación	La separación se da por medio de una diferencia de volatilidad entre los componentes de la mezcla aceite/solvente. Al suministrar calor, el solvente pasa a fase vapor, se separa del aceite y luego se condensa en el refrigerante. El residuo líquido en el hervidor corresponde al aceite libre de solvente.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidad a procesar (kg/h)</li> <li>2. Diferencia de volatilidad</li> <li>3. Deber térmico de vaporización</li> <li>4. Superficie de intercambio térmico</li> <li>5. Capacidad del condensador</li> <li>6. Tiempo de residencia del aceite</li> </ol>	Es necesario para remover el solvente residual del extracto y entregar un aceite para su posterior análisis o aplicación industrial. Además, permite la recuperación y reutilización del solvente empleado en la extracción, por lo que se reducen costos.

El cuadro muestra la propuesta de las operaciones unitarias consideradas para el desarrollo del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe. Se dan a presentar las etapas para el acondicionamiento, la extracción del aceite y la separación; con el principio de funcionamiento, los criterios del dimensionamiento y la justificación de selección de cada una de las operaciones.

**Figura 17. Diagrama de las operaciones unitarias propuestas para el proceso de extracción de aceite de semilla de uva Red Globe**



Fuente: Elaboración propia

La figura muestra el diagrama de las operaciones unitarias propuestas para el desarrollo del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe. Se dan a presentar las etapas para el acondicionamiento, la extracción del aceite y la separación.

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El principal objetivo en el presente trabajo fue obtener el aceite de las semillas de uva Red Globe, por lo que como base del desarrollo del proceso, fue necesario realizar un acondicionamiento de las mismas. Las etapas consistieron en un despulpe manual, lavado corto, secado, trituración y tamizaje de las semillas, con la finalidad de establecer bases técnicas para la reproducibilidad del pretratamiento, garantizando un grado libre de contaminantes y uniformidad de las 12 corridas que fueron las muestras para la posterior etapa de la extracción por Soxhlet.

La etapa del despulpe manual era necesaria para separar las semillas de la pulpa del fruto, que contiene azúcares y agua que no interesan en este análisis. En la tabla 6 se muestra que en promedio se utilizaron  $9,088.52 \pm 251.31$  g de uvas Red Globe, que fueron aproximadamente 20 libras, y que después del despulpe se obtuvo un peso promedio de  $9,030.78 \pm 253.36$  g de pulpa, hollejo y escobajo, mientras que la fracción de interés correspondió a  $45.75 \pm 2.95$  g de semillas, es decir, el 0.5 % del peso de la baya, que aunque es menor al rango reportado en la literatura de 2 al 8 % para otras variedades de uva, resulta aceptable con las características de la Red Globe, la cual es conocida por su elevada proporción de pulpa frente a semilla.

Posterior a esto, se realizó la etapa del lavado, que fue importante porque aun cuando se realizó un despulpe, quedaron residuos de pulpa e impurezas de azúcares, por lo que era indispensable para garantizar que el aceite que se obtuvo en la extracción por Soxhlet correspondiera únicamente a la fracción lipídica de la semilla. Se muestra en la Tabla 6 que al finalizar el proceso de lavado se obtuvo el peso promedio de las semillas con un incremento a  $53.99 \pm 2.42$  g y un porcentaje de retención entre 2.23 y 3.16 en las 12 muestras (Tabla 7). Ahora, referente a las condiciones de operación de esta etapa, se guió de lo reportado por Castaño & Lopez (2010) sobre la evaluación del lavado de distintas variedades de semillas antes de ingresar al sistema por Soxhlet, donde la opción del lavado corto de 30 s fue apropiado porque se minimizó la absorción de agua por la semilla y la lixiviación de los fenoles solubles, manteniendo el perfil de la muestra con su contenido propio. En cuanto a la relación agua:materia, de 300 g/45.75 g de semillas fue suficiente para favorecer que los restos no deseados se lograran desprender sin necesidad de agitación. Así pues, al finalizar, únicamente fueron escurridas las muestras para reducir el film superficial, evitando pérdidas de finos y el exceso de manipulación.

Dado que el lavado aumentó la humedad superficial de las semillas, era necesario tener una etapa de secado controlado porque el agua interfiere con el solvente hexano en la extracción, reduce la solubilidad del aceite y aumenta el consumo energético en el proceso posterior de

destilación. Así pues, referente a las condiciones de operación de esta etapa, se guió de lo reportado por Laquie- Estaña et al. (2024) sobre los diferentes protocolos para el secado de las semillas de uva, donde indicó que a 60-65 °C se puede mantener la calidad reduciendo asimismo la humedad significativamente, obteniendo humedades finales en el rango de 5 al 10 %. Además, se menciona en la literatura que para el secado de las semillas que contienen oleaginosa, es adecuado trabajar en el rango de 60 a 70 °C para no degradar por medio de oxidación los componentes de interés como lo son los fenoles. En cuanto al porcentaje de humedad requerido, se indica que debe estar entre el 4 al 8% para evitar emulsiones en la extracción, minimizar reacciones de hidrólisis y pérdida de compuestos de interés. Por lo que referente al tiempo seleccionado de secado se tomó la hora donde se obtuvo un porcentaje menor al 8 %, la cual fue 5 horas de acuerdo con la Tabla 8. En promedio las muestras de semilla lavadas tenían un porcentaje de humedad de 46.14 %, tras 2 horas de secado se redujo a 20.23 %; donde gran parte del agua libre fue eliminada, pero no la suficiente. Al transcurrir las 4 horas, se obtuvo en promedio un porcentaje de 9.36, cercano al <8 %, pero aun no el adecuado. A las 5 horas de secado, se evaluó el contenido de humedad, dando un promedio de 6.01 %, por lo que fue la última hora crítica para alcanzar lo recomendado. El peso promedio de las 12 corridas, mostrado en la Tabla 6, en la etapa de secado, fue de  $30.93 \pm 1.53$  g.

Posteriormente, al completar el proceso de secado, el tamaño de partícula de acuerdo con Laqui-Estaña et al., (2024) indicaron que: “Las semillas secas se molieron luego hasta obtener un polvo con un tamaño de partícula inferior a 0.5 mm ...” porque entre menor sea el tamaño de partícula, mayor área superficial y una difusión más rápida de los lípidos sin generar resistencia al paso del solvente, sin embargo, se menciona que es necesario evitar también las partículas finas (<0.25 mm) porque existe riesgo de una colmatación o el arrastre de sólidos. En cuanto al tiempo seleccionado para la trituration, se realizó por un tiempo total de 44 segundos; 4 pulsaciones de 5 s con pausas de 6 s, para las 12 corridas, y prevenir que hubiera un sobrecalentamiento que pudiera degradar los compuestos bioactivos de las semillas o que se volviera la muestra susceptible a poder oxidarse y formar compuestos indeseados en este análisis. El peso promedio de las 12 corridas, mostrado en la Tabla 6, obtenido tras la trituration de las semillas fue de  $29.26 \pm 1.79$  g.

Sin embargo, es de suma importancia la homogeneidad de las muestras entrantes al soxhlet, por lo que antes de ingresar al sistema las semillas trituradas, se realizó un tamizaje para clasificar las partículas y obtener de forma uniforme solo las del tamaño deseado. El tiempo de operación fue de 5 minutos, dado que hay antecedentes en la literatura que con muestras pequeñas, más del tiempo razonable podría generar aglomeración por humedad. Después del tiempo, se muestra en la Tabla 9, que la mayor parte de las semillas trituradas se concentró en la fracción obtenida del plato 0.6-0.4 mm con un promedio de  $19.75 \pm 0.25$  g, siendo el 67 % del total de la carga completa, lo que indica que la trituration fue la adecuada por separar las partículas del tamaño objetivo.

Finalmente, al proceso de extracción por Soxhlet por solvente hexano, se ingresó la muestra de semillas de uva Red Globe previamente acondicionada, y con la Ecuación 3 se determinó la relación sólido/solvente empleada de 6.3 g/g, lo que garantizó la suficiente disponibilidad de hexano para la extracción. La selección del solvente se realizó debido a la alta selectividad para lípidos, debido a que es apolar y contrarresta la extracción de compuestos no deseados como las proteínas o los azúcares. Además, se mencionó en literatura que por su bajo punto de ebullición es fácil recuperarlo y reducir pérdidas de aceite. Así pues, de acuerdo con los resultados de la Tabla 10, las extracciones se llevaron a cabo por 1 hora en triplicado con un promedio de porcentaje de rendimiento de 5.64 %, donde el rendimiento fue bajo porque el hexano empezaba a estar en contacto de forma superficial con la muestra de semillas, en esta etapa está limitado el proceso porque la difusión es externa. De igual forma, se extrajo en triplicado para 2 horas con un rendimiento del 8.07 % y 3 horas con 10.1 %. En esta fase intermedia, el incremento fue mayor y el solvente recirculaba de forma más fluida por la muestra, penetrando dentro de la estructura celular y la difusión estaba en la matriz interna de las semillas. Por último, se realizaron en triplicado las extracciones por 4 horas y se obtuvo un porcentaje promedio de rendimiento del 10.5 %. En esta fase, el solvente empieza a alcanzar el equilibrio, por lo que es necesario evaluar si es adecuado continuar extrayendo el aceite, dado que de igual forma se empieza a acercarse a la saturación.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 70, por medio de los coeficientes de variación, se pudo evaluar si era necesario continuar con una hora extra después de las 240 horas de extracción. Se demostró que al inicio, en el intervalo de 0 a 60 minutos, existió una alta dispersión de los datos (141 %) debido a que aun no se estabilizaba el proceso. Para el intervalo 2 de 60-120 minutos, se tuvo una variación de 25 %, aun alta debido a que el sistema seguía en un proceso de transición, pero se observa que ya hay recuperación del aceite. Para el tercer intervalo de 120-180 minutos, el CV fue de 16 %, aquí la variación ya es menor porque el incremento de los rendimientos aun es útil. Por último, la variación en el intervalo 4 de 180 a 240 minutos fue de 2.4 %, lo cual nos da señal de que se alcanzó el punto de equilibrio sólido-líquido antes mencionado y extender el tiempo aporta un aumento no considerable.

Por otro lado, al comparar los rendimientos de extracción con estudios previos, se determinó que los resultados de la Tabla 10 se encontraron dentro del rango reportado para la extracción de aceite de semilla de uva mediante el sistema de Soxhlet por hexano, el cual está dentro del rango de 8 al 12 %, dependiendo del tipo de variedad de la uva, de las condiciones de operación y también del acondicionamiento realizado a las semillas. En el estudio realizado por Silva et al., (2008), mediante fluidos supercríticos, se reportó un rendimiento de 11.8 %, lo cual confirma que los valores alcanzados en este estudio son representativos y que la técnica por Soxhlet es una referencia adecuada.

Con los datos obtenidos de la extracción de Soxhlet, se graficaron los resultados y, por medio de la Ecuación 35, se construyó un código con Python para ajustar los datos experimentales al modelo matemático de decaimiento extractivo, con el que se armó la Figura 15 y con un I.C. al 95 % se determinaron los nuevos parámetros. Se predijo un rendimiento máximo teórico de 15.27 % y un tiempo característico de 102.25 min, el cual se comparó con lo reportado en estudios similares, donde señalan constantes en el rango de 90 a 120 min para alcanzar la mitad del rendimiento máximo. Además de que es coherente con el comportamiento de la extracción observado, en el que se incrementó de manera acelerada durante las primeras horas de extracción y después al buscar el equilibrio, el sistema se estabilizó. Asimismo, se realizó el análisis de los residuales en función de los tiempos promedios de las corridas, agrupadas en las horas de extracción, donde se determinó que no hay dispersión en la distribución de los datos porque los valores están cercanos 0, entre -0.25 y 0.4 % residual, señalando un buen ajuste.

De igual forma, se determinó por medio del modelo matemático, con los nuevos parámetros ajustados a los datos experimentales, el porcentaje de rendimiento obtenido en las extracciones por Soxhlet después de los 240 minutos. Los resultados mostrados en la Tabla 71, dan el rendimiento estimado en el intervalo de aumentar el tiempo de 240 a 480 minutos, aumenta de 10.71 a 12.59 %. Además, aunque los coeficientes de variación disminuyen de 4.35 a 1.75 % e indican que es posible continuar con la extracción, no resulta significativo desde el punto de vista práctico porque el modelo tiene el rendimiento máximo teórico de 15.25 predicho, además de que aumentar el tiempo del proceso hasta 8 horas implica el consumo adicional de solvente y de energía suministrada para tan poco aumento de rendimiento.

En cuanto a la etapa de la separación de la mezcla solvente/aceite con destilación simple, se operó de acuerdo a la revisión que realizaron Laqui-Estaña et al., (2024) sobre la separación con solvente hexano a una temperatura de 68 °C y un tiempo estimado de 4 horas para las 12 corridas realizadas. Además, se usaron estos parámetros porque tiempos más cortos podrían dejar solvente hexano en el aceite extraído, además de que temperaturas altas no podrían ser porque podría implicar pérdidas de solvente en exceso o la degradación de compuestos de interés del aceite, lo que no es la finalidad porque el objetivo es recircular el hexano utilizado. Así pues, tras la destilación simple se recuperó el hexano con un promedio de 95.28–95.39 %, lo que indica una recuperación buena a lo largo de las 12 corridas. Este valor tiene congruencia con lo esperado, dado que la eficiencia de la destilación depende de la temperatura de operación al punto de ebullición del solvente. En este estudio, se trabajó a 68 °C, valor muy cercano al punto de ebullición del hexano, por lo que favoreció la vaporización y posterior condensación.

Asimismo, con el rendimiento de la obtención del aceite de las semillas de uva Red Globe fue de 1.694 g, lo que correspondió a un 5.49 % en base seca y 3.71 % en base húmeda. Estos

valores se encuentran dentro del rango esperado para semillas de uva, ya que diversos estudios reportaron porcentajes entre 6 y 20 % dependiendo de la variedad, el método de extracción y el acondicionamiento previo de la muestra (Maier et al., 2009; Garavaglia et al., 2016). Asimismo, realizando la comparación con el porcentaje obtenido es un poco menor al máximo mencionado por otras variedades de uva como el Sauvignon y Chardonnay, que pueden lograr obtener un porcentaje en base seca mayor al 12 %, sin embargo, Segade et al. (2013) indican que las uvas Red Globe son caracterizadas por un bajo contenido de promedio de semillas en la baya.

Por otro lado, en la Figura 19 se muestra el balance de masa global que fue de utilidad para realizar el análisis de escalabilidad, el cual se hizo mediante el factor de escala K y utilizando los datos experimentales a escala laboratorio como base para proyectar de forma visual el proceso hacia diferentes escenarios de producción de uva en Guatemala, donde el total de las uvas producidas para el 2021 fue de 19 toneladas. De esta forma, se puede estimar de forma cuantitativa las corrientes de peso para cada etapa del proceso, hasta la recuperación del aceite final. Por ejemplo, en la Tabla 73 se muestra que al utilizar el 100 % de las uvas, se obtendría una cantidad de aceite de semilla de 1,461,079.59 g, equivalente a 3,342.22 L. Y, para la cantidad de producción más baja, que es la del 20 % de las uvas, se obtendría la cantidad de aceite de semilla de 730,539.79 g, equivalente a 668.44 L. Donde se demuestra que, a mayor porcentaje de uva procesada del total de la producción, se incrementa de manera proporcional la cantidad de semillas disponibles, como otros requerimientos, es decir, el solvente. Sin embargo, también aumentan las pérdidas en las distintas etapas, lo que ayuda a destacar, la necesidad de mejorar estas etapas y así obtener una mejor eficiencia.

Por último, se muestra la propuesta de las operaciones unitarias en la Tabla 13 y la secuencia de las mismas en el diagrama de flujo en la Figura 17, para el desarrollo del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe. Con este objetivo se buscó garantizar que el proceso de extracción se realizara de manera reproducible. Cada una de las operaciones propuestas se seleccionó con base a la utilidad dentro del flujo de proceso, desde la preparación de la materia prima hasta la obtención del aceite, como una cadena lógica que permite obtener al finalizar el mejor rendimiento. Además, la selección de las operaciones no corresponde solo a las bases experimentales sino que también a lo investigado en las industrias similares. Por lo que se aplicó el principio de dimensionamiento como puente entre escala laboratorio y la industrial, permitiendo establecer criterios técnicos.

Es importante resaltar que la obtención de semillas de uva para la extracción de sus componentes mediante el método de Soxhlet representa un desafío que trasciende el ámbito estrictamente analítico y se convierte en un problema real de suministro y de escala. Aunque la técnica es adecuada para recuperar lípidos a nivel de laboratorio, su aplicación depende de la disponibilidad de un volumen considerable de materia prima, el cual se ve significativamente reducido al finalizar el proceso de pretratamiento. Las etapas de lavado,

secado, molienda y clasificación generan pérdidas inherentes y modifican la relación entre el caudal alimentado y el rendimiento final, de modo que el volumen inicialmente recolectado no se corresponde con la cantidad efectiva introducida al extractor ni con el volumen de aceite obtenido. Esta discrepancia evidencia que la viabilidad del proceso está condicionada por la logística de recolección de semillas y por la baja fracción másica que estas representan dentro de la uva procesada, lo que obliga a considerar estrategias de acopio, integración con agroindustrias locales y métodos alternativos de extracción si se pretende un escalamiento futuro.

## IX. CONCLUSIONES

1. Se determinó que mediante la metodología propuesta de acondicionamiento, del promedio de  $45.75 \pm 2.95$  g de semillas uva Red Globe extraídas, durante el proceso de lavado corto para remover residuos restantes de la limpieza manual, retuvieron un promedio de  $8.24 \pm 0.88$  g de agua, es decir, un  $2.73 \pm 0.30$  % de retención. Tras la etapa de secado, se evidenció la reducción de humedad de las semillas, de forma progresiva desde un valor inicial de  $46.14 \pm 0.76$  %, hasta  $20.23 \pm 1.58$  % tras 2 horas,  $9.36 \pm 0.99$  % a las 4 horas y, finalmente, se logró  $6.01 \pm 1.10$  % después de 5 horas de proceso, condición ideal para evitar emulsiones, reacciones de hidrólisis y pérdidas de compuestos lipídicos. En la etapa final de tritución y tamizaje, se consiguió una granulometría de 0.500 mm como tamaño de partícula final, donde en promedio se obtuvo  $19.75 \pm 0.26$  g de semillas tamizadas.
2. En la extracción por Soxhlet, se evidenció la correlación de rendimiento en función del tiempo con una tendencia desacelerada conforme se alcanzó el equilibrio, alcanzando un promedio de 10.5 % de rendimiento experimental tras 4 horas de operación. A partir de este resultado, se utilizó el modelo de decaimiento extractivo, con el cual se determinó un rendimiento máximo teórico de 15.27 % y un tiempo característico de 102 minutos, lo que indicó que prolongar el proceso más allá de dicho intervalo resultaba poco eficiente. Posteriormente, tras la destilación simple del extracto se recuperó 95–96 % del solvente hexano empleado, garantizando la obtención de  $1.694 \pm 0.402$  g de aceite de semilla con un rendimiento en base seca del  $5.49 \pm 1.34$  % y en base húmeda de  $3.716 \pm 0.92$  %.
3. La propuesta de operaciones unitarias incluyó despalillado y despulpe para obtener una materia prima más limpia y con menor contaminación lignocelulósica; lavado y drenado para remover azúcares y sólidos soluble; el secado para la reducción de la humedad, evitando reacciones indeseadas posteriormente; y trituración con tamizado para generar una granulometría uniforme. De manera complementaria, se planteó la extracción sólido-líquido con solvente y la destilación como operaciones finales para la extracción y separación del aceite de la semilla de la uva. En conjunto, esta secuencia, basada en principios de funcionamiento y dimensionamiento, sirve como referencia técnica para futuros desarrollos del proceso.

## **X. RECOMENDACIONES**

1. Analizar de forma económica el proceso completo de la extracción, considerando el costo total de los gastos de energía y la cantidad de solvente que se requiere. Esta evaluación ayudaría a determinar si el método es adecuado o si es mejor realizar modificaciones.
2. Revisar la selección del solvente empleado, evaluándolo como variable en la extracción y comparándolo con otros solventes que podrían ser más económicos o sencillos de recuperar.
3. Evaluar la recuperación y reutilización del solvente como una forma de mejorar el uso de recursos y reducir, de igual forma, los gastos operativos, analizando después de cada extracción la calidad del extracto que se mantiene tras los ciclos.
4. Hacer el mismo procedimiento con otro tipo de variedad de uva para poder comparar rendimientos y evaluar si el proceso es reproducible para otros tipos de semillas, bajo las mismas condiciones de operación en cada etapa del proceso.
5. Estudiar la estabilidad del aceite almacenado, determinando la forma en que varían sus propiedades con el tiempo bajo diferentes condiciones de conservación.
6. Estudiar la influencia de la extracción del aceite de la semilla, sobre la composición molecular y perfil de compuestos.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Arjona, J. L., Aceves, J. M., Galicia, M., & Santini, N. E. C. (2002). Degradación de aceite de semilla de uva a través de calorimetría diferencial de barrido. *Información Tecnológica*, 13(4), 25–31. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642002000400005>
- Azadmard-Damirchi, S., Habibi-Nodeh, F., Hesari, J., Nemati, M., & Achachlouei, B. F. (2010). Effect of roasting and extraction conditions on the yield, chemical properties and antioxidant activity of Pistacia atlantica seed oil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 659–665. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.010>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Baydar, H., Özkan, G., & Yağmur, M. (2007). Extraction of grape seed oil by Soxhlet and supercritical carbon dioxide. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(5), 471–476. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1054-6>
- Canosa Rodríguez, M. del P. (2009). *Desarrollo de metodología analítica para determinación de triclosán y parabenes: Aplicación al estudio de su distribución y transformación en muestras ambientales*. Universidade de Santiago de Compostela, Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
- Carl Roth (2020). *Ficha de datos de seguridad: KK48*. <https://www.carlroth.com/medias/SDB-KK48-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNiY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMjc5MjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEXIMMd4TkM4NU1qQXhNaV3TmPNeE56RXdMMU5FUWw5TFN6UTRYMFZUWDBWVExuQmtaZ3w3NmQ5ZDMxNTVkJmJFkMGY0ZmZmYzczZWUwMzA3ODhmNjk5Y2QyYjFjOTU0ZWm2Nzg2NmQzNDAxMzY1OTNiYmUx>
- Castaño, J. A., & López, J. F. (2010). *Obtención y caracterización del aceite de la semilla de uva Isabella (Vitis labrusca) y determinación del contenido de ácidos grasos por cromatografía de gases* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional UTP.

- Cata Vino. (2025, febrero 23). *Ranking de los 10 mejores países productores de vino del mundo en 2025*. Cata del Vino. <https://catadelvino.com/blog/ranking-de-los-10-mejores-paises-productores-de-vino-del-mundo-en-2025>
- Codex Alimentarius. (2019). *Standard for Named Vegetable Oils (CODEX-STAN 210-1999)*. FAO/WHO.
- Fawzi, N. M., El-Gioushy, S. F., & Abd El-Samad, E. H. (2017). Studies on growth and productivity of Red Globe grapevines. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 7(4), 1171–1179.
- Florapower. (n.d.). *Aceite de semilla de uva*. Florapower.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *Production – Grapes, Guatemala, 2021* [Datos]. FAOSTAT
- Ghafoor, K., Choi, Y. H., Jeon, J. Y., & Jo, I. H. (2009). Optimization of supercritical fluid extraction of phenolic compounds and antioxidants from grape (*Vitis labrusca* B.) seeds. *Food Chemistry*, 114(3), 1051–1059. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.074>
- Harris, D. C. (2003). *Análisis químico cuantitativo* (3.<sup>a</sup> ed.; V. Berenguer Navarro & Á. Berenguer Murcia, Trads.). Reverté.
- Heshelow, E. (2023). *Libro de aceites esenciales para principiantes: Mejore el sueño, la energía, la digestión, la piel y el sistema inmunológico al comprender el poder de los aceites esenciales, los conceptos básicos y la ciencia detrás de los aceites*. Emma Heshelow.
- Hidalgo Filipovich, R., Gómez Ugarte, M., Rojas Navi, P., Soliz Ágredda, M., Soliz Ágredda, R., Rubí Quiroga Ágredda, D., ... & Saavedra Parra, D. (2016). Propiedades medicinales de la semilla de uva. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 11, 53.
- Hopp, V. (2022). *Fundamentos de tecnología química* (J. De Pascual Teresa, Trad.). Reverté <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0322.html>
- Hougen, O. A., & Ragatz, R. A. (1982). *Principios de los procesos químicos: Balances de materia y energía* (Vol. 1). Reverté.

- Jiménez-Robles, B. D., Mendoza-Sánchez, M., Abadía-García, L., Hernández-López, M. S., Amaya Cruz, D., & Huerta-Manzanilla, E. L. (2025). *Sustainability and innovation: Leveraging the potential of agro-industrial waste whey and grape pomace in the rise of sports drinks*. *Agroindustrial Science*, 15(2), 183–193. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.02.10>
- King, C. J. (2021). *Procesos de separación* (J. Costa López, Trad.). Reverté.
- Laqui-Estaña, J., Obreque-Slier, E., García-Nauto, N., & Saldaña, E. (2024). *Advances in Grape Seed Oil Extraction Techniques and Their Applications in Food Products: A Comprehensive Review and Bibliometric Analysis*. *Foods*, 13(22), 3561. <https://doi.org/10.3390/foods13223561>
- Luque de Castro, M. D., & García-Ayuso, L. E. (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*, 369(1–2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(98\)00233-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00233-5)
- Maier, T., Schieber, A., & Kammerer, D. R. (2009). Characterization of grape seed and pomace oil extracts and their antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 112(3), 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.022>
- Miranda, O. (2003). *Uva de mesa. Componente A: Fortalezas y debilidades del sector agroalimentario (Documento 7)*. Ministerio de Economía de la Nación, Secretaría de
- NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards (2019)
- OEC World. (2023). *Uvas: Exportaciones e importaciones de Guatemala*. The Observatory of Economic Complexity.
- OIV. (2017). *Distribution of the world's grapevine varieties*. International Organisation of Vine and Wine. <https://www.oiv.int/public/medias/5888/en-distribution-of-the-worlds-grapevine-varieties.pdf>
- OIV. (2022). *Annual assessment of the world vine and wine sector in 2021*. International Organisation of Vine and Wine. [https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV\\_Annual\\_Assessment\\_of\\_the\\_World\\_Vine\\_and\\_Wine\\_Sector\\_in\\_2021.pdf](https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_Annual_Assessment_of_the_World_Vine_and_Wine_Sector_in_2021.pdf)
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.
- Orozco, M. (1998). *Operaciones unitarias*. Editorial Limusa S.A. de C.V.

- Pasto, D. J., & Johnson, R. C. (2023). *Determinación de estructuras orgánicas* (R. Areal Guerra, Trad.). Reverté.
- Patiño Olivares, A. (2000). *Introducción a la ingeniería química: Balances de masa y energía. Tomo II*. Universidad Iberoamericana.
- Peña Alarcón, M. L. (2023). *Uva Red Globe (Vitis vinifera)* [Trabajo académico, Instituto IDEMA].
- Pérez Herrera, I. I. (2024, noviembre 5). *Conozca el proceso de cultivo de la uva y su producción en Guatemala*. Agencia Guatemalteca de Noticias. <https://agn.gt/conozca-el-proceso-de-cultivo-de-la-uva-y-su-produccion-en-guatemala>
- Primo Yufera, E. (2020). *Química orgánica básica y aplicada: De la molécula a la industria. Tomo 2* (Vol. 2). Reverté.
- Romero-Cano, M. S., Rodríguez-Pérez, R., & López-Linares, J. C. (2019). Evaluación del rendimiento y calidad del aceite extraído de semillas de uva mediante Soxhlet. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(2), 234–243.
- Saage, C. A. I. (2025). *Extracción de aceite: Guía completa de la cura de extracción de aceite. Aprende las técnicas de limpieza con aceite para una efectiva desintoxicación corporal, desde sus raíces ayurvédicas hasta su aplicación moderna*. Saage Media GmbH.
- Santos, J. R., Oliveira, L. A., & Silva, D. A. (2021). Kinetic modeling of oil extraction from plant seeds using Soxhlet method. *Industrial Crops and Products*, 163, 113332. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113332>
- Shaukat, M., Ahmad, S., Rashid, M. I., Ahmad, A., Hussain, M. B., & Arif, M. (2022). *Variations in Physico-Chemical and Antioxidant Attributes of Grapeseed Oil Obtained from Different Grape Varieties*. *Sains Malaysiana*, 51(7), 2055–2065.
- Tangolar, S. G., Özogul, Y., Tangolar, S., & Özogul, F. (2013). Evaluation of fatty acid profiles and mineral content of grape seed oils extracted by different methods. *Food Chemistry*, 138(1), 525–531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.086>
- Tua Saúde. (2025, julio). *Aceite de uva: para qué sirve y cómo tomarlo*. Revisión clínica: Tatiana Zanin. Tua Saúde. <https://www.tuasaude.com/aceite-de-uva>

Tzompantzi, M. R., Pérez, J., & Ramírez, L. (2020). Diseño conceptual de una planta piloto para la extracción de aceite de aguacate mediante solventes orgánicos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 633–647. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2020v19n2/Tzompantzi>

## XII. ANEXOS

### A. Datos de placa del equipo

**Tabla 14. Datos de placa del secador**

Marca	VWR
Modelo	E191047
Número de serie	041042611A1013
Corriente eléctrica	11.7 A
Voltaje	120 v
Potencia	1.4 kW
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15. Datos de placa del triturador**

Marca	Proctor Silex
Modelo	72507PS
Número de serie	D5212
Corriente eléctrica	0.6 A
Voltaje	120 V
Potencia	70 W
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16. Datos de placa del tamizador**

Marca	Fritsch
Modelo	Analysette 3 PRO
Corriente eléctrica	1.1 A
Voltaje	110-120 V
Potencia	125 W
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17. Datos del termómetro**

Rango	-20 °C – 110 °C
Resolución de temperatura	1 °C
Incertidumbre por lectura	±0.5 °C
Tipo de inmersión	Parcial -76mm

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18. Datos de placa de la balanza analítica**

Marca	OHAUS - Pioneer
Modelo	PA114
Número de serie	8328290114
Capacidad máxima	110 g
Incertidumbre	±0.0001 g
Corriente eléctrica	0.33 A
Voltaje	8-14.5 V
Potencia	4 W
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19. Datos de placa de balanza de mesa**

Marca	OHAUS – Valor 3000 Xtreme
Modelo	V31XH2
Capacidad máxima	2000 g
Lectura mínima	0.1 g
Incertidumbre	±0.1 g
Corriente eléctrica	0.5 A
Voltaje	9 V
Potencia	4.5 W

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20. Datos de placa de balanza de mesa**

Marca	OHAUS - Explorer Precision
Modelo	EX2202
División mínima	0.01 g
Pesada mínima	16 g
Incertidumbre	±0.01 g
Voltaje	100 V
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Datos de placa del analizador de humedad**

Marca	OHAUS
Modelo	MB120
Elemento calefactor	Lámpara halógena
Rango de temperatura de secado	40 °C – 230 °C
Capacidad máxima	120 g
Lectura mínima	0.0001 g (peso) y 0.01% (humedad)
Incertidumbre	Con 3 g $\pm$ 0.05 % y con 10 g $\pm$ 0.015 %
Tamaño de platillo	90 mm
Corriente eléctrica	5 A
Voltaje	100-120 V
Potencia	450 W
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Datos de placa de la manta térmica para el control de temperatura**

Marca	Electrothermal
Modelo	EMX1000/SCEX1
Número de serie	10973745/02
Capacidad nominal	Matraces de 500 mL - 1000 mL
Corriente eléctrica	2.5 A
Voltaje	115 V
Potencia	240 W
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23. Datos de placa de la plancha térmica con agitación mecánica**

Marca	Thermo Scientific
Modelo	CIMAREC
Número de serie	SP131325
Rango de agitación	0 -1200 rpm
Rango de temperatura	0 °C -540 °C
Indicador de la temperatura de la placa	Por encima de 50 °C
Capacidad de carga	4 L
Corriente eléctrica	8.90 A
Voltaje	120 V
Potencia	1070 W
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Datos de placa de la bomba sumergible para recirculación de agua**

Marca	DOMICA
Modelo	AM-005
Corriente eléctrica	0.043 A
Voltaje	110-120 V
Potencia	5 W
Frecuencia	60 Hz
Capacidad máxima	60 GPH (340 L/h)

Fuente: Elaboración propia

## B. Datos de cristalería

**Tabla 25. Componentes de cristalería del equipo Soxhlet**

Componente	Función	Marca	Capacidad
Balón de 3 bocas	Contiene el solvente y después de reflujo mantiene solvente con aceite esencial. Por su diseño tiene la capacidad de poder tener el control de varios parámetros como la temperatura.	PYREX England	250 mL
Cámara de extracción de vidrio borosilicato 3.3 con sifón lateral	Permite que el solvente pueda realizar los reflujos necesarios a través de la muestra arrastrando los compuestos del aceite de interés.	Kontes	200 mm de largo con cámara thimble de 33×80 mm  En cuanto a las juntas:  1. Hembra superior 45/40 2. Macho inferior 24/40
Condensador tipo Graham con helicoidal vertical de vidrio borosilicato 3.3	Facilita la condensación, es decir, la conversión del vapor a líquido de nuevo, maximizando la transferencia de calor dentro del sistema.	LMS Germany	En cuanto a juntas:  1. Hembra superior NS 29/32 2. Macho inferior NS45/40  Con 2 boquillas de 8-10 mm que son las conexiones de agua para la entrada por abajo y la salida por arriba

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26. Componentes de cristalería del equipo de destilación simple**

Componente	Función	Marca	Capacidad
Balón de 3 bocas	Contiene la solución de aceite/solvente. Por su diseño tiene la capacidad de poder tener el control de varios parámetros como la temperatura.	PYREX England	250 mL
Cuello de cisne de vidrio borosilicato 3.3	Permite la conexión con el serpentín de la condensación. Al subir el vapor, tiene mejor reflujó, por lo que se obtiene una mejor pureza al finalizar la separación.	PYREX USA No. 8950	En cuanto a juntas: 1. Hembra superior 24/40 2. Macho inferior 24/40 3. Macho lateral 24/40
Condensador tipo Graham con helicoidal en orientación descendente de vidrio borosilicato 3.3	Facilita la condensación, es decir, la conversión del vapor a líquido de nuevo, maximizando la transferencia de calor dentro del sistema.	PYREX (Corning)	En cuanto a junta: 1. Macho 24/40  Con 2 boquillas de 8-10 mm que son las conexiones de agua para la entrada por abajo y la salida por arriba.
Unión tipo Y (take-off 105°) de vidrio borosilicato 3.3	Dirige el condensado, ya separado y puro, al balón receptor.	-	En cuanto a junta: 1. Hembra lateral 24/40 2. Macho 24/40
Balón de 1 boca	Permite recibir el solvente separado y puro, después del proceso de condensación.	PYREX USA	500 mL  En cuanto a la junta: 1. Macho 24/40

Fuente: Elaboración propia

### C. Datos originales

**Tabla 27. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 1/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:51.96
2	5:09.99
3	5:25.03
4	5:18.61
5	5:02.33
6	5:14.65
7	4:22.81
8	5:02.57
9	5:21.15
10	5:08.12
11	5:08.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la primera corrida de 1 hora de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 28. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 2/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:10.36
2	4:57.45
3	5:02.12
4	5:08.32
5	4:52.14
6	5:00.28
7	4:41.22
8	5:06.50
9	4:51.96
10	4:41.85
11	4:12.34

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la segunda corrida de 1 hora de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 29. Número y duración de los ciclos de la extracción (1 h, réplica 3/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:09.21
2	4:55.88
3	5:04.16
4	5:07.39
5	4:50.52
6	4:59.13
7	4:43.77
8	5:05.82
9	4:53.64
10	4:42.28
11	4:39.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la tercera corrida de 1 hora de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 30. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 1/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:45.34
2	4:33.98
3	5:01.67
4	5:35.23
5	5:02.31
6	5:22.76
7	5:02.54
8	5:02.19
9	5:56.99
10	5:44.21
11	5:12.07

12	5:18.54
13	6:24.40
14	6:12.45
15	5:20.49
16	6:41.11
17	6:23.39
18	5:55.47
19	6:09.78
20	6:32.98
21	6:55.12

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la primera corrida de 2 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 31. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 2/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:41.56
2	4:45.23
3	5:01.42
4	5:32.12
5	5:03.37
6	5:22.67
7	5:02.81
8	5:02.55
9	5:56.78
10	5:43.12
11	5:11.36
12	5:19.18
13	6:22.09
14	6:11.39
15	5:20.99
16	6:40.11
17	6:23.45
18	5:54.79

19	6:09.12
20	6:32.49
21	6:55.01

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la segunda corrida de 2 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 32. Número y duración de los ciclos de la extracción (2 h, réplica 3/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:45.34
2	4:33.98
3	5:01.67
4	5:35.23
5	5:02.31
6	5:22.76
7	5:02.54
8	5:02.19
9	5:56.99
10	5:44.21
11	5:12.07
12	5:18.54
13	6:24.40
14	6:12.45
15	5:20.49
16	6:41.11
17	6:23.39
18	5:55.47
19	6:09.78
20	6:32.98
21	6:55.12

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la tercera corrida de 2 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la

muestra colocada en la cámara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 33. - Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 1/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:45.32
2	5:02.54
3	4:21.47
4	5:41.86
5	5:24.99
6	5:37.21
7	5:13.34
8	5:44:83
9	5:11.52
10	5:11.43
11	5:26.21
12	5:55.87
13	6:12.46
14	6:01.76
15	6:23.98
16	6:44.23
17	5:59.98
18	6:52.65
19	6:59.84
20	6:12.87
21	5:59.56
22	6:49.86
23	6:57.98
24	6:55.24
25	6:34.56
26	6:53.99
27	6:54.61

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la primera corrida de 3 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la cámara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 34. Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 2/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:41.72
2	5:02.39
3	4:21.62
4	5:41.22
5	5:24.45
6	5:37.04
7	5:13.12
8	5:44.08
9	5:11.88
10	5:11.26
11	5:26.34
12	5:55.69
13	6:12.32
14	6:01.33
15	6:23.54
16	6:44.15
17	5:59.61
18	6:52.03
19	6:59.10
20	6:12.49
21	5:59.21
22	6:49.12
23	6:57.34
24	6:55.02
25	6:34.45
26	6:53.67
27	6:54.23

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la segunda corrida de 3 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contanco con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 35. Número y duración de los ciclos de la extracción (3 h, réplica 3/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:36.72
2	5:04.88
3	4:38.12
4	5:32.56
5	5:19.47
6	5:43.89
7	5:11.34
8	5:45.22
9	5:09.01
10	5:18.69
11	5:25.94
12	5:50.14
13	6:03.78
14	6:13.45
15	6:21.58
16	6:02.31
17	5:58.23
18	6:37.52
19	6:11.99
20	5:48.92
21	6:15.67
22	5:44.77
23	6:00.13
24	6:22.94
25	6:39.14
26	5:59.68
27	6:45.36

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la tercera corrida de 3 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 36. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 1/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:12.34
2	4:30.55
3	5:05.67
4	05:01.3
5	4:45.19
6	6:10.23
7	4:39.78
8	5:42.11
9	5:09.56
10	5:15.22
11	6:01.35
12	5:02.45
13	4:47.89
14	6:06.11
15	4:51.12
16	5:19.33
17	5:06.55
18	6:17.78
19	5:04.21
20	4:57.42
21	5:26.11
22	5:08.99
23	6:13.45
24	5:03.12
25	5:40.89
26	4:54.76
27	5:14.67
28	5:34.78
29	6:02.56
30	6:21.22
31	5:18.11
32	5:33.44

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la primera corrida de 4 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contanco con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 37. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 2/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:00.13
2	5:39.17
3	5:15.62
4	4:59.44
5	4:05.88
6	4:49.82
7	4:42.12
8	5:34.78
9	5:04.81
10	5:11.45
11	4:02.30
12	5:48.27
13	5:26.45
14	4:28.00
15	4:47.27
16	4:50.86
17	4:52.66
18	5:17.56
19	4:34.33
20	5:29.73
21	5:11.75
22	4:21.78
23	4:43.91
24	5:15.52
25	5:33.84
26	5:22.17
27	4:27.62
28	5:28.06
29	5:18.71

30	4:13.86
31	5:26.93
32	4:20.37

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la segunda corrida de 4 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 38. Número y duración de los ciclos de la extracción (4 h, réplica 3/3)**

Número de ciclo	Tiempo en terminar ciclo (min:seg.centésimas, $\pm 0.56$ )
1	5:08.33
2	4:57.21
3	5:14.89
4	05:05.4
5	5:19.11
6	4:52.67
7	5:10.76
8	6:03.55
9	5:17.33
10	4:45.33
11	6:05.44
12	5:25.12
13	5:01.78
14	4:39.88
15	5:32.21
16	5:06.12
17	6:13.23
18	4:59.44
19	5:21.67
20	5:43.78
21	4:50.12
22	5:15.22
23	6:08.34
24	5:02.67
25	5:35.99

26	4:54.23
27	5:09.11
28	6:00.22
29	5:11.45
30	5:27.33
31	5:00.55
32	5:03.77

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los tiempos correspondientes a cada ciclo que se realizó durante la tercera corrida de 4 horas de extracción. Los datos permiten calcular la las veces en que la muestra colocada en la camara estuvo en contacto con el solvente, ayudando a determinar el sifonamiento que corresponde al arrastre de compuestos de interés.

**Tabla 39. Pesos tomados en las distintas etapas de acondicionamiento de las semillas de uva Red Globe**

No. Muestra	Peso de uvas ( $\pm 0.02g$ )	Peso de pulpa y escobajo de las uvas ( $\pm 0.02g$ )	Peso de las semillas de las uvas ( $\pm 0.01g$ )	Peso de las semillas de las uvas lavadas ( $\pm 0.01g$ )	Peso de las semillas de las uvas secas ( $\pm 0.01g$ )	Peso de las semillas de uvas trituradas ( $\pm 0.01g$ )	Peso de las semillas de uvas tamizadas ( $\pm 0.0001g$ )
1	9,117.42	9,059.62	44.82	53.42	31.01	28.65	19.9978
2	8,956.87	8,890.16	48.48	56.16	33.1	31.08	19.8878
3	9,421.00	9,369.47	42.08	49.86	28.32	27.01	19.8222
4	8,990.59	8,936.43	42.99	51.7	29.59	27.57	19.4073
5	8,590.53	8,531.27	46.67	55.96	32.28	29.91	19.4064
6	9,202.44	9,140.44	49.58	56.36	31.43	30.98	19.4232
7	9,478.76	9,421.64	46.21	55.28	31.18	29.6	19.6666
8	9,061.31	9,005.72	44.57	53.11	30.55	28.52	19.6333
9	8,811.48	8,750.26	49.84	56.53	32.63	31.95	19.6315
10	9,248.88	9,198.78	41.38	50.86	28.53	26.52	20.0864
11	8,950.18	8,891.29	48.77	56.39	32.07	31.21	20.0254
12	9,232.83	9,174.25	43.61	52.28	30.44	28.09	20.0279
Total (g)	109,062.29	108,369.33	549.00	647.91	371.13	351.09	237.0158

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se presenta cada corrida correspondiente a la preparación de semillas de uva Red Globe destinadas posteriormente al proceso de extracción en Soxhlet. Se muestra el balance de masa por corrida, con los pesos experimentales durante el proceso, agrupadas por hora de operación, en cada una de las etapas previo a la extracción.

**Tabla 40. Datos previos en cada corrida, antes de la extracción por Soxhlet**

Corrida	Volumen de hexano utilizado ( $\pm 1$ mL)	Cantidad de muestra que entra al Soxhlet con papel filtro ( $\pm 0.0001$ g)	Peso del balón de aforo vacío que contendrá la mezcla ( $\pm 0.1$ g)	Peso del balón de aforo vacío que contendrá la mezcla con agitador ( $\pm 0.1g$ )

Muestra 1, corrida 1 hora	190	20.8990	158.4	163.9
Muestra 2, corrida 1 hora	190	20.7890	158.4	163.9
Muestra 3, corrida 1 hora	190	20.7234	158.4	163.9
Muestra 1, corrida 2 horas	190	20.3085	158.4	163.9
Muestra 2, corrida 2 horas	190	20.3076	158.4	163.9
Muestra 3, corrida 2 horas	190	20.3244	158.4	163.9
Muestra 1, corrida 3 horas	190	20.5678	158.4	163.9
Muestra 2, corrida 3 horas	190	20.5345	158.4	163.9
Muestra 3, corrida 3 horas	190	20.5355	158.4	163.9
Muestra 1, corrida 4 horas	190	20.9876	158.4	163.9
Muestra 2, corrida 4 horas	190	20.7635	158.4	163.9
Muestra 3, corrida 4 horas	190	20.9266	158.4	163.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran datos necesarios antes de cada corrida de extracción por Soxhlet, como conocer cada los pesos iniciales que ingresan al sistema para realizar el balance de masa correspondiente de a cada una.

**Tabla 41. Datos después de la extracción por Soxhlet**

Corrida	Peso de la muestra en filtro más solvente ( $\pm 0.0001$ g)	Diferencia entre el peso de la cantidad de muestra que entró al soxhlet con papel filtro y el peso de la muestra al finalizar ( $\pm 0.00014$ g)	Peso del balón de aforo con mezcla solvente y aceite ( $\pm 0.1$ g)
Muestra 1, corrida 1 hora	27.1105	6.2115	283.2
Muestra 2, corrida 1 hora	26.2546	5.4656	284
Muestra 3, corrida 1 hora	27.7476	7.0242	282.8
Muestra 1, corrida 2 horas	28.0978	7.7893	282.1
Muestra 2, corrida 2 horas	26.8752	6.5676	283.3
Muestra 3, corrida 2 horas	25.9723	5.6479	284.2
Muestra 1, corrida 3 horas	25.9964	5.4286	284.9
Muestra 2, corrida 3 horas	26.9375	6.4030	283.9
Muestra 3, corrida 3 horas	27.9375	7.4048	282.9
Muestra 1, corrida 4 horas	29.0765	8.0889	282.3

Muestra 2, corrida 4 horas	29.0283	8.1017	278.31
Muestra 3, corrida 4 horas	26.2497	5.3206	285.1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los datos obtenidos al finalizar la extracción del aceite por Soxhlet, donde se determinó la cantidad de muestra que se utilizó, la muestra al finalizar que es una torta con residuos de solvente hexano y el peso del balón de aforo con la mezcla solvente/aceite.

**Tabla 42. Datos después de la destilación simple**

Corrida	Peso del balón con el aceite recuperado ( $\pm 0.1g$ )	Peso del balón con solvente recuperado ( $\pm 0.1 g$ )
Muestra 1, corrida 1 hora	165	272.3
Muestra 2, corrida 1 hora	165	272.4
Muestra 3, corrida 1 hora	165	271.8
Muestra 1, corrida 2 horas	165.5	270.7
Muestra 2, corrida 2 horas	165.4	271.9
Muestra 3, corrida 2 horas	165.5	271.8
Muestra 1, corrida 3 horas	165.9	271.7
Muestra 2, corrida 3 horas	165.9	270.7
Muestra 3, corrida 3 horas	165.9	270.4
Muestra 1, corrida 4 horas	166	269.7
Muestra 2, corrida 4 horas	166	268.9
Muestra 3, corrida 4 horas	166	270.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los pesos obtenidos al finalizar la separación por destilación simple, se tomaron los pesos de los 2 balones, el que tuvo el aceite recuperado y el que recibió el solvente recuperado. Esto es la base para determinar el rendimiento tanto de extracción de destilación en cada una de las corridas realizadas.

#### D. Ecuaciones

##### **Ecuación 2. Balance de masa en el despulpe manual**

$$m_A = m_B + m_C + m_D$$

Donde:

$m_A$  = masa de uvas

$m_B$  = pulpa y escobajo extraída

$m_C$  = pérdidas del proceso (jugo, resto adheridos, finos)  
 $m_D$  = semillas recolectadas

### **Ecuación 3. Balance de masa en el lavado de semillas**

$$m_D + m_E = m_F + m_G$$

Donde:

$m_D$  = semillas frescas  
 $m_E$  = agua que ingresa al proceso  
 $m_F$  = agua de salida (agua, azúcares, pulp fina)  
 $m_G$  = semillas lavadas

### **Ecuación 4. Determinación de agua retenida en la etapa de lavado de las semillas**

$$m_{\text{agua retenida}} = m_G + m_D$$

Donde:

$m_G$  = semillas lavadas  
 $m_D$  = masa de semillas frescas

### **Ecuación 5. Determinación del porcentaje de retención de agua en el proceso de lavado de las semillas**

$$\% \text{retención} = \frac{m_{\text{agua retenida}}}{m_E} * 100$$

Donde:

$m_E$  = agua que ingresa al proceso

### **Ecuación 6. Balance de masa en el secado**

$$m_G = m_H + m_I$$

Donde:

$m_G$  = semillas lavadas  
 $m_I$  = agua evaporada en el proceso  
 $m_H$  = semillas de uva secas

### Ecuación 7. Balance de sólidos en el secador

$$m_{sólidos} = (1 - X_{ini}^H)m_G = (1 - X_{fin}^H)m_H$$

Donde:

$m_{ini}^H$  = fracción de humedad inicial  
 $m_{fin}^H$  = fracción de humedad final  
 $m_H$  = semillas lavadas  
 $m_G$  = semillas lavas

### Ecuación 8. Balance de agua en el secador

$$m_{agua,ini} = X_{ini}^H \cdot m_G$$

$$m_{agua,fin} = X_{fin}^H \cdot m_H$$

$$I = m_{agua,ini} - m_{agua,fin}$$

Donde:

I = agua evaporada  
 $m_{agua,ini}$  = masa de agua inicial  
 $m_{agua,fin}$  = masa de agua final

### Ecuación 9. Balance de masa en la trituración

$$m_J = m_H - m_K$$

Donde:

H = semillas secas  
J = pérdidas de finos  
K = semillas trituradas

### Ecuación 10. Balance de masa en el tamizaje

$$m_K = m_M + m_{L_{>0.6}} + m_{L_{0.4-0.25}} + m_{L_{\leq 0.25}}$$

Donde:

K = semillas trituradas

M = muestra que ingresa al Soxhlet

L >0.6 = fracción retenida en malla >0.6

L 0.4-0.25 = fracción retenida en malla 0.4-0.25

L ≤ 0.25 = fracción fina

### Ecuación 11. Balance de masa en la extracción Soxhlet

$$m_M + m_N + m_O = m_P + m_Q$$

Donde:

M = muestra que ingresa al Soxhlet

N = peso de papel filtro

O = solvente hexano que ingresa

P = torta húmeda al finalizar

Q = mezcla hexano + aceite

### Ecuación 12. Balance de masa en la destilación

$$m_Q = m_R + m_S + m_T$$

Donde:

Q = mezcla hexano + aceite

R = solvente recuperado

S = aceite extraída

T = pérdidas de solvente hexano

### Ecuación 13. Rendimiento de extracción

$$Rendimiento_{extracción} = \frac{m_{aceite\ obtenido}}{m_{aceite\ teórico}} \times 100$$

Donde:

$m_{aceite,obtenido}$  = masa de aceite extraída

$m_{aceite,teórico}$  = cantidad de muestra que entró a la extracción

#### **Ecuación 14. Rendimiento de la destilación**

$$Rendimiento_{destilación} = \frac{m_{solvente recuperado}}{m_{solvente alimentado}} \times 100$$

Donde:

$m_{solvente recuperado}$  = masa de solvente que al finalizar se recuperó

$m_{solvente alimentado}$  = masa de solvente que ingresó al proceso

#### **Ecuación 15. Potencia eléctrica**

$$P = V \cdot I \cdot FP$$

Donde:

V= voltaje

I = corriente

FP = factor de potencia

#### **Ecuación 16. Energía eléctrica suministrada**

$$E = P \cdot t$$

Donde:

P = potencia eléctrica

t = tiempo de operación

#### **Ecuación 17. Calor sensible en el sólido**

$$Q_{sólido} = m_s \cdot C_{p,s} \cdot \Delta T$$

Donde:

$m_s$  = masa de las semillas

$C_{p,s}$  = capacidad calorífica de las semillas

$\Delta T$  = diferencia de temperatura

### **Ecuación 18. Energía de evaporización**

$$Q_{evap} = Q_{sensible} + Q_{latente}$$

Donde:

$Q_{sensible}$  = calor sensible

$Q_{latente}$  = calor latente

### **Ecuación 19. Energía útil**

$$Q_{\acute{u}til} = Q_{evap} + Q_{s\acute{o}lido}$$

Donde:

$Q_{evap}$  = calor de evaporación

$Q_{s\acute{o}lido}$  = calor de las semillas

### **Ecuación 20. Pérdidas de calor**

$$Q_{p\acute{e}rdidas} = E_{el} - Q_{\acute{u}til}$$

Donde:

$E_{el}$  = energía eléctrica suministrada

$Q_{\acute{u}til}$  = calor útil

### **Ecuación 21. Masa máxima evaporada**

$$m_{vap}^{(max)} = \frac{E_{in} - E_{sens}}{\Delta H_{vap}}$$

Donde:

$E_{el}$  = energía eléctrica suministrada

$E_{sens}$  = energía sensible

$\Delta E_{sens}$  = entalpía de vaporización del solvente

### **Ecuación 22. Decaimiento extractivo**

$$R(t) = \frac{a \cdot t}{b + t}$$

Donde:

R(t) = rendimiento acumulado de aceite (%) en función del tiempo

t = tiempo de extracción (minutos)

a = parámetro determinado apartir del ajuste del modelo para predecir el rendimiento máximo

b = tiempo ajustado por el modelo para alcanzar el 50 % del rendimiento

### **Ecuación 23. Tamaño de muestra**

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \cdot \sigma^2}{E^2}$$

Donde:

n= número de repeticiones experimentales necesarias

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$  = valor de distribución normal con 95 % de confianza

$\alpha$  = desviación estándar poblacional

E = margen de error tolerable en la media

### **Ecuación 24. Relación solvente-muestra para las extracción por Soxhlet**

$$\frac{S}{F} = \frac{m_{solvente}}{m_{muestra}}$$

Donde:

$m_{solvente}$  = masa de solvente utilizada en la extracción

$m_{muestra}$  = masa de semillas trituradas que entra al extractor

### **Ecuación 25. Determinación del factor de escala para estimaciones de producción**

$$k = \frac{Q_{objetivo}}{Q_{base}}$$

Donde:

k= factor de escala

$Q_{objetivo}$  = referencia a escalar (total)

$Q_{base}$  = cantidad procesada en escala laboratorio (total)

### Ecuación 26. Error estándar de Welch

$$EE = \sqrt{\frac{s_{180}^2}{n_{180}} + \frac{s_{240}^2}{n_{240}}}$$

Donde:

s180 : desviación estándar muestral del rendimiento a 180 min

s240 : desviación estándar muestral del rendimiento a 240 min

n180: tamaño muestral a 180 min

n240: tamaño muestral a 240 min

### Ecuación 27. Estadístico de prueba de t en Welch

$$t = \frac{\bar{x}_{240} - \bar{x}_{180}}{EE}$$

Donde:

$\bar{x}_{180}$  = media muestral del rendimiento a 180 min

$\bar{x}_{240}$  = media muestral del rendimiento a 240 min

EE = error estándar

### Ecuación 28. Grados de libertad efectivos de acuerdo con Welch – Satterthwaite

$$\nu \approx \frac{\left(\frac{s_{180}^2}{n_{180}} + \frac{s_{240}^2}{n_{240}}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_{180}^2}{n_{180}}\right)^2}{n_{180} - 1} + \frac{\left(\frac{s_{240}^2}{n_{240}}\right)^2}{n_{240} - 1}}$$

Donde:

s180 : desviación estándar muestral del rendimiento a 180 min

s240 : desviación estándar muestral del rendimiento a 240 min

n180: tamaño muestral a 180 min

n240: tamaño muestral a 240 min

## E. Cálculo de muestra

### 3. Cálculo de tamaño de muestra

$$n = \frac{(1.96)^2(0.40)^2}{(0.05)^2} = 2.46 \approx 3 \text{ muestras}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 23** para determinar el número de repeticiones necesarias para realizar la experimentación. Con un Z al 95 % de confianza, una desviación estándar tomada de un análisis similar en Shaukat et al., 2022; donde obtienen rendimientos de 8.58 % ± 0.40 % con Soxhlet, y un margen de error del 5 %.

### 4. Relación solvente/muestra

$$\frac{S}{F} = \frac{124.41 \text{ g solvente}}{20 \text{ g masa semilla}} = 6.29$$

El calculo se realizó con la **Ecuación 24** para determinar la relación de semillas-solvente necesaria en la alimentación al Soxhlet.

### 5. Ejemplo de cálculo del balance de masa de la extracción de las semillas

$$9,117.42 \text{ g uvas} = 9,059.62 \text{ g pulpa escobajo} + 12.98 \text{ pérdidas} + 44.82 \text{ g semillas}$$
$$9,117.42 \pm 0.022 \text{ g entrada} = 9,117.42 \pm 0.0265 \text{ g salida}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 2** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de extracción de las bayas de uva para el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

### 6. Ejemplo de cálculo del balance de masa del lavado corto de las semillas frescas

$$44.82 \text{ g semillas} + 300 \text{ g agua} = 291.4 \text{ g agua saliente} + 53.42 \text{ g uvas lavadas}$$
$$344.82 \pm 0.014 \text{ g entrada} = 344.82 \pm 0.014 \text{ g salida}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 3** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de lavado corto para el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

7. Ejemplo de cálculo de agua retenida en lavado corto de las semillas frescas

$$\text{Agua retenida} = 53.42 \text{ g} - 44.82 \text{ g} = 8.60 \pm 0.014 \text{ g}$$

El calculo se realizó con la **Ecuación 4** para determinar el agua retenida en el lavado corto para el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

8. Ejemplo de cálculo de porcentaje de retención en lavado corto de las semillas frescas

$$\% \text{ retención} = \frac{8.60}{300} * 100 = 2.87$$

El calculo se realizó con la **Ecuación 5** para determinar el porcentaje de retención con respecto al agua retenida y el agua entrante para el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

9. Ejemplo de cálculo para determinar la masa de agua evaporada

$$I = \frac{(53.42)(45.82) - (6.66)(31.01)}{100} = 22.41 \pm 0.027 \text{ g agua evaporada}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 8** para determinar el agua evaporada durante el proceso del secador, por medio de las masas iniciales y finales, con respecto a las humedades respectivas del acondicionamiento para la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

10. Ejemplo del balance de masa del secado de las semillas de uva lavadas

$$\begin{aligned} 53.42 \text{ g uvas lavadas} &= 22.41 \text{ g agua evaporada} + 31.01 \text{ semillas secas} \\ 53.42 \pm 0.01 \text{ g entrada} &= 53.42 \pm 0.031 \text{ g uvas salida} \end{aligned}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 6** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de secado de las semillas previamente lavadas en el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

11. Ejemplo de cálculo del balance de masa del la trituration de las semillas de uva secas

$$\begin{aligned} 31.01 \text{ g semillas secas} &= 2.36 \text{ pérdidas finos} + 28.65 \text{ g semillas trituradas} \\ 31.01 \pm 0.01 \text{ g entrada} &= 31.01 \pm 0.014 \text{ g salida} \end{aligned}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 9** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de trituración de las semillas secas en el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

12. Ejemplo de cálculo del balance de masa del tamizaje de las semillas de uvas trituradas

$$28.65 \text{ g semillas trituradas} = 8.6522 \text{ semillas de tamaño indeseado} + 19.9978 \text{ muestra para Soxhlet}$$

$$28.65 \pm 0.01 \text{ g entrada} = 28.65 \pm 0.00014 \text{ g salida}$$

El cálculo se realizó con la Ecuación 10 para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de tamizaje de las semillas trituradas en el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

13. Ejemplo de cálculo del balance de masa de la extracción por Soxhlet con solvente

$$19.9978 \text{ g muestra} + 0.9012 \text{ g} + 124.41 \text{ g hexano} =$$

$$27.1105 \text{ g torta húmeda} + 118.2 \text{ g mezcla solvente aceite extraída}$$

$$19.9978 \pm 0.655 \text{ g entrada} = 19.9978 \pm 0.10 \text{ g salida}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 11** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de extracción por Soxhlet de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

14. Ejemplo de cálculo del balance de masa de la separación de la mezcla por destilación simple

$$118.2 \text{ g mezcla solvente aceite extraída} =$$

$$112.96 \text{ g hexano recuperado} + 1.12 \text{ g aceite extraída} + 4.116 \text{ pérdida hexano}$$

$$118.2 \pm 0.1 \text{ g entrada} = 118.2 \text{ g salida} \pm 0.173 \text{ g salida}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 12** para determinar los flujos de entrada y salida de la etapa de destilación simple para separar el aceite extraída del solvente hexano de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

15. Ejemplo de cálculo rendimiento de extracción

$$\%rendimiento = \left( \frac{1.1221 \text{ g aceite extraída}}{19.9978 \text{ g muestra}} \right) * 100 = 5.61 \pm 0.001$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 13** para terminar el rendimiento de la extracción por Soxhlet con solvente hexano de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

16. Ejemplo de cálculo rendimiento de destilación

$$\% \text{ rendimiento} = \left( \frac{172.51 \text{ g hexano recuperado}}{118.2 \text{ g hexano utilizado}} \right) * 100 = 95.6 \pm 0.1$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 14** para terminar el rendimiento de la destilación simple para separar el hexano del aceite extraída en la corrida 1. El mismo calculo se realizó para las demás corridas.

17. Ejemplo de cálculo de energía suministrada para el secador

$$\begin{aligned} \text{Potencia aparente} &= 120 * 11.7 = 1404 \text{ W} \\ \text{Potencia eléctrica} &= 1400 \text{ W} \end{aligned}$$

*Monofásico*

$$\cos(\varphi) = \frac{1400 \text{ W}}{1404 \text{ W}} = 0.997$$

$$\text{Potencia total} = (0.997)(1404 \text{ W}) = 1400 \text{ W}$$

$$\text{Energía suministrada en el tiempo de operación} = (1400 \text{ W})(5 \text{ horas}) = 7 \text{ kWh}$$

$$7 \text{ kWh} \frac{2300 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} = 25200 \text{ kJ}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 15** y **Ecuación 16** para determinar la energía suminsitrada al equipo del secador en en el tiempo de operación por cada corrida realizada para el acondicionamiento de la semilla. El mismo calculo se realizó para determinar la energía suministrada para los distintos equipos del proceso de extracción.

18. Ejemplo de balance de energía para el secador

$$\begin{aligned} Q_{\text{sólido}} &= (0.5342 \text{ kg}) \left( 0.45 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \right) (65 - 22)^{\circ}\text{C} = 10.337 \text{ kcal} \\ 10.337 \text{ kcal} &\left( \frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) = 43.249 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q_{sensible} = \left(4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right) (65 - 22)^{\circ}C = 179.74 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{sensible} = (0.0224 \text{ kg}) \left(179.74 \frac{kJ}{kg}\right) = 4.029 \text{ kJ}$$

$$Q_{latente} \text{ a } 65^{\circ}C = 2350 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{latente} = \left(2350 \frac{kJ}{kg}\right) (0.0224 \text{ kg}) = 52.668 \text{ kJ}$$

$$Q_{evaporización} = 4.029 \text{ kJ} + 52.668 \text{ kJ} = 56.696 \text{ kJ}$$

$$Q_{útil} = 43.249 \text{ kJ} + 56.696 \text{ kJ} = 99.545 \text{ kJ}$$

$$Q_{pérdidas} = 25200 \text{ kJ} - 99.545 \text{ kJ} = 25,100.055 \text{ kJ}$$

Los cálculos se realizaron con la Ecuación 17, Ecuación 18, Ecuación 19 y Ecuación 20 para determinar el balance de energía del secador, se utilizó para el acondicionamiento de la muestra de la corrida 1. El mismo calculo se realizó para todas las corridas.

#### 19. Ejemplo de balance de masa total

$$\begin{aligned} &109,062.29 \text{ g uvas Red Globe} = \\ &108,369 \text{ g pulpa y ecobajo} + 143.96 \text{ g pérdidas} + 549 \text{ g semillas de uva} \\ &109,062.29 \text{ g entrada} = 109,062.29 \text{ g salida} \end{aligned}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 2** para determinar le balance de masa total de la primera etapa del acondicionamiento, selección y despulpe manual, se tomaron todas las entradas y salidas de las 12 corridas para determinar los flujos totales. El mismo calculo se realizó para las demás etapas del proceso.

#### 20. Determinación del factor escala para estimación y ejemplo a distintas producciones

$$k = \frac{19,592,180,000 \text{ g de producción de uvas en Guatemala}}{109,062.29 \text{ g uvas Red Globe para experimentación}} = 179,642.11$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 25** para determinar el factor de escala que se utilizó para la estimación de los flujos de producción utilizados al usar el 100 % de la producción de uvas en Guatemala. La cantidad a escalar fue extraída de la **Tabla 3**.

El mismo calculo se realizó para determinar el factor de escala al 80 %, 60 %, 40 % y 20 % del total de producción de uvas en Guatemala.

21. Ejemplo del factor escala en la producción de uvas

$$Q_{\text{objetivo}} = 179,642.11 * 108,369.3 \text{ g pulpa y escobajo}$$

$$= 19,467,695,202.8 \text{ g pulpa y escobajo total}$$

El cálculo se realizó con la **Ecuación 25** para el flujo de pulpa y escobajo al usar el 100 % de la producción de uva en Guatemala. El mismo calculo se realizó para determinar el resto de los flujos, de cada porcentaje de producción de uvas a usar: 80 %, 60 %, 40 % y 20 % del total de producción de uvas.

22. Ejemplo del cálculo de la prueba T de Welch

$$H_0: \mu_{240} \leq \mu_{180}$$

$$H_1: \mu_{240} > \mu_{180}$$

$$EE = \sqrt{\frac{0.053678^2}{3} + \frac{0.089030^2}{3}} = 0.060021$$

$$t = \frac{10.4887 - 10.1397}{0.060021} = 5.8146$$

$$v = \frac{\left(\sqrt{\frac{0.053678^2}{3} + \frac{0.089030^2}{3}}\right)^2}{\frac{\left(\frac{0.053678^2}{3}\right)^2}{3-1} + \frac{\left(\frac{0.089030^2}{3}\right)^2}{3-1}} = 3.2843$$

p-valor con I.C. al 95 %

$$x = \frac{3.2843}{3.2843 + (5.8146)^2} = 0.08856$$

P = 0.0039

$$P < 0.05$$

Se rechaza Ho: a 240 min el rendimiento es mayor que a 180 min

El cálculo se realizó con la Ecuación 26, Ecuación 27 y Ecuación 28 para determinar si continuar a una hora más de extracción incrementaba el porcentaje de rendimiento. Además,

los datos de los rendimientos, medias y desviaciones de los rendimientos a 180 min y 240 min fueron extraídos de la **Tabla 68**.

## F. Análisis estadístico

### Ecuación 29. Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots}{N}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$N$  = número de variables

$x_{1,2,3\dots}$  = variables

Ejemplo de cálculo de media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{5.611 + 5.649 + 5.673}{3} = 5.644 \% \text{ rendimiento}$$

El cálculo se realizó para determinar la media de los porcentajes de rendimiento de las extracciones de 1 hora, el mismo cálculo se realizó para las demás corridas realizadas a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

### Ecuación 30. Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (x_1 - x)^2 + (x_2 - x)^2 \dots}{N}}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estándar

$N$  = número de variables

$x_{1,2,3\dots}$  = variables

$x$  = número estándar

Ejemplo de cálculo de desviación estándar:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(5.611 - 5.644)^2 + (5.649 - 5.644)^2 + (5.673 - 5.644)^2}}{3 - 1} = 0.037 \% \text{ rendimiento}$$

El cálculo se realizó para determinar la desviación de cada punto con respecto a la media de rendimiento de las extracciones de 1 hora. El cálculo se realizó para todos los datos experimentales que requieren de la desviación durante el proceso de extracción y separación, en cada corrida realizada a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

### **Ecuación 31. Intervalo de confianza al 95%**

$$I.C. = \bar{X} \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$n$  = número de variables

$\sigma$  = desviación estándar

$t$  = valor de distribución t-student

Ejemplo de cálculo del intervalo de confianza al 95 %

$$I.C. = 5.644 \pm 2.1318 \left( \frac{0.031}{\sqrt{3}} \right)$$

El cálculo se realizó para determinar la confianza al 95 % de la media que se calculó con los datos experimentales de las extracciones de 1 hora. El cálculo se realizó para todos los datos experimentales que requieren el intervalo de confianza durante el proceso de extracción y separación, en cada corrida realizada a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

### **Ecuación 32. Coeficiente de variación**

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

$cv$  = coeficiente de variación

$\sigma$  = desviación típica de la variable X

$\bar{x}$  = Media de la variable x

Ejemplo del cálculo de coeficiente de variación:

$$CV = \frac{0.037}{5.644} * 100 = 0.66\%$$

El cálculo se realizó para determinar la variación entre los 3 datos experimentales obtenidos de las extracciones de 1 hora. El calculo se realizó para todos los datos experimentales que requieren del coeficiente de variación durante el proceso de extracción y separación, en cada corrida realizada a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

### **Ecuación 33. Propagación de incertidumbre de suma y resta**

$$\Delta\delta = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

Donde:

$\Delta\delta$  = incertidumbre total

$\Delta x, \Delta y$  = incertidumbres de cada variable medida

Ejemplo de la propagación de incertidumbre de suma y resta:

$$\Delta\delta = \sqrt{(0.0001)^2 + (0.0001)^2} = \pm 0.00014 \text{ g}$$

El cálculo se realizó para determinar la suma de 2 incertidumbres, el ejemplo es para 2 sumas de pesos tomados desde la balanza analítica con incertidumbre de  $\pm 0.00014 \text{ g}$ . El calculo se realizó para todos los datos experimentales que requieren incertidumbre de suma y resta durante el proceso de extracción y separación, en cada corrida realizada a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

### **Ecuación 34. Propagación de incertidumbre de multiplicación y división**

$$\Delta\delta = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

Donde:

$\Delta\delta$  = incertidumbre total

$\Delta x, \Delta y$  = incertidumbres de cada variable medida

$x, y$  = valor de la variable

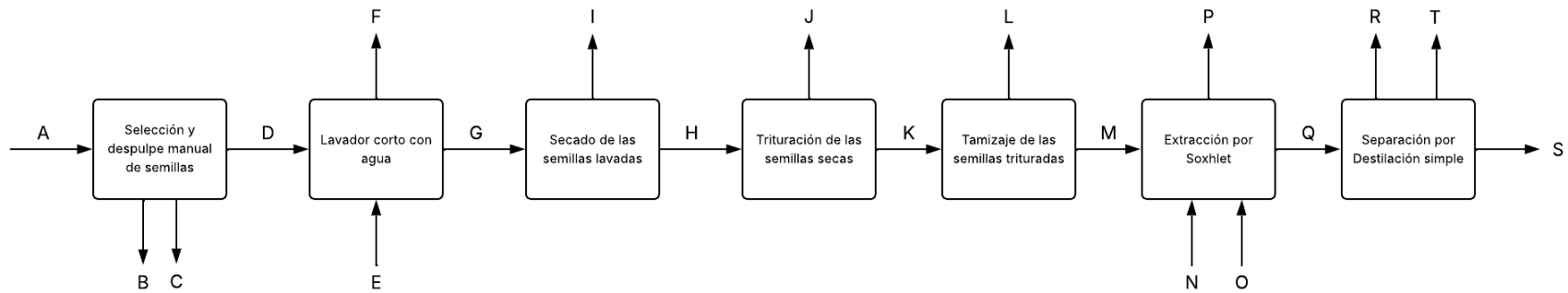
$$\Delta\delta = \sqrt{\left(\frac{0.1}{172.51}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{118.2}\right)^2} = 0.10$$

El cálculo se realizó para determinar la división de 2 incertidumbres, el ejemplo es para calcular la incertidumbre total del porcentaje de rendimiento de la extracción por Soxhlet con solvente hexano de la corrida 1. El calculo se realizó para todos los datos experimentales que requieren incertidumbre de división y multiplicación durante el proceso de extracción y separación, en cada corrida realizada a 2 horas, 3 horas y 4 horas.

## G. Datos calculados

### 1. Identificación de corrientes

**Figura 18. Diagrama de bloques con las identificación de corrientes**



Fuente: Elaboración propia

La figura presenta el diagrama de bloques con la identificación de cada corriente para realizar el balance de masa del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe a escala laboratorio. Se muestran las distintas etapas con las corrientes finales de entradas, salidas y pérdidas en cada operación.

**Tabla 43. Nombre de las corrientes del balance de masa de la selección y despulpe de las semillas**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
A	Uvas Red Globe
B	Pulpa + hollejo
C	Pérdidas
D	Semillas de uva Red Globe frescas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa de sección y despulpe realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 44. Balance de masa de la selección y despulpe de las semillas**

Hora de corrida	No. Corrida	A ( $\pm 0.02g$ )	B ( $\pm 0.02g$ )	C (g)	D ( $\pm 0.01g$ )
Hora 1	1	9,117.42	9,059.62	12.98	44.82
	2	8,956.87	8,890.16	18.23	48.48
	3	9,421.00	9,369.47	9.45	42.08
Hora 2	4	8,990.59	8,936.43	11.17	42.99
	5	8,590.53	8,531.27	12.59	46.67
	6	9,202.44	9,140.44	12.42	49.58
Hora 3	7	9,478.76	9,421.64	10.91	46.21
	8	9,061.31	9,005.72	11.02	44.57
	9	8,811.48	8,750.26	11.38	49.84
Hora 4	10	9,248.88	9,198.78	8.72	41.38
	11	8,950.18	8,891.29	10.12	48.77
	12	9,232.83	9,174.25	14.97	43.61
Total (g)		109,062.29	108,369.33	143.96	549.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de selección y despulpe realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 40**.

**Tabla 45. Nombre de las corrientes del balance de masa del lavado corto de las semillas**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
D	Semillas de uva Red Globe frescas
E	Agua entrante
F	Agua saliente (agua + azúcares/pulpa finos + pequeñas pérdidas de semilla)
G	Semillas de uva Red Globe lavadas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa del lavado corto realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 46. Balance de masa del lavado corto de las semillas**

Hora de corrida	No. Corrida	D ( $\pm 0.01g$ )	E ( $\pm 0.1g$ )	F ( $\pm 0.01g$ )	G ( $\pm 0.01g$ )
Hora 1	1	44.82	300	291.4	53.42
	2	48.48	300	292.32	56.16
	3	42.08	300	292.22	49.86
Hora 2	4	46.99	300	291.29	51.7
	5	46.67	300	290.71	55.96
	6	49.58	300	293.22	56.36
Hora 3	7	46.21	300	290.93	55.28
	8	44.57	300	291.46	53.11
	9	49.84	300	293.31	56.53
Hora 4	10	41.38	300	290.52	50.86
	11	48.77	300	292.38	56.39
	12	43.61	300	291.33	52.28
Total (g)		549	3600	3501.09	647.91

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de lavado corto realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 42**.

**Tabla 47. Nombre de las corrientes del balance de masa del secado de las semillas lavadas**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
G	Semillas de uva Red Globe lavadas
I	Agua evaporada
H	Semillas de uva Red Globe secas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa de secado realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 48. Balance de masa del secado de las semillas lavadas**

Hora de corrida	No. Corrida	G ( $\pm 0.01$ g)	I (g)	H ( $\pm 0.01$ g)
Hora 1	1	53.42	22.41	31.01
	2	56.16	23.06	33.1
	3	49.86	21.54	28.41
Hora 2	4	51.7	22.11	29.59
	5	55.96	23.59	32.28
	6	56.36	24.93	31.43
Hora 3	7	55.28	24.10	31.18
	8	53.11	22.56	30.55
	9	56.53	23.90	32.63
Hora 4	10	50.86	22.33	28.53
	11	56.39	24.32	32.07
	12	52.28	21.84	30.44
Total (g)		647.91	276.68996	371.22

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de secado realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 44**.

**Tabla 49. Nombre de las corrientes del balance de masa de la trituración de las semillas secas**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
H	Semillas de uva Red Globe secas
J	Pérdidas de finos
K	Semillas de uva Red Globe trituradas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa trituración realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 50. Balance de masa de la trituration de las semillas secas**

Hora de corrida	No. Corrida	H ( $\pm 0.01$ g)	J (g)	K ( $\pm 0.01$ g)
Hora 1	1	31.01	2.36	28.65
	2	33.1	2.02	31.08
	3	28.41	1.40	27.01
Hora 2	4	29.59	2.02	27.57
	5	32.28	2.37	29.91
	6	31.43	0.45	30.98
Hora 3	7	31.18	1.58	29.6
	8	30.55	2.03	28.52
	9	32.63	0.68	31.95
Hora 4	10	28.53	2.01	26.52
	11	32.07	0.86	31.21
	12	30.44	2.35	28.09
Total (g)		371.2200388	20.13003885	351.09

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de trituration realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 46**.

**Tabla 51. Nombre de las corrientes del balance de masa del tamizaje de las semillas trituradas**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
K	Semillas de uva Red Globe trituradas
L	semillas de tamaño indeseado
M	Muestra de semilla de uva Red Globe para Soxhlet

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa de tamizaje realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 52. Balance de masa del tamizaje de las semillas trituradas**

Hora de corrida	No. Corrida	K ( $\pm 0.1g$ )	L ( $\pm 0.0001g$ )	M ( $\pm 0.0001g$ )
Hora 1	1	28.65	8.6522	19.9978
	2	31.08	11.1922	19.8878
	3	27.01	7.1878	19.8222
Hora 2	4	27.57	8.1627	19.4073
	5	29.91	10.5036	19.4064
	6	30.98	11.5568	19.4232
Hora 3	7	29.6	9.9334	19.6666
	8	28.52	8.8867	19.6333
	9	31.95	12.3185	19.6315
Hora 4	10	26.52	6.4336	20.0864
	11	31.21	11.1846	20.0254
	12	28.09	8.0621	20.0279
Total (g)		351.09	114.0742	237.0158

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa del tamizaje realizado para el acondicionamiento de las semillas de uva. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 48**.

**Tabla 53. Nombre de las corrientes del balance de masa de la extracción por Soxhlet**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
M	Muestra de semilla de uva Red Globe para Soxhlet
N	Papel filtro
O	Solvente hexano
P	Torta húmeda de semilla de uva Red Globe
Q	Mezcla de solvente hexano y aceite

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar el balance de masa de la etapa de extracción por Soxhlet con las semillas de uva acondicionadas como materia. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 54. Balance de masa de la extracción por Soxhlet**

Hora de corrida	No. Corrida	M ( $\pm 0.0001$ g)	N ( $\pm 0.0001$ g)	O ( $\pm 0.66$ g)	P ( $\pm 0.0001$ g)	Q ( $\pm 0.14$ g)
Hora 1	1	19.9978	0.9012	124.412	27.1105	118.20
	2	19.8878	0.9012	124.412	26.2546	118.95
	3	19.8222	0.9012	124.412	27.3567	117.78
Hora 2	4	19.4073	0.9012	124.412	28.0978	116.62
	5	19.4064	0.9012	124.412	26.8752	117.84
	6	19.4232	0.9012	124.412	25.9723	118.76
Hora 3	7	19.6666	0.9012	124.412	25.9964	118.98
	8	19.6333	0.9012	124.412	26.9375	118.01
	9	19.6315	0.9012	124.412	27.9375	117.01
Hora 4	10	20.0864	0.9012	124.412	29.0765	116.32
	11	20.0254	0.9012	124.412	29.0283	116.31
	12	20.0279	0.9012	124.412	26.2497	119.09
Total (g)		237.0158	10.8144	1492.944	326.893	1413.88

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de extracción por Soxhlet con las semillas de uva acondicionadas como materia. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 50**.

**Tabla 55. Nombre de las corrientes del balance de masa de la destilación simple**

NOMBRE DE LAS CORRIENTES	
Q	Mezcla de solvente hexano y aceite
R	Solvente recuperado
S	Aceite de semilla de uva Red Globe
T	Pérdidas de solvente hexano

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los nombres con los que se identificó cada corriente para realizar la separación de la mezcla solvente/aceite proveniente de la extracción de soxhlet, por destilación simple. La nomenclatura se puede visualizar en la **Figura 18**.

**Tabla 56. Balance de masa de la destilación simple**

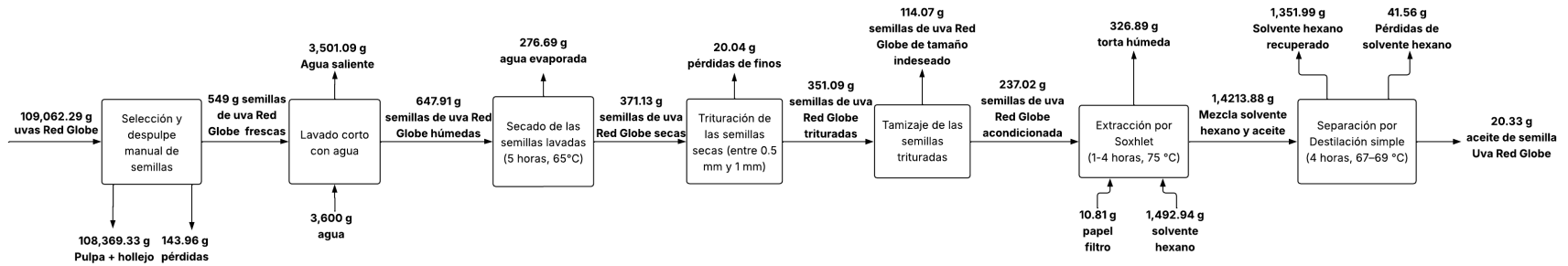
Hora de corrida	No. Corrida	Q ( $\pm 0.14$ g)	R ( $\pm 0.14$ g)	S ( $\pm 0.14$ g)	T (g)
Hora 1	1	118.20	112.96	1.12	4.1163
	2	118.95	113.05	1.12	4.7698
	3	117.78	112.54	1.12	4.1139
Hora 2	4	116.62	111.38	1.57	3.6706
	5	117.84	112.61	1.55	3.6894
	6	118.76	112.54	1.58	4.6395
Hora 3	7	118.98	112.44	2.00	4.55
	8	118.01	111.46	1.98	4.5691
	9	117.01	111.11	2.00	3.8942
Hora 4	10	116.32	110.43	2.09	3.804
	11	116.31	109.76	2.10	4.4468
	12	119.09	111.60	2.10	5.3909
Total (g)		1413.88	1341.89	20.3332	51.6545

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de masa de todas las corridas para la etapa de separación de la mezcla solvente/aceite proveniente de la extracción de soxhlet, por destilación simple. Se detalla los datos obtenidos experimentalmente de las cantidades correspondientes a cada corriente. El nombre de las corrientes está en la **Tabla 52**.

## 2. Balance de masa

**Figura 19. Diagrama de bloques con balance de masa del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe a escala laboratorio**



Fuente: Elaboración propia

La figura presenta el diagrama de bloques con el balance de masa total del proceso de extracción del aceite de semilla de uva Red Globe a escala laboratorio. Se muestran las distintas etapas con las corrientes finales de entradas, salidas y pérdidas en cada operación.

### 3. Balance de energía

**Tabla 57. Requerimientos eléctricos de la placa del secador**

Cálculos eléctricos de los datos de placa		
Potencia aparente	1404	W
Potencia eléctrica	1400	W
Factor de potencia (cos( $\phi$ ))	0.997151	
Potencia total	1400	W
Energía suministrada	25200	kJ

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos de la placa del secador, considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 58. Balance de energía del secador en las 12 corridas**

Secado	No. Corrida	Q sólido (kJ)	Q evaporación (kJ)	Q útil (kJ)	Q pérdidas (kJ)	Eficiencia (%)
Hora 1	1	43.2490	56.6960	99.9450	25100.0550	0.40%
	2	45.4674	58.3390	103.8064	25096.1936	0.41%
	3	40.36686	54.48115	94.84800	25105.15200	0.38%
Hora 2	4	41.85653	55.92103	97.77756	25102.22244	0.39%
	5	45.30544	59.67939	104.9848	25095.01517	0.42%
	6	45.62928	63.06846	108.6977	25091.30226	0.43%
Hora 3	7	44.75491	60.97524	105.7302	25094.26985	0.42%
	8	42.99807	57.07010	100.06817	25099.93183	0.40%
	9	45.76691	60.45440	106.22132	25093.77868	0.42%
Hora 4	10	41.17646	56.48620	97.66266	25102.33734	0.39%
	11	45.65357	61.52551	107.17908	25092.82092	0.43%
	12	42.32610	55.25716	97.58326	25102.41674	0.39%

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de energía determinado para cada corrida, indicando los calores asociados al proceso, con la finalidad de determinar las pérdidas energéticas.

**Tabla 59. Requerimientos eléctricos del triturador**

Cálculos eléctricos de los datos de placa		
Potencia aparente	72	W
Potencia eléctrica	70	W
Factor de potencia (cos( $\phi$ ))	0.97222222	
Potencia total	70	W
Energía suministrada	2.94	kJ

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos de la placa del triturador, considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 60. Balance de energía del triturador en las 12 corridas**

Trituración	No. Corrida	Energía específica por muestra (kJ/kg)
Hora 1	1	94.81
	2	88.82
	3	103.48
Hora 2	4	99.36
	5	91.08
	6	93.54
Hora 3	7	94.29
	8	96.24
	9	90.10
Hora 4	10	103.05
	11	91.67
	12	96.58

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de energía determinado para cada corrida, indicando la energía específica de cada muestra en la etapa de trituración de las semillas de uva.

**Tabla 61. Requerimientos eléctricos del tamizador**

Cálculos eléctricos de los datos de placa		
Potencia aparente	132	W
Potencia eléctrica	125	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	0.9469697	
Potencia total	125	W
Energía suministrada	37.49	kJ

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos de la placa del tamizador, considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 62. Balance de energía del tamizador en las 12 corridas**

Tamizaje	No. Corrida	Energía específica por muestra (kJ/kg)
Hora 1	1	1308.38
	2	1206.08
	3	1387.82
Hora 2	4	1359.63
	5	1253.26
	6	1209.97
Hora 3	7	1266.39
	8	1314.34
	9	1173.24
Hora 4	10	1413.46
	11	1201.06
	12	1334.46

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de energía determinado para cada corrida, indicando la energía específica de cada muestra en la etapa del tamizaje de las semillas de uva.

**Tabla 63. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 1 hora de extracción**

1 hora extracción		
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la estufa		
Potencia aparente	1068	W
Potencia eléctrica	1070	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	1.00	
Potencia total	1070	W
Energía suministrada	3852.00	kJ
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la bomba		
Potencia aparente	5.16	W
Potencia eléctrica	5	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	0.969	
Potencia total	5	W
Energía suministrada	18.00	kJ
Energía suministrada = 3870 kJ		

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos del sistema Soxhlet para 1 hora de extracción, de acuerdo con los datos de placa de la estufa y de la bomba. Considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 64. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 2 horas de extracción**

2 hora extracción		
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la estufa		
Potencia aparente	1068	W
Potencia eléctrica	1070	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	1.00	
Potencia total	1070	W
Energía suministrada	7704.00	kJ
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la bomba		
Potencia aparente	5.16	W
Potencia eléctrica	5	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	0.969	
Potencia total	5	W
Energía suministrada	36.00	kJ
Energía suministrada = 7740 kJ		

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos del sistema Soxhlet para 2 horas de extracción, de acuerdo con los datos de placa de la estufa y de la bomba. Considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 65. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 3 horas de extracción**

3 hora extracción		
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la estufa		
Potencia aparente	1068	W
Potencia eléctrica	1070	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	1.00	
Potencia total	1070	W
Energía suministrada	11556.00	kJ
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la bomba		
Potencia aparente	5.16	W

Potencia eléctrica	5	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	0.969	
Potencia total	5	W
Energía suministrada	54.00	kJ
Energía suministrada = 11610 kJ		

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos del sistema Soxhlet para 3 horas de extracción, de acuerdo con los datos de placa de la estufa y de la bomba. Considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 66. Requerimientos de energía del sistema Soxhlet para 4 horas de extracción**

4 hora extracción		
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la estufa		
Potencia aparente	1068	W
Potencia eléctrica	1070	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	1.00	
Potencia total	1070	W
Energía suministrada	15408.00	kJ
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la bomba		
Potencia aparente	5.16	W
Potencia eléctrica	5	W
Factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ )	0.969	
Potencia total	5	W
Energía suministrada	72.00	kJ
Energía suministrada = 15480 kJ		

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos del sistema Soxhlet para 4 horas de extracción, de acuerdo con los datos de placa de la estufa y de la bomba. Considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que proviene de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 67. Balance de energía de extracción por Soxhlet las 12 corridas**

Extracción	No. Corrida	Q sensible hasta ebullición (kJ)	Q evaporización (kJ)	Temperatura final agua (°C)	Agua evaporada (kg)	Q pérdidas (kJ)
Hora 1	1	19.9455	2310.0327	80.263940	0	1540.02
	2	19.9364	2310.0382	80.264071	0	1540.03
	3	19.9310	2310.0414	80.264149	0	1540.03
Hora 2	4	19.8966	4632.0621	100	0.66329734	3088.04
	5	19.8965	4632.0621	100	0.66329734	3088.04
	6	19.8979	4632.0613	100	0.66329699	3088.04
Hora 3	7	19.9181	6954.0492	100	1.69209092	4636.03
	8	19.9153	6954.0508	100	1.69209163	4636.03
	9	19.9152	6954.0509	100	1.69209167	4636.03
Hora 4	10	19.9528	9276.0283	100	2.72088095	6184.02
	11	19.9478	9276.0313	100	2.72088228	6184.02
	12	19.948	9276.0312	100	2.72088223	6184.02

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de energía determinado para cada corrida en el sistema de Soxhlet, indicando los calores asociados al proceso, con la finalidad de determinar las pérdidas energéticas.

**Tabla 68, Requerimientos de energía del sistema de destilación simple**

Cálculos eléctricos de los datos de la manta térmica		
Potencia aparente	287.5	W
Potencia eléctrica	240	W
Factor de potencia (cos( $\phi$ ))	0.83	
Potencia total	240	W
Energía suministrada	3456.00	kJ
Cálculos eléctricos de los datos de placa de la bomba		
Potencia aparente	5.16	W
Potencia eléctrica	5	W
Factor de potencia (cos( $\phi$ ))	0.969	
Potencia total	5	W
Energía suministrada	72.00	kJ
Energía suministrada = 3528 kJ		

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los requerimientos eléctricos del sistema de destilación simple para las 4 horas de extracción, de acuerdo con los datos de placa de la manta térmica y de la bomba. Considerando la potencia aparente o eléctrica, el factor de potencia que provino de la conexión monofásica para determinar la potencia total, con la finalidad de determinar la energía suministrada.

**Tabla 69. Balance de energía del sistema de destilación simple para las 12 corridas**

Extracción	No. Corrida	Q sensible hasta ebullición (kJ)	Q evaporización (kJ)	Temperatura final agua (°C)	Q perdidas (kJ)
Hora 1	1	17.6545	39.2657	25.939	3471.08
	2	17.7287	39.5155	25.945	3470.76
	3	17.6126	39.1234	25.936	3471.26
Hora 2	4	17.4925	38.5871	25.923	3471.92
	5	17.6142	39.0031	25.933	3471.38
	6	17.7053	39.3008	25.940	3470.99
Hora 3	7	17.7224	39.2346	25.939	3471.04
	8	17.6257	38.9142	25.931	3471.46
	9	17.5258	38.5714	25.923	3471.90
Hora 4	10	17.4568	38.3118	25.917	3472.23
	11	17.4554	38.3034	25.916	3472.24
	12	17.7319	39.2391	25.939	3471.03

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra el balance de energía determinado para cada corrida para el sistema de destilación simple, indicando los calores asociados al proceso, con la finalidad de determinar las pérdidas energéticas.

### 3. Rendimientos

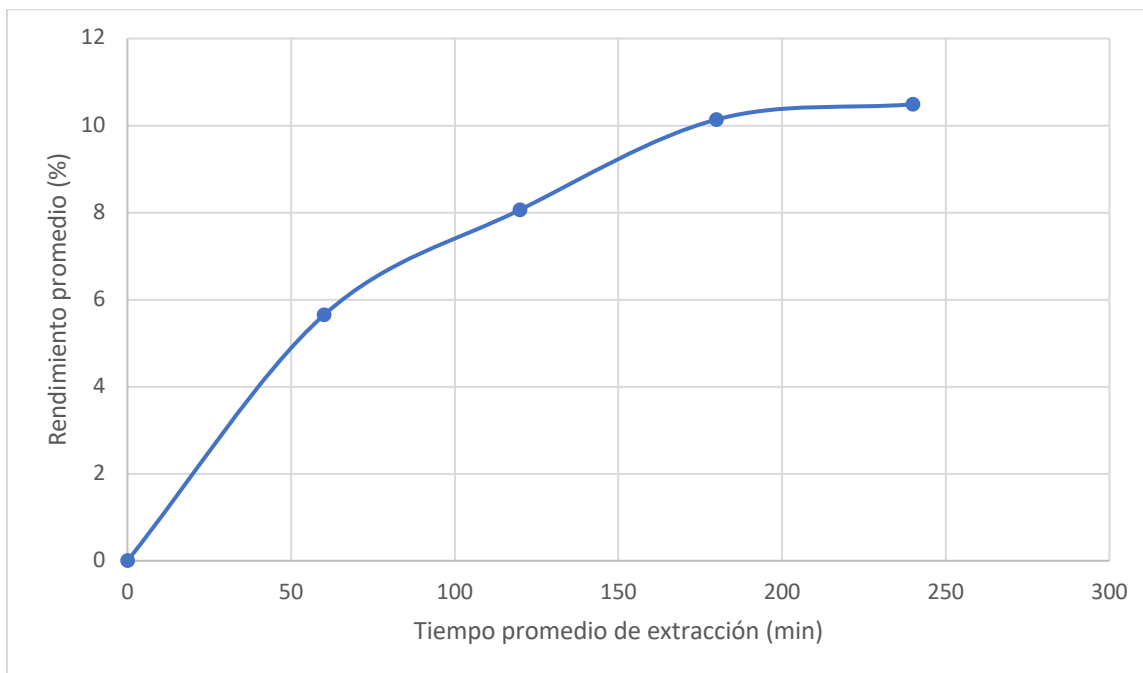
**Tabla 70. Rendimientos obtenidos en la extracción por Soxhlet y la separación con destilación simple**

Extracción	No. Corrida	Rendimiento de la extracción (%)	Rendimiento de la destilación (%)
Hora 1	1	5.611	95.568
	2	5.649	95.045
	3	5.673	95.552
Hora 2	4	8.078	95.508
	5	7.982	95.555
	6	8.14	94.762
Hora 3	7	10.159	94.498
	8	10.079	94.451
	9	10.181	94.963
Hora 4	10	10.401	94.934
	11	10.579	94.37
	12	10.486	93.711

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los rendimientos obtenidos en las 12 corridas realizadas para la extracción de aceite esencial de la semilla de uva Red Globe por Soxhlet con solvente hexano. Además, se muestra el porcentaje de rendimiento obtenido en cada una de las separaciones de la mezcla solvente/aceite proveniente de las extracciones.

**Figura 20. Rendimientos promedio respecto a tiempos promedios de la extracción Soxhlet**



Fuente: Elaboración propia

La figura muestra la relación entre el tiempo promedio de extracción en función del rendimiento promedio obtenido en la recuperación del aceite.

**Tabla 71. Coeficientes de variación entre los intervalos de los rendimientos entre los puntos de extracción por Soxhlet**

Tiempo (min)	Intervalos de rendimiento (%)	Media (x)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de variación (%)
Intervalo 1		2.822166667	3.991146375	141.4213562
0	0			
60	5.6443	6.8555	1.712848326	24.98502409
Intervalo 2				
60	5.6443	9.103166667	1.465832357	16.10244447
120	8.0667			
Intervalo 3		10.31416667	0.246780267	2.392634079
120	8.0667			
180	10.1397	10.31416667	0.246780267	2.392634079
Intervalo 4				
180	10.1397	10.31416667	0.246780267	2.392634079
240	10.4887			

La tabla muestra la evaluación de la variación entre los intervalos del rendimiento de extracción, mediante el análisis estadístico de media y desviación estándar. Se realizó para comprobar el comportamiento entre tramos, para comprobar la selección del tiempo de operación.

#### 4. Código del modelo matemático

#### **Ecuación 35. Código para ajustar datos experimentales a modelo de decaimiento extractivo**

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import t as tdist
import matplotlib.pyplot as plt
t = np.array([0, 60, 120, 180, 240], dtype=float)
R = np.array([0.0, 5.644426426, 8.066857205, 10.13994102, 10.48869507],
dtype=float)
def Rmodel(t, a, b):
    # a: rendimiento máximo (%), b: tiempo característico (min)
    return (a * t) / (b + t)
p0 = [R.max() * 1.2, np.median(t)]
bounds = (0, np.inf)
popt, pcov = curve_fit(Rmodel, t, R, p0=p0, bounds=bounds)
a, b = popt
sa, sb = np.sqrt(np.diag(pcov))
R_hat = Rmodel(t, a, b)
res = R - R_hat
ss_res = np.sum(res**2)
ss_tot = np.sum((R - R.mean())**2)
R2 = 1 - ss_res/ss_tot
rmse = np.sqrt(ss_res/len(R))
dof = max(0, len(t) - len(popt))
tcrit = tdist.ppf(0.975, dof) if dof > 0 else np.nan
CI_a = (a - tcrit*sa, a + tcrit*sa) if dof>0 else (np.nan, np.nan)
CI_b = (b - tcrit*sb, b + tcrit*sb) if dof>0 else (np.nan, np.nan)
tt = np.linspace(0, t.max()*1.1, 400)
RR = Rmodel(tt, a, b)
dRa = tt / (b + tt)
dRb = -(a * tt) / (b + tt)**2
var_pred = (dRa**2) * pcov[0,0] + (dRb**2) * pcov[1,1] + 2*dRa*dRb*pcov[0,1]
se_pred = np.sqrt(np.maximum(var_pred, 0))
band_low = RR - tcrit * se_pred if dof>0 else RR
band_up = RR + tcrit * se_pred if dof>0 else RR
def beautify_axes(ax):
    ax.grid(True, alpha=0.25, linewidth=1)
```

```

    for spine in ["top", "right"]:
        ax.spines[spine].set_visible(False)
plt.rcParams.update({
    "figure.dpi": 140,
    "axes.titlesize": 14,
    "axes.labelsize": 12,
    "xtick.labelsize": 11,
    "ytick.labelsize": 11,
    "legend.fontsize": 10
})
fig1, ax1 = plt.subplots(figsize=(7.2, 4.4))
ax1.scatter(t, R, s=55, edgecolor="white", linewidth=0.7, label="Datos
experimentales", zorder=3)
ax1.plot(tt, RR, linewidth=2.5,
label=f'Modelo: $R(t)=\frac{{a:.2f}\backslash\backslash t}{{b:.2f}+t}$')
ax1.fill_between(tt, band_low, band_up, alpha=0.15, label="IC 95% predicción")
ax1.set_xlabel("Tiempo (min)")
ax1.set_ylabel("Rendimiento (%)")
ax1.legend(frameon=False, loc="lower right")
beautify_axes(ax1)
plt.tight_layout()
fig2, ax2 = plt.subplots(figsize=(7.2, 3.8))
ax2.axhline(0, linestyle="--", linewidth=1.5)
ax2.scatter(t, res, s=55, edgecolor="white", linewidth=0.7)
ax2.set_xlim(0, t.max()*1.1)
ax2.set_xlabel("Tiempo (min)")
ax2.set_ylabel("Residual (%)")
ax2.set_title("Residuales vs tiempo")
beautify_axes(ax2)
plt.tight_layout()
print(f'a = {a:.4f}% (IC95%: {CI_a[0]:.4f}, {CI_a[1]:.4f})')
print(f'b = {b:.4f} min (IC95%: {CI_b[0]:.4f}, {CI_b[1]:.4f})')
print(f'R^2 = {R2:.4f} | RMSE = {rmse:.4f} %-pts")

```

Se muestra la ejecución del programa en Google colab, por medio de Python, y la aplicación del ajuste no lineal de los datos experimentales y por mínimos cuadrados al modelo predispuesto, con comportamiento de decaimiento extractivo e hiperbólico, para describir el rendimiento de extracción del aceite de semillas de uva por Soxhlet con solvente, en función del tiempo. En el código se observa el modelo, los parámetros y la estimación del tiempo característico que ayudan con la disminución de porcentaje de error en cada una de las mediciones realizadas. Finalmente, se solicita la impresión de la curva ajustada y estimación del rendimiento bajo las mismas condiciones operativas.

**Tabla 72. Determinación del porcentaje de rendimiento de las próximas horas con el modelo establecido**

Tiempo (min)	Intervalos de rendimiento (%)	Media (x)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de variación (CV)
Intervalo 1		11.04820102	0.481170614	4.35519424
240	10.7080			
300	11.3884			
Intervalo 2		11.64035306	0.356258827	3.060550013
300	11.3884			
360	11.8923			
Intervalo 3		12.0862958	0.274399451	2.270335389
360	11.8923			
420	12.2803			
Intervalo 4		12.43436628	0.217846537	1.751971368
420	12.2803			
480	12.5884			

El cálculo se realizó con la **Ecuación 1** para determinar por medio del modelo matemático, con los nuevos parámetros ajustados a los datos experimentales, el porcentaje de rendimiento obtenido en las extracciones por Soxhlet después de los 240 minutos. Se realizó mediante la media, desviación estándar y la variación entre los intervalos de tiempo.

#### H. Pruebas de experimentación

**Figura 21. Establecimiento donde se adquirió la totalidad de las uvas tipo Red Globe; en El Jute, Usumatán, Zacapa, para la extracción del aceite de interés**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 22. Uvas tipo Red Globe, aun en racimos, fotografiadas en la finca donde se adquirieron**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 23. Vista general de uno de los lotes de la materia prima**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 24. Extracción manual de las semillas de uva Red Globe**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 25. Lavado con agua corto de las semillas de la uva para quitar residuos del fruto como la pulpa**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 26. Lote de semillas de uvas secas, tras pasar el proceso de secado**



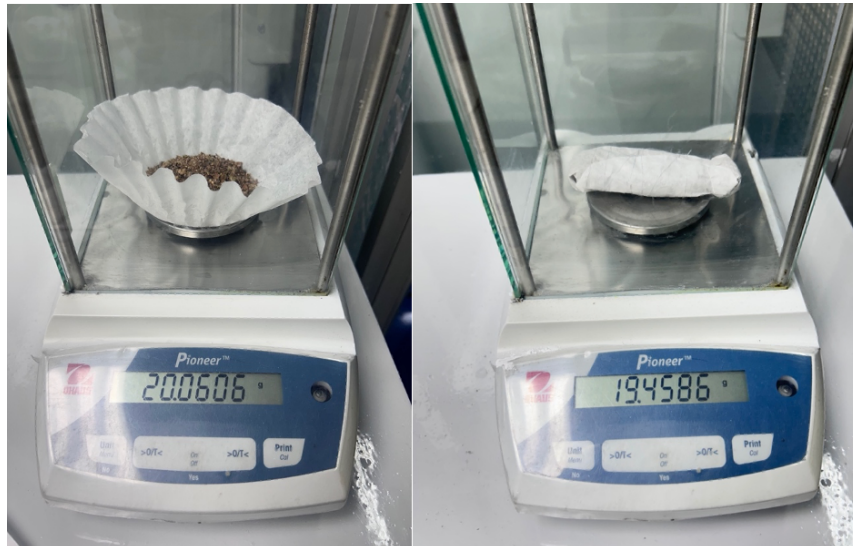
Fuente: Elaboración propia

**Figura 27. Proceso de molienda, con procesador, de las semillas**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 28. Pesado de muestra pretratada en papel filtro para el proceso de extracción del aceite**



Fuente: Elaboración propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

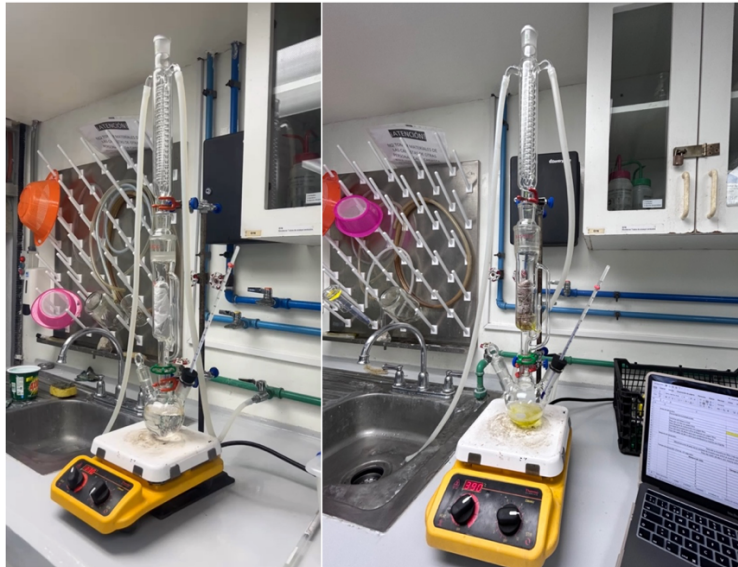
**Figura 29. Colocación de la muestra pretratada en la cámara**



Fuente: Elaboración propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

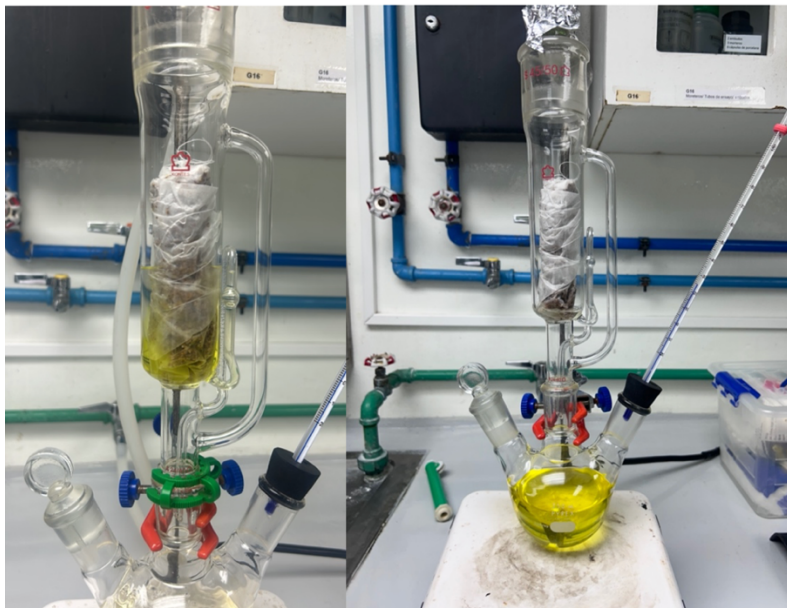
**Figura 30. Sistema del equipo Soxhlet para la extracción del aceite de la semilla de uva Red Globe**



Fuente: Elaboración propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

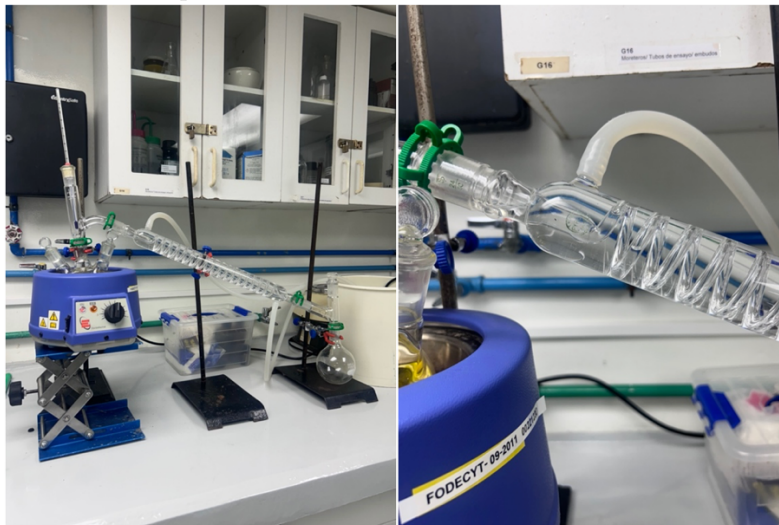
**Figura 31. Finalización de la primera hora de extracción del aceite de la semilla de uva Red Globe**



Fuente: Elaboración propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

**Figura 32. Colocación del sistema de destilación simple para separar del solvente hexano y recuperar el aceite de las semillas de uva.**



Fuente: Elaboración propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

**Figura 33. Almacenamiento, en frascos de material ambar, del aceite recuperado tras el proceso de extracción por Soxhlet y separación con destilación simple.**



Fuente: Elaboración propia

## I. Hoja de seguridad de solvente

**Tabla 73. Propiedades físicas y químicas del solvente hexano**

Nombre del reactivo	n-Hexano
Fórmula empírica	$C_6H_{14}$
Número CAS	110-54-3
Masa molar (g/mol)	86.18
Estado físico	Líquido incolor
Punto de fusión a 1.013 hPa	-95°C
Punto de ebullición a 1.013 hPa	68°C - 69°C
Inflamabilidad	Inflamable de acuerdo a SGA
Límite superior de explosividad	1.1 % volumen
Límite inferior de explosividad	7.5 % volumen
Punto de inflamación a 1.013 hPa	-22°C
Temperatura de ignición	225°C
Viscosidad cinemática a 20°C	0.5 mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad dinámica a 20°C	0.33 mPa/s
Solubilidad en agua a 20°C	<0.1 g/l
Índice de refracción	1.375
Coficiente de reparto n-octanol/agua a pH 7 y 20°C	4
Carbono orgánico en suelo/agua (Log KOC)	3.34
Presión de vapor a 20°C	160 hPa
Densidad a 20°C	0.66 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de vapor (aire=1)	2.79 g/cm <sup>3</sup>

(Carl Roth, 2020)

**Tabla 74. Información de la estabilidad y reactividad del solvente hexano**

Reactividad	Reactivo, riesgo de ignición a exposición como flama, calor o chispas, además, los vapores pueden llegar a formar una mezcla explosiva al entrar en contacto con el aire.
Estabilidad	Estable en condiciones ambientales normales.
Reacciones peligrosas	A agentes oxidantes fuertes como peróxidos, yodo, cloro, perganmanatos, etc.
Condiciones a evitar	Fuera de calor y a cualquier riesgo de ignición.
Material incompatible	Caucho


(Carl Roth, 2020)

**Tabla 75. Información de la toxicología del solvente hexano de acuerdo a SGA**

Vía de exposición	Efecto	Acción
Ingestión	Náusea, vómito, irritación por el ácido por lo que puede provocar daño gastrointestinal, hemorragias o incluso lesión del hígado.	No provocar vómito, lavar con agua la boca y buscar asistencia de emergencia.
Contacto con ojos	Dolor intenso, puede lagrimear, visión borrosa y enrojecimiento por la irritación.	Lavar con agua por un tiempo estimado de 15 minutos y buscar asistencia de emergencia.
Inhalación	Náusea, vómito, jaqueca, fatiga y sensación de sueño, por lo que puede provocar disnea, falta de aire, latido de corazón anormal e incluso de forma prolongada puede causar trastorno de depresión.	Ventilación, permanecer en reposo por un tiempo para estabilizar respiración y buscar asistencia de emergencia.
Cutáneo	Picazón, piel seca, eczema como tipo de dermatitis.	Retirar ropa en el área contaminada, lavar la zona con agua y jabón neutro por un tiempo estimado de 15 minutos, y buscar asistencia de emergencia.

(NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, 2019)

**Tabla 76. Información de eliminación, seguridad y manejo**

Eliminación	Tratar residuo como peligroso, no eliminar en desagüe, prevenir que la sustancia se libere al medio ambiente. Además, usar envases aprobados de acuerdo a ADR y clasificar según CER como HP3, HP4, HP5, HP10, HP14.
Seguridad	Pictogramas en envases de 125 mL: GHS02, GHS07, GHS08, GHS09  Indicaciones de peligro:

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. H304: mortal por vía de exposición de ingestión e inhalación</li> <li>2. H315: irritación cutánea severa</li> <li>3.H336: sospecha que provoca vértigo, jaqueca y somnolencia</li> <li>4. H361f: afecta la fertilidad</li> <li>5. H372: al estar por un tiempo prolongado en contacto con el reactivo, afecta a los órganos</li> <li>7. H411: los organismos acuáticos tienen la probabilidad de ser afectados por la toxicidad y efectos nocivos de larga duración</li> </ol>
Manejo	<p>Código de clasificación: F1  Etiquetas de peligro: 3</p> <p>Cantidad exceptuada: E2  Número de identificación de peligro: 33  Temperatura de almacenamiento: 15 °C - 25 °C</p> <p>Indicaciones de peligro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P202: por seguridad no manipular sin tener autorización y conocimiento previo.</li> <li>2. P280: tener protección específica</li> </ol>

(Carl Roth, 2020)

### **XIII. GLOSARIO**

Ácido linoleico: parte del grupo omega 6, presente en aceite vegetales contribuye a funciones celulares y salud cardiovascular.

Ácido oleico: perteneciente al grupo Omega-9, con propiedades antiinflamatorias, beneficia el control de la grasa en la sangre.

Antioxidante: cualquier compuesto que frena la oxidación de moléculas, que a su vez protege estructuras celulares, suceso que también se da en productos alimenticios, evitando su pronto deterioro.

Biodisponibilidad: porcentaje de un compuesto activo que llega al torrente sanguíneo o tejido objetivo tras su administración.

Cinética de extracción: análisis del comportamiento y proceso de extracción, estudia la velocidad a la que un soluto pasa de una fase a otra.

Colmatación: acumulación de sedimentos, como partículas finas.

Desgomado: método de purificación de aceites que elimina compuestos como fosfolípidos y mucílagos por medio de un tratamiento acuoso.

Difusión: en química es el transporte de masa, donde las moléculas se trasladan de zonas de mayor concentración a menor concentración.

Emoliente: sustancia química, que hidrata y protege la piel formando una película sobre su superficie.

Emulsión: mezcla heterogénea, compuesta de dos o más líquidos, (ejemplo, agua y aceite) los cuales no se mezclan naturalmente, mantenidos juntos por un emulsionante.

Extractores de lecho fijo: equipos que actúa sobre un sólido permanece estacionario en lo que un disolvente lo atraviesa para extraer compuestos.

Índice de acidez: término que mide la cantidad de ácidos grasos libres en un aceite; se relaciona con su frescura y calidad.

Índice de peróxidos: parámetro que evalúa el grado de oxidación inicial en un aceite. Lectura alta indican deterioro oxidativo.

Lignocelulósica: se encuentra en la pulpa de frutas, es biomasa que se compone de celulosa; da estructura celular a las plantas, hemicelulosa; forma una pared vegetal completa, y lgnina; da rigidez.

Nutracéutico: producto propio de la naturaleza, con efectos beneficiosos sobre la salud, alcanzando un mayor valor nutritivo básico.

Percolación: método de extracción, en la que un disolvente atraviesa un lecho sólido para arrastrar compuestos solubles.

Polifenoles: compuestos antioxidantes presentes en plantas, que tienen propiedades bioactivas y estabilizantes. Mejoran presión arterial, perfil de lípidos, la resistencia a la insulina y muchas ventajas más.

Proantocianidinas: polifenoles, presente en compuestos vegetales, tales como semillas de uva con potente actividad antioxidante y astringente.

Punto de humo: hace referencia a la temperatura a la que un aceite comienza a descomponerse y libera humo; indica su resistencia al calor.

Tocoferoles: es la forma biológicamente más activa de la vitamina E, este es un compuesto liposoluble que actúan como antioxidantes naturales en aceites vegetales.