



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA  
(OSI) DEL ACEITE DE SEMILLAS DE UVA (*Vitis vinífera*)  
Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL CON ADICIÓN DE  
ANTIOXIDANTES NATURALES POR EL  
MÉTODO RANCIMAT”

Susy Ines Laura Mamani Castro

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca



Juliaca, 2024





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA  
(OSI) DEL ACEITE DE SEMILLAS DE UVA (*Vitis vinífera*)  
Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL CON ADICIÓN DE  
ANTIOXIDANTES NATURALES POR EL  
MÉTODO RANCIMAT”**

Susy Ines Laura Mamani Castro

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca



Juliaca, 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA  
(OSI) DEL ACEITE DE SEMILLAS DE UVA (*Vitis vinífera*)  
Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL CON ADICIÓN DE  
ANTIOXIDANTES NATURALES POR EL  
MÉTODO RANCIMAT”**

Susy Ines Laura Mamani Castro

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Juliaca, 2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Mamani S. I. L. (2024). *Evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva (Vitis vinífera) y tiempo de vida útil con adición de antioxidantes naturales por el método Rancimat*, 2024. (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

**AUTOR:** Susy Ines Laura Mamani Castro

**TÍTULO:** Evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) y tiempo de vida útil con adición de antioxidantes naturales por el método Rancimat.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2024

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (138 pp)

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 03-000033-03/M21

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de semillas de uva, antioxidantes naturales, energía de activación, OSI, vida útil.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**

**“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA (OSI) DEL ACEITE DE SEMILLAS DE UVA (*Vitis vinífera*) Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL CON ADICIÓN DE ANTIOXIDANTES NATURALES POR EL MÉTODO RANCIMAT”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentada por:**

**Susy Ines Laura Mamani Castro**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez**

**PRESIDENTE DE JURADO**



**Mtra. Tania Jakeline Choque Rivera**

**JURADO (Secretario)**

  
**2° MIEMBRO**

**M.Sc. José Manuel Prieto**

**JURADO (Vocal)**

  
**3° MIEMBRO**  
**D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca**

**ASESOR DE TESIS**

# Susy Ines Laura Mamani Castro

## Evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*)

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:412979438

Fecha de entrega

5 dic 2024, 1:22 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 dic 2024, 1:32 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS\_SUSY INES LAURA MAMANI CASTRO.pdf

Tamaño de archivo

4.0 MB

138 Páginas

36,589 Palabras

189,098 Caracteres




# 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe



- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
51 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
1246 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a mis padres Julio Mamani y Sebastiana Castro por todo el apoyo incondicional y comprensión que me brindaron durante todo el trayecto de mi vida universitaria para convertirme en profesional. A mis hermanos (as), por el apoyo y orientación a lo largo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mi profunda gratitud a la Dra. Olivia Luque Vilca, mi asesora de tesis, por su invaluable guía y apoyo constante durante todo el proceso de investigación, gracias a sus vastos conocimientos y la amplia experiencia fueron elementos clave para alcanzar los objetivos trazados en este trabajo.

Agradezco infinitamente a mi familia, por estar siempre a mi lado. A mi pareja por creer en mí en todo momento, incluso en los momentos de mayor incertidumbre. A mis padres, Sebastiana Castro y Julio Mamani, por ser mi inspiración y motivación constante.

Así mismo, quiero agradecer al proyecto estratégico Empleo de Tubérculos, Granos Andinos, Café y Cacao y Productos Lácteos en el Diseño de Matrices como Alternativa Para la Mejora de la Calidad de Vida y Seguridad Alimentaria, por proporcionar los recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

Además, quiero mostrar mi agradecimiento al Ing. Yimy Hancco y Lic. Ernesto, quienes me brindaron y orientaron con el uso de los diferentes equipos de laboratorio. A todos ustedes gracias por ser parte de este proyecto.

Finalmente quiero agradecer a la empresa “BIONDI” y a la empresa “EL MOCHO” por facilitarme con el orujo de las diferentes variedades de uva que dispuse en esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.3. Justificación .....	5

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Marco teórico.....	9
2.2.1. Generalidades de la uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	9
2.2.2. Producción de uva en el mundo.....	12
2.2.3. Producción de uva en el Perú.....	13
2.2.4. Variedad de uvas.....	13

2.2.5.	Perfil químico de la uva.....	16
2.2.6.	Semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	17
2.2.7.	Composición química de las semillas de uva.....	18
2.2.8.	Aceite de semilla de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	19
2.2.9.	Lípidos .....	21
2.2.10.	Variables que estimulan la oxidación de aceites y grasas .....	23
2.2.11.	Composición de los lípidos.....	24
2.2.12.	Antioxidantes .....	25
2.2.13.	Antioxidantes sintéticos.....	25
2.2.14.	Antioxidantes naturales.....	26
2.2.15.	Mecanismos de acción de los antioxidantes .....	29
2.2.16.	Factores que influyen en la eficiencia de los antioxidantes.....	31
2.2.17.	Estabilidad oxidativa.....	31
2.2.18.	Métodos de análisis de estabilidad oxidativa en aceites .....	31
2.2.19.	Energía de activación ( $E_a$ ).....	34
2.2.20.	Cinética de reacciones para predecir la pérdida de calidad de los alimentos.....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	Lugar de ejecución.....	40
3.2.	Materiales y equipos .....	40
3.3.	Metodología experimental .....	42
3.3.1.	Extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	42
3.3.2.	Metodología experimental .....	44
3.4.	Metodología por objetivos .....	46

3.4.1. Objetivo 1. Estimar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ) por el método Rancimat. ....	46
3.4.2. Objetivo 2. Evaluar la energía de activación de oxidación termodinámicamente del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	51
3.4.3. Objetivo 3. Evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ) añadiendo antioxidantes naturales. ....	54
3.5. Formulación de hipótesis .....	62
3.5.1. Hipótesis general.....	62
3.5.2. Hipótesis específicas.....	62

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Análisis del índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ) por el método Rancimat.....	67
4.2. Evaluación de la energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	75
4.3. Evaluación del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ) añadiendo antioxidantes naturales .....	77
4.3.1. Análisis del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva ( <i>Vitis vinífera</i> ).....	87
4.3.2. Cinética de deterioro del aceite de semillas de uva .....	88

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	91
5.2. Recomendaciones.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS .....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la uva. ....	10
Tabla 2: Producción de uva a nivel mundial (Mill. t.). ....	12
Tabla 3: Producción de uva a nivel nacional. ....	13
Tabla 4: Principales variedades de uva en el Perú. ....	14
Tabla 5. Principales variedades de uvas peruanas registradas en la OIV. ....	14
Tabla 6: Perfil nutricional de las semillas de uva Quebranta. ....	16
Tabla 7. Composición por cada 100 gramos de uva comestible. ....	16
Tabla 8. Localización de los polifenoles en la uva. ....	17
Tabla 9: Evolución de las exportaciones y sus destinos principales. ....	20
Tabla 10: Parámetros de temperatura y flujo de aire de niveles mínimos y máximos para el diseño central compuesto (DCC). ....	48
Tabla 11: Matriz del diseño central compuesto (DCC). ....	48
Tabla 12: Matriz de diseño para el análisis de energía de activación. ....	53
Tabla 13: Parámetros de los antioxidantes naturales, niveles mínimos y máximos de la concentración (ppm) de antioxidantes naturales. ....	57
Tabla 14: Matriz del diseño central compuesto (DCC) para la evaluación de la mezcla de extractos (antioxidantes naturales). ....	57
Tabla 15: Matriz del diseño completamente al azar (DCA) para la evaluación de los extractos de manera individual. ....	59
Tabla 16: Composición fisicoquímica del aceite de semillas de uva. ....	63
Tabla 17: Espacio de color CIELab del aceite de semillas de uva. ....	65
Tabla 18: Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva. ....	68
Tabla 19: Análisis de Varianza del OSI vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Moscatel de Alejandría. ....	71
Tabla 20: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Moscatel de Alejandría. ....	72
Tabla 21: Análisis de Varianza del OSI vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Quebranta. ....	73
Tabla 22. Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Quebranta. ....	74
Tabla 23. Logaritmo natural del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva. ....	75

Tabla 24: Energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva.....	76
Tabla 25: Índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales de manera individual (romero y té verde).....	78
Tabla 26: Análisis de varianza del índice de estabilidad oxidativa vs. Antioxidantes naturales; concentración (ppm) del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.....	78
Tabla 27: Análisis de varianza del índice de estabilidad oxidativa vs. Antioxidantes naturales; concentración (ppm) del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.....	79
Tabla 28: Índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales (mezcla de extractos de té verde y romero)....	80
Tabla 29: Análisis de Varianza del periodo de inducción vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Moscatel de Alejandría.....	83
Tabla 30: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Extracto de romero; extracto de té verde, variedad Moscatel de Alejandría. ....	83
Tabla 31: Análisis de Varianza del periodo de inducción (OSI) vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Quebranta.....	85
Tabla 32: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad (OSI) vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Quebranta.....	85
Tabla 33: Extrapolación del OSI del aceite de semillas de uva a 20°C.....	87
Tabla 34: Valores de R <sup>2</sup> derivados de la linealización.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Anatomía de la uva.....	11
Figura 2: Morfología de la baya (uva).....	11
Figura 3: Racimo de uva de la variedad Moscatel de Alejandría. ....	15
Figura 4: Racimo de uva de la variedad Quebranta.....	16
Figura 5: Anatomía interna de la semilla de uva. ....	18
Figura 6: Estructura química de las catequinas del Té verde.....	28
Figura 7: Estructura de los diterpenos.....	29
Figura 8: Diagrama del proceso de extracción del aceite de semillas de uva.....	42
Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología experimental .....	44
Figura 10: Diagrama experimental para la evaluación del OSI del aceite de semillas de uva (Vitis vinífera).....	47
Figura 11: Diagrama experimental del análisis de la energía de activación de oxidación.....	51
Figura 12: Diagrama experimental para la evaluación del tiempo de vida útil. ....	55
Figura 13: Disco de color estándar CIELab: (a) variedad Moscatel de Alejandría, (b) variedad Quebranta.....	66
Figura 14: Gráficos de superficie de respuesta: (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad (Moscatel de Alejandría).....	72
Figura 15: Gráficos de superficie de respuesta: (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad (Quebranta).....	74
Figura 16: Gráfico de linealización del OSI contra el inverso de la temperatura absoluta, variedad Quebranta.....	76
Figura 17: Gráfico de linealización del OSI contra el inverso de la temperatura absoluta, variedad Moscatel de Alejandría.....	76
Figura 18: Gráficos de superficie de respuesta del aceite de la variedad Moscatel de Alejandría con adición de la mezcla de antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero): (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad.....	84
Figura 19: Gráficos de superficie de respuesta del aceite de la variedad Quebranta con adición de la mezcla de antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero): (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad. ....	86

Figura 20: Simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.....	89
Figura 21: Simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.....	89
Figura 22: Linealización del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.....	90
Figura 23: Linealización del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.....	90

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Orujo de uva de diferentes variedades y proceso de secado. ....	104
Anexo 2: Selección de las semillas de uva del resto del orujo. ....	104
Anexo 3: Semillas seleccionadas de las diferentes variedades de uva. ....	105
Anexo 4: Molienda de las semillas de uva.....	105
Anexo 5: Tamizado de las semillas de uva.....	106
Anexo 6: Preparación de semillas para el proceso de extracción del aceite.....	106
Anexo 7: Adición del solvente a la semilla molida de uva.....	106
Anexo 8: Extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva.....	107
Anexo 9: Centrifugado de las muestras. ....	107
Anexo 10: Destilación del solvente. ....	108
Anexo 11: Envasado del aceite en botellas ámbar.....	108
Anexo 12: Equipo y materiales para el análisis del OSI.....	109
Anexo 13: Corrección de celda y temperatura del Rancimat.....	110
Anexo 14: Acondicionamiento de los materiales del Rancimat para el análisis del OSI. ....	110
Anexo 15: Preparación de las muestras de aceite de semillas de uva.....	111
Anexo 16: Evaluación del OSI del aceite de semillas de uva sin antioxidantes.....	111
Anexo 17: Antioxidantes naturales para la evaluación del OSI del aceite de semillas de uva. ....	112
Anexo 18: Evaluación del OSI del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales.....	112
Anexo 19: Preparación de los reactivos para el análisis del índice de acidez y peróxidos del aceite de semillas de uva. ....	113
Anexo 20: Análisis de la acidez y peróxido del aceite de semillas de uva.....	114
Anexo 21: Balance de materia de la extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva.....	115
Anexo 22: Optimización de respuesta: Predicción de respuesta múltiple del OSI del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.....	116
Anexo 23: Optimización de respuesta: Predicción de respuesta múltiple del OSI del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.....	116

Anexo 24: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 0.....	116
Anexo 25: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 1.....	117
Anexo 26: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 2.....	117
Anexo 27: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 0.....	117
Anexo 28: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 1.....	118
Anexo 29: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 2.....	118
Anexo 30: Valores determinados mediante simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva.....	118
Anexo 31: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta.....	120
Anexo 32: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría.....	120
Anexo 33: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta con mezcla de antioxidantes naturales.....	121
Anexo 34: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría con mezcla de antioxidantes naturales.....	121
Anexo 35: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta con antioxidantes naturales, evaluados individualmente.....	122
Anexo 36: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría con antioxidantes naturales, evaluados individualmente.....	122

## RESUMEN

La presente investigación aborda la evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva y tiempo de vida útil, con adición de antioxidantes naturales utilizando el método Rancimat. El aceite fue obtenido mediante extracción asistida por ultrasonido con frecuencia 40KHz, temperatura 50°C durante 20 min. Se realizaron análisis fisicoquímicos del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta, donde presentaron densidades de 0.91 g/cm<sup>3</sup> y 0.90 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, índice de refracción 1.47285N<sub>D</sub> – 1.46790N<sub>D</sub> respectivamente, índice de acidez de 0.37 mg KOH/g grasa y 0.34 mg KOH/g grasa respectivamente. La evaluación del OSI se determinó a temperaturas de 90°C – 180°C y flujos de aire de 10 L/h – 25 L/h, encontrándose que a 90°C se obtuvieron mejores tiempos de inducción. El aceite de la variedad Quebranta presentó un OSI mayor (24.81±0.03 h) que la variedad Moscatel de Alejandría (19.97±0.02 h), la temperatura fue significativa en la evaluación del OSI, mientras que el flujo de aire no. A partir de los resultados del OSI se determinaron la energía de activación, encontrando que la variedad Moscatel de Alejandría presentó menor E<sub>a</sub> (72.11 KJ/mol) que el aceite de la variedad Quebranta (84.88 KJ/mol), así mismo se evaluó el OSI del aceite de semillas de uva con adición de mezcla de antioxidantes naturales (extractos de té verde y romero) a concentraciones de 200 ppm - 500 ppm, en la variedad Quebranta se observó un ligero incremento del OSI en algunos tratamientos, pero no se observaron diferencias significativas en la variedad Moscatel de Alejandría. Según los análisis de varianza la adición de los antioxidantes naturales no fue significativos. La vida útil estimada mediante extrapolación a 20°C fue de 0.47 años para el aceite de la Moscatel de Alejandría y 2.22 años para el aceite Quebranta.

**Palabras clave:** Aceite de semillas de uva, antioxidantes naturales, energía de activación, OSI, vida útil.

## ABSTRACT

This research focused on evaluating the Oxidative Stability Index (OSI) and shelf life of grape seed oil, with the addition of natural antioxidants using the Rancimat method. The oil was obtained through ultrasound-assisted extraction at a frequency of 40 KHz, temperature of 50°C for 20 minutes. Physicochemical analyses were performed on grape seed oil from the Alexandrian Muscat and Quebranta varieties, which presented densities of 0.91g/cm<sup>3</sup> and 0.90g/cm<sup>3</sup>, respectively, refractive index of 1.47285ND and 1.46790ND, respectively, and acidity index of 0.37mg KOH/g fat and 0.34mg KOH/g fat, respectively. The evaluation of the OSI was determined at temperatures of 90°C to 180°C and air flow rates of 10 L/h to 25 L/h, finding that better induction times were obtained at 90°C. The Quebranta variety oil presented a higher OSI ( $24.81 \pm 0.03$  h) than the Alexandrian Muscat variety ( $19.97 \pm 0.02$  h). Temperature was significant in the evaluation of the OSI, while air flow was not. From the OSI results, the activation energy was determined, finding that the Alexandrian Muscat variety presented a lower  $E_a$  (72.11 kJ/mol) than the Quebranta variety oil (84.88 kJ/mol). Likewise, the OSI of grape seed oil was evaluated with the addition of a mixture of natural antioxidants (green tea and rosemary extracts) at concentrations of 200 ppm to 500 ppm. In the Quebranta variety, a slight increase in OSI was observed in some treatments, but no significant differences were found in the Alexandrian Muscat variety. According to the analysis of variance, the addition of natural antioxidants was not significant. The estimated shelf life by extrapolation to 20°C was 0.47 years for Alexandrian Muscat oil and 2.22 years for Quebranta oil.

**Keywords:** Grape seed oil, natural antioxidants, activation energy, OSI, shelf life.

## INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación estima que los residuos generados por la industria vitivinícola a nivel mundial vienen representando un problema sustancial de gestión de residuos debido a su alta carga de contaminación, esto debido a que no están siendo aprovechados correctamente (Cotacallapa-Sucapuca, Vilca-Curo, y Coaguilla 2020). Estas semillas pueden ser utilizadas para desarrollar productos de alto valor agregado y con ello, minimizar las consecuencias ambientales de la industria.

El aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) es un producto de alto valor nutritivo y comercial debido a su perfil de ácidos grasos insaturados y compuestos bioactivos, encontrando que las semillas de uva tienen mayor poder antioxidante que la misma pulpa comestible, que lo convierten en una opción atractiva para el consumo humano y aplicaciones industriales. Sin embargo, su estabilidad oxidativa es una preocupación importante, considerando que la oxidación puede deteriorar la calidad del aceite y acortar su tiempo de vida útil. Para garantizar la calidad y la seguridad del aceite, es fundamental evaluar su resistencia a la oxidación, lo cual se puede medir mediante el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) (Shinagawa, de Santana y Mancini-Filho, 2015; Contreras, Alor y Macavilca, 2019).

La oxidación de los aceites vegetales es muy alta debido a que están compuestos por ácidos grasos insaturados, la oxidación es muy rápida a medida que aumenta la temperatura, los hidroperóxidos son los principales productos que se originan durante esta reacción (Velasco y Dobarganes, 2002), originando compuestos volátiles como peróxidos, aldehídos y cetonas. Los antioxidantes naturales son usados para inactivar o disminuir la velocidad de oxidación de los diferentes alimentos reemplazando los antioxidantes sintéticos que son perjudiciales para la salud.

La evaluación del índice de estabilidad oxidativa es un parámetro muy importante para determinar el comportamiento de los aceites y grasas al exponerlos a altas temperaturas y flujos de aire, y de esta manera conocer su tiempo de vida útil. El Rancimat es un método ampliamente utilizado para determinación del OSI, se basa en los cambios de conductividad del agua desionizada luego de la recolección de ácidos orgánicos volátiles generados en las etapas finales de la oxidación acelerada del aceite (García-Moreno *et al.*, 2013).

Por tal motivo se tiene como finalidad evaluar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva y su tiempo de vida útil con adición de antioxidantes naturales por el método Rancimat. Siendo los objetivos específicos: Estimar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) por el método Rancimat, Evaluar la energía de activación de oxidación termodinámicamente del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) y Evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) añadiendo antioxidantes naturales.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Problema de investigación

“La producción de residuos en la agroindustria se debe a las diversas fases que implican los procesos productivos y significan una problemática ambiental a nivel global debido a que gran parte no son procesados de forma adecuada” (Vargas y Pérez, 2018), tal es el caso de las semillas de uva, este residuo (semilla), posee un enorme potencial debido a que contiene componentes antioxidantes, como la vitamina E, carotenoides y compuestos fenólicos los cuales destacan debido a su alto contenido (Alto y Peña, 2022; Hidalgo *et al.*, 2016; Ustun, Celenk y Gumus, 2020). Así mismo “el aceite de semilla de uva es rico en ácidos grasos insaturados, este presenta más del 89% de la composición total del aceite, muchos de los cuales son ácidos grasos esenciales”(Davidov-Pardo y McClements, 2015).

Los aceites provenientes de semillas son muy susceptibles al deterioro por oxidación debido a que la mayoría de sus compuestos son ácidos grasos insaturados, universalmente los cambios fisicoquímicos se dan durante el almacenamiento al estar en contacto con el aire y temperatura, formándose compuestos indeseables que afectan el color, textura, sabor, olor y el valor nutritivo, siendo la rancidez oxidativa la principal causa de la pérdida de calidad de los aceites, siendo esto el problema principal en la industria alimentaria más aún si se desconoce el tiempo de vida útil del producto (Alberca y Huanca, 2015).

Uno de los métodos para determinar la oxidación lipídica de los aceites es la prueba Rancimat, es especialmente validado para la determinación de la estabilidad oxidativa y se basa en los cambios de conductividad que experimenta el agua desionizada después de recolectar los ácidos orgánicos volátiles producidos en los pasos finales de la oxidación acelerada del aceite (García-Moreno *et al.*, 2013).

En este estudio de investigación, se busca analizar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) y su tiempo de vida útil mediante la incorporación de antioxidantes naturales (extracto de romero y extracto de té verde) por el método Rancimat.

### **Problema general**

- ¿Cuál es el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) y tiempo de vida útil con adición de antioxidantes naturales por el método Rancimat?

### **Problemas específicos**

- ¿Cuál es el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) por el método Rancimat?
- ¿Cuál es la energía de activación de oxidación termodinámicamente del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*)?
- ¿Cuál es el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) añadiendo antioxidantes naturales?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Evaluar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) y tiempo de vida útil con adición de antioxidantes naturales por el método Rancimat.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Estimar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) por el método Rancimat.
- Evaluar la energía de activación de oxidación termodinámicamente del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).
- Evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) añadiendo antioxidantes naturales.

### 1.3. Justificación

La industria vitivinícola, así como industrias relacionadas con el procesamiento de la uva solo utilizan el zumo y la pulpa, desechando las semillas. La mayor parte del poder antioxidante de la uva se concentra en las semillas y la cáscara, sin embargo, estas partes de la fruta, ricas en nutrientes suelen ser descartados o subutilizados, generando una considerable cantidad de residuos alimentarios. Una alternativa para aprovechar este residuo es la extracción de aceite debido a que “este aceite es rico en ácidos grasos insaturados, especialmente linoleico  $\omega$ -6 (58–8%) y oleico  $\omega$ -9 (12-28%) que son beneficiosas para la salud humana” (Codex Alimentarius, 2023), estos ácidos grasos también contienen componentes químicos de gran relevancia biológica gracias a su capacidad antioxidante. (Shinagawa, de Santana, y Mancini-Filho, 2015; Contreras, Alor, y Macavilca, 2019).

La mayoría de los aceites vegetales son muy susceptibles a la oxidación debido a que están compuestos por ácidos grasos insaturados, el cual conduce a cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento principalmente en presencia de temperaturas elevadas, luz, oxígeno e iones metálicos y de esta forma altera su tiempo de vida útil (Alberca y Huanca, 2015; Zhang *et al.*, 2021) representado una problemática para la industria alimentaria.

La oxidación en aceites es muy rápida una vez que inicia la reacción con el oxígeno, y los hidroperóxidos (ROOH) son los principales productos que se originan durante esta reacción, la tasa de formación de ROOH es mucho más alta que su tasa de descomposición. Mientras las elevadas temperaturas de los procesos alimentarios, como hornear y freír, es más compleja, debido a que las reacciones térmicas y oxidativas están involucradas simultáneamente. A medida que la temperatura aumenta, la solubilidad del oxígeno disminuye drásticamente (Velasco y Dobarganes, 2002). Farhoosh (2007a), y Jebe *et al.* (1993), mencionan que el incremento de flujo de aire tiende a aumentar los valores de OSI, ya que a elevados flujos de aire se hace más difícil alcanzar una condición de saturación del oxígeno en la masa de aceite, por lo que muchas moléculas de  $O_2$  no tienen el tiempo suficiente para disolverse en la matriz oleosa, reduciéndose por lo tanto la concentración efectiva de oxígeno que puede adicionarse a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, como resultado se extiende el tiempo de inducción (Farhoosh, 2007b).

Por esta razón, el objetivo es analizar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva y su vida útil al añadir antioxidantes naturales utilizando el método Rancimat.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

Estabilidad oxidativa del aceite de semilla de Chía (*Salvia hispanica* L.): efecto de los antioxidantes y las condiciones de almacenamiento, elaborado por Ixtaina, Nolasco y Tomás (2012). Esta investigación tuvo por objetivo evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de chía midiendo y examinando la efectividad de agregar extracto de romero (ROS) y té verde (GT), tocoferoles (TOC), palmitato de ascorbilo (AP) y sus mezclas, y estudiando la influencia de las condiciones de almacenamiento. La adición de antioxidantes extendió el tiempo de inducción según el tipo y concentración. Al considerar los antioxidantes de manera individual, AP fue más efectivo en una concentración de 5000 ppm, mientras que ROS + GT en concentraciones de 2500 y 5000 ppm proporcionaron la mejor protección entre las mezclas de antioxidantes. Para aceites almacenados 4°C se observaron niveles de peróxido de aceite de chía de 10 mequiv/kg, mientras que valores superiores a 10 mequiv/kg se observaron entre 60 y 120 días de almacenamiento a 20°C. Sólo el aceite protegido con AP 2.500 ppm no alcanzó los 10 mequiv/kg durante 225 días a 4 y 20°C. Se observaron tendencias similares con los valores de p-anisidina y Totox. La calorimetría diferencial de barrido apoyó aún más la presencia de oxidación primaria y secundaria. El aceite presento una EA de 71.9 kJ/mol aumentando hasta 87.5 kJ/mol cuando se añadió AP.

Influencia de antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) por rancimat, elaborado por Villanueva *et al.* (2017). Esta investigación evaluó el impacto de diversos antioxidantes (etoxiquina, BHA, BHT y fortium) en la estabilidad oxidativa del aceite de chía, empleando el método Rancimat, a 90°C, 100°C y 110°C. El BHT demostró ser el antioxidante más eficaz en prolongar la vida útil del aceite en comparación con los otros compuestos evaluados, mostrando un incremento significativo en el índice de estabilidad oxidativa y un factor de protección superior.

Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de granada (*Púnica Granatum*), elaborado por Gutierrez y Terrones (2016). El objetivo de esta investigación fue determinar las características fisicoquímicas y la estabilidad oxidativa a temperaturas (80°C, 90°C, 100°C, 120°C y 130°C) y flujo de aire (15, 20 y 25 L/h) del aceite de la semilla de granada (*Púnica Granatum*). El aceite de semilla de granada presentó las siguientes características que son la acidez con 0.42%, índice de yodo 91.0 mg, anisidina 3.2 meqO<sub>2</sub>/kg, viscosidad (T° = 20°C) 278.6 cP y densidad 0.9415 g/cm<sup>3</sup>, así mismo, presentó 10.41% de proteína y 48.52% de carbono. Según ANOVA se comprobó que la influencia de la temperatura fue muy significativa en el OSI, pero el flujo de aire no fue significativo en el OSI. Además, se observó que el incremento de temperatura y tiempo en el Rancimat provocó la polimerización y solidificación del aceite de granada, interrumpiendo el proceso de evaluación de las pruebas. Basándose en los valores experimentales, los valores OSI se extrapolaron a condiciones estándar (25°C y 15 L/h), obteniéndose una estabilidad de 38 días. La energía de activación calculada para diferentes flujos de aire mostro valores similares, indicando una cinética de reacción relativamente constante.

Evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de moringa (*Moringa oleífera*) por el método Rancimat, elaborado por Alberca y Huanca (2015). El presente estudio evaluó el índice de estabilidad oxidativa del aceite virgen de las semillas de Moringa oleífera, mediante el método acelerado de Rancimat. El aceite extraído presento una densidad (24°C) 0.91 g/cm<sup>3</sup>, viscosidad 67.77, índice de peróxido no detectable, acidez 0.23%, índice de yodo 66.64 y anisidina 2.54. Se analizo el OSI a diferentes temperaturas (130°C, 140°C y 150°C) y diferentes flujos de aire (15L/h, 20L/h y 25L/h), el ANOVA mostro que la temperatura influyó significativamente en la vida útil del aceite, no obstante, el flujo de aire no presento efecto estadísticamente significativo. La vida útil del aceite, estimada por extrapolación, disminuyó al elevarse tanto la temperatura de almacenamiento como el flujo de aire, los valores de energía de activación (109.562, 105.938 y 100.464 kJ/mol) determinada para cada flujo de aire, indicó una alta resistencia a la degradación del aceite a cambios de temperatura. Los ácidos grasos del aceite virgen, ácido oléico (Cis-9) 73.58%, ácido bohémico 6.73%, ácido palmítico 5.5%, ácido esteárico 4.07%, ácido araquidónico 3.61%, ácido eicosanoico (Cis-11) 2.19%, ácido eláidico (Trans-9) 1.76%, ácido palmitoleico (Cis-9) 0.92%, ácido lignocericico 0.82% y ácido linoleico (Cis-9,12) 0.77%.

Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), elaborado por Rodríguez *et al.* (2015). El propósito de este trabajo es establecer una valoración entre el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite de Sacha Inchi evaluado por el método Rancimat a distintas temperaturas (80°C, 90°C, 100°C y 110°C) con 15 l/h de flujo de aire. Los resultados del OSI fueron 0.493±0.01 horas a 110°C, 1.590±0.06 horas a 100°C, 4.645±0.1 horas a 90°C y 20.512±0.02 horas a 80°C. Existe una fuerte correlación entre el valor OSI y el índice de calidad física y química de  $0.932 < r < 0.997$ . La energía de activación de 137.9 kJ/mol sugiere una cinética de oxidación lenta, lo que refleja una vida útil considerable de 3.3 años a 20°C, 1.8 años a 25°C y 0.8 años a 30°C.

Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L., elaborado por Villanueva, Castillo y Rodríguez (2013). Se analizó como la influencia de la temperatura y el flujo de aire afectan el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de Sésamo, empleando el método Rancimat, el aceite, obtenido mediante prensado en frío, mostró que la temperatura tuvo un impacto significativo en el OSI, mientras que el flujo de aire presentó un efecto menor. La vida útil estimada (25°C) fue 214, 242 y 222 días, mientras que la energía de activación del aceite fue 97.28, 202 98.79 y 96.86 kJ/mol para 15 l/h, 20 l/h y 25 l/h respectivamente.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Generalidades de la uva (*Vitis vinífera*)**

La uva (*Vitis vinífera*), es una baya globosa muy jugosa, que consta del hollejo, pulpa y semillas, con colores variados entre tonos oscuros violáceos o colores verdes amarillentos, que crecen en racimos de 30 uvas aproximadamente (Aguilar y Diego, 2019). Del total del peso del fruto de la uva, el 5% a 10% representa el hollejo, constituyendo la mayor parte del aroma, sabor y color, el 80% a 90% del fruto lo representa la pulpa siendo generalmente translúcidos y del 0% a 5% del peso del fruto representa la semilla que generalmente contiene de 0 a 4 semillas por fruto. En su estructura contiene gran cantidad de compuestos polifenólicos con un efecto antimicrobiano y antioxidante (Barco y Miranda, 2022).

**Tabla 1: Taxonomía de la uva.**

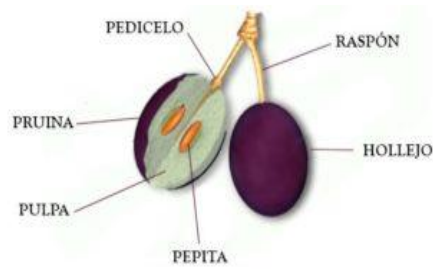
Clasificación taxonómica	
Reino	Vegetal
Tipo	Fanerógamas
Subtipo	Angiosperma
División	Espermatofitas
Clase	Dicotiledóneas
Grupo	Dialipétalas
Orden	Ramnales
Familia	Vitaceae
Género	Vitis
Subgénero	Euvtis
Especie	Vitis vinífera L.

FUENTE: Paredes (2022).

El fruto de la uva está dividida generalmente en 5 partes principales: la piel, pulpa, pepitas o semillas, pruina y el pincel (Figura 1 y 2) (Toro y Suárez, 2012).

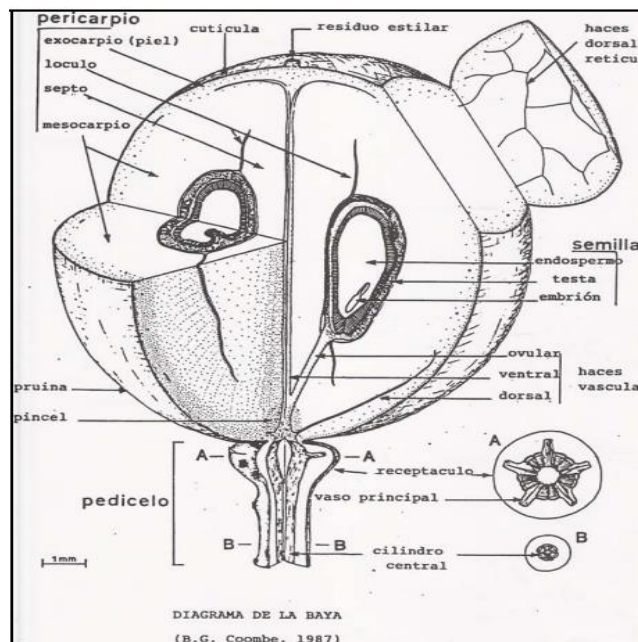
- **Pulpa (Mesocarpio):** Está formada por grandes células ricas en mosto, su principal componente es el agua y azúcares, la concentración de azúcar aumenta según la maduración del fruto, además, en la pulpa se encuentra el ácido tartárico y ácido málico.
- **Piel (epicarpio):** Capa externa del fruto, es una fuente concentrada de compuestos aromáticos y pigmentos. Los taninos, abundantes en esta capa aportan cuerpo y astringencia a los vinos tintos, mientras que las antocianinas determinan su tonalidad.
- **Pepitas (Endocarpio):** El endocarpio es el que contiene las semillas, posee una cubierta muy rígida y aporta taninos al vino, además en las semillas se encuentra el aceite.
- **Pruina:** Es una fina capa de cera presente en la cutícula del hollejo o pie, en la pruina se encuentran las levaduras que realizará la fermentación alcohólica.

- **Pincel:** Extensión de los vasos conductores del pedicelo, funciona como el canal de alimentación del fruto, transportando los nutrientes necesarios para su desarrollo.



**Figura 1: Anatomía de la uva.**

FUENTE: Sanchoyarta (2013).



**Figura 2: Morfología de la baya (uva).**

FUENTE: Grupo de Investigación en Viticultura - UPM (2015).

El crecimiento del fruto de la uva se caracteriza por dos fases de crecimiento exponencial separados por un periodo de latencia. La primera fase conocida como cuajado, inicia tras la polinización de las flores. En esta etapa las células del ovario de la flor se dividen para formar la estructura de la baya y las semillas, dando lugar al fruto. El incremento en el tamaño del fruto se debe a la proliferación y crecimiento celular. Al término de esta fase, los frutos adquieren una apariencia verde, dura y de tamaño reducido, similar al de un guisante o una aceituna (según variedad). En esta etapa se define la cantidad de células que tendrá el fruto maduro y la baya deja de crecer y entra en una fase de latencia (Caycedo *et al.*, 2020).

La segunda fase comienza cuando las semillas terminan de desarrollarse, este proceso se caracteriza por el envero. Durante esta etapa, las uvas tintas experimentan un cambio de coloración, una disminución de la dureza y modificaciones en la composición de la uva. Durante esta etapa, las uvas pueden experimentar un aumento de su tamaño hasta duplicarlo. Sin embargo, este aumento se debe exclusivamente a la expansión celular asociada con la acumulación de agua y azúcares solubles (Caycedo *et al.*, 2020).

### 2.2.2. Producción de uva en el mundo

La Vid es originaria de Asia, y a lo largo del tiempo se fue extendiendo a Europa y posteriormente al continente americano. Actualmente Europa es el principal productor, con casi el 50% de producción de uva a nivel mundial, seguida de Asia y en tercer lugar se encuentra América (Caycedo *et al.*, 2020).

La producción mundial de uva en el 2021 fue de 74.8 Mill. t de uva fresca en un área de unas 7.3 Mill. Ha, con un rendimiento promedio de 10.2 toneladas por hectárea. De este total, un 52% (37.2 Mill. t) se destinaron a la elaboración de vino (34.1 Mill. t) y producción de zumos y mostos (2.1 Mill. t). El 48% restante (35.5 Mill. t) de la uva sin prensar se distribuyó de la siguiente manera: 41% para consumo como uvas de mesa (30.1 Mill. t) y 7% para pasas (5.4 Mill. t) (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2022).

**Tabla 2: Producción de uva a nivel mundial (Mill. t.).**

País	2016	2017	2018	2019	2020	2021
China continental	12.6	13.1	13.7	14.2	14.8	14.8
Italia	8.4	6.9	8.6	6.2	6.4	6.4
EE.UU.	7.0	6.7	6.9	6.2	5.4	6.1
España	6.3	5.0	6.9	5.4	5.9	5.7
Francia	6.3	5.0	6.3	5.5	5.9	4.5
Turquía	4.0	4.2	3.9	4.1	4.2	3.7
Chile	2.5	2.4	2.8	2.7	2.4	2.9
India	2.6	2.9	2.9	3.2	3.4	3.5
Argentina	1.9	2.1	2.7	2.6	2.1	2.4
Australia	2.0	2.2	1.9	1.9	1.7	2.2
Otros países	22.0	23.0	24.0	23.8	23.6	23.5
Mundo	75.5	73.5	80.6	75.7	75.7	75.5

FUENTE: Organización Internacional de la Viña y el Vino (2022).

### 2.2.3. Producción de uva en el Perú

La vid *Vitis vinífera*, llegó al Perú hace más de 450 años, en 1555, Bartolomé Terrazas fue el responsable de sembrar las primeras cepas, procedentes de las Islas Canarias (España), en la hacienda Marcahuasi, Cusco. Con la conquista española, se descubrió el valle de Ica, como “lugar con mayor desarrollo para la producción y cultivos gracias a su clima”. En el Perú colonial, el cultivo de la vid se propagó hasta la costa norte, La Libertad, Lambayeque y Piura (Lakatos y Vegas-Gallo, 2020).

La producción de uva se registró en 206 000 656 toneladas en el mes de enero de 2022, esta cifra fue superior en 10,5% al compararlo con similar mes del año anterior (187 mil 75 toneladas), impulsado por las favorables condiciones térmicas, los departamentos de Piura e Ica que son los principales productores de uva, aportaron con el 86.3% del total de producción nacional, mientras que en los departamentos de Moquegua, Cajamarca y Lambayeque disminuyeron drásticamente la producción de uva con respecto al año 2021 (INEI, 2022).

**Tabla 3: Producción de uva a nivel nacional.**

Región	Producción (%)	Región	Producción (%)
Piura	25.9	Áncash	15.1
Ica	9.3	Tacna	3.7
San Martín	2.3	Moquegua	7.9
Lima	6.8	Cajamarca	10.3
Arequipa	12.7	Lambayeque	5.2
La libertad	10.4		

FUENTE: INEI (2022).

### 2.2.4. Variedad de uvas

El número de variedades de vid cultivadas en el mundo se sitúa entre 10 000 y 20 000, en su gran mayoría pertenecen a la *Vitis vinífera*, el resto a otras especies y variedades de portainjertos e híbridos (Córdova y Nuñez, 2015).

En el Perú existen diferentes variedades de *Vitis vinífera* que se pueden agrupar a lo más en tres clases: para mesa, para vinos y piscos, y para pasas (Churata, 2018), como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4: Principales variedades de uva en el Perú.**

<b>Destino</b>	<b>Variedad</b>
Para mesa	Quebranta Thompson, Seedless, Moscato de Hamburgo, Italia, Red Globe, Cardinal, Cereza, Alfonso Lavalle, Rosa del Perú.
Para vinos	Torontel, Borgoña, Tokay, Malbec, Emperador, Quebranta, Sauvignon Blanco, Pinot, Cabernet, Blanco Riesling, Albilla, Sauvignon, Barbera, Grenache.
Para piscos	Negra corriente, Albilla, Torontel, Moscatel, Quebranta, Italia, Uvina y Mollar,
Para pasas	Moscato de Alejandría, Italia de Pirolano, Thompson Seedless, Sullana, Percette.

FUENTE: Barco y Miranda (2022).

**Tabla 5. Principales variedades de uvas peruanas registradas en la OIV.**

<b>País</b>	<b>Nombre Internacional</b>	<b>Nombre nacional</b>	<b>Nombre Internacional</b>	<b>Nombre nacional</b>
Perú	Albilla B	-	Negra Criolla	-
Perú	Borgoña negra	Isabella negra	Quebranta	-
Perú	Burdeos	-	Red Globe Rs	Rosito
Perú	Autumn Royal	-	Petit Verdot N	-
Perú	Borgoña blanca	Isabella blanca	Pinot Noir N	-
Perú	Italia B	Moscatel de Alejandría	Tempranillo N	-
Perú	Malbec N	-	Thompson Seedless B	-
Perú	Cabernet Sauvignon N	Burdeos tinto	Sauvignon Blanc B	-
Perú	Mollar	Negra mole	Ugni Blanc B	-
Perú	Moscatel N	Moscatel rosado	Uvina N	-
Perú	Crimson seedless B	-	Superior Seedless B	-
Perú	Flame Seedless Rg	F32 – 137	Tannat N	-
Perú	Chardonnay B	-	Sirah N	-
Perú	Chenin B	-	Sugraone	-
Perú	Merlot N	-	Torontel B	Torrontés

FUENTE: Organización Internacional de la Viña y el Vino (2022).

### **a. Variedad Moscatel de Alejandría**

Su origen se ubica al norte de África, fueron los egipcios los primeros en cultivarla y vinificarla, otorgándole así el nombre de Moscatel de Alejandría (Huertas, 2004). En Chile, Argentina, Perú, Colombia y Ecuador cuenta con poca superficie de cultivo, en algunos de estos países se la usa para la elaboración de pisco por ser una variedad de uvas muy aromáticas (Vitivinicultura, 2018). En Perú, Chile y Argentina, esta variedad vitícola es comúnmente denominada “uva Italia”. Introducida entre los años 1701 - 1800, se cultiva extensamente en todas las regiones del pisco del país, desde Lima hasta Tacna. Las bayas son forma ovoide inversa y es color verde amarilla. Esta variedad de uvas blancas se utiliza tanto para uva de mesa como para elaborar pisco aromático, dando un excelente producto, es una variedad no resistente al oídio (Barco y Miranda, 2022).

Desde el punto de vista ampelográfico Moscatel de Alejandría se identifica por sus hojas pequeñas y poco lobuladas, con dientes agudos y punto peciolar rojizo. Sus racimos son grandes y sueltos, con bayas de buen tamaño y un aroma característico a Moscatel. El tronco de la planta no es muy vigoroso y ostenta en todo su largo abultamientos o nudosidades muy típicas (Vitivinicultura, 2018).

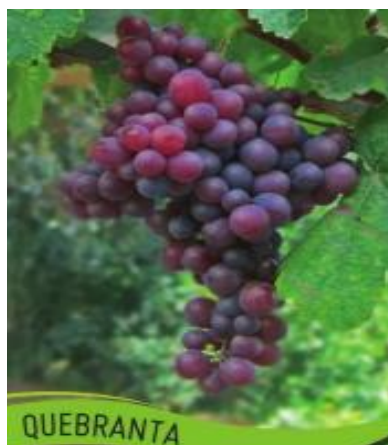


**Figura 3: Racimo de uva de la variedad Moscatel de Alejandría.**

FUENTE: Vitivinicultura (2018).

### **b. Variedad Quebranta**

La uva Quebranta es cruce de dos variedades de uva (Missiony y Negra Mole N) que se adaptaron al clima peruano, conocidas en Perú como Negra Criolla y Mollar, por eso, se considera como una variedad única y propia del Perú. Es de color rosado violáceo de buen vigor que se utiliza para la elaboración de piscos no aromáticos (Figura 4). Su racimo es de forma cónica mediano, baya ovalada con diámetros de 1.5 cm. La cáscara es delgada y frágil con gran riqueza en azúcares, pero bajo contenido de acidez (4 a 4.5 g/L de ácido tartárico) y su principal lugar de producción es Ica (Cáceres *et al.*, 2017; Churata, 2018).



**Figura 4: Racimo de uva de la variedad Quebranta.**

FUENTE: Churata (2018).

**Tabla 6: Perfil nutricional de las semillas de uva Quebranta.**

Componentes	Semillas secas
Proteínas	6.68
Humedad	6.49
Carbohidratos	69.84
Grasa	14.50
Cenizas	2.49

FUENTE: Churata (2018).

### 2.2.5. Perfil químico de la uva

El perfil nutricional de las uvas varía según la variedad, más específicamente según sean uvas blancas o tintas. Entre los minerales, el potasio es el más abundante y se encuentra en mayor cantidad en la uva tinta; mientras que el magnesio y el calcio están en cantidades moderadas y son más abundantes en la uva blanca (Córdova y Nuñez, 2015).

**Tabla 7. Composición por cada 100 gramos de uva comestible.**

	Uvas blancas	Uvas negras
Carbohidratos (g)	16.1	15.5
Calorías	63	67
Proteína	0.6	0.6
Fibra (g)	0.9	0.4
Grasas	0	0
Magnesio (mg)	10	4
Potasio (mg)	250	320
Vitamina B6 (mg)	0.1	0.1
Calcio (mg)	17	4
Ácido fólico (mcg)	16	26
Provitamina A(mcg)	3	3

FUENTE: Córdova y Nuñez (2015).

El fruto de la uva contiene gran cantidad de fenoles, que son responsables de otorgar las características distintivas a los vinos. La fuente principal de los fenoles es de la pulpa, a diferencia de los tintos, que se extraen principalmente de la cascara y semillas. Entre los fenoles presentes, se encuentran los compuestos fenólicos no coloreados como la catequina y la epicatequina, siendo los más abundantes flavan-3-oles en forma monomérica, los cuales se encuentran en mayor medida en la piel de la uva, estos compuestos también se presentan en forma de oligómeros o formas poliméricas, también denominados proantocianidinas o taninos condensados, los cuales se encuentran principalmente en las semillas de uva, estos compuestos pueden contener subunidades de ácido gálico (Latorre, 2016).

La distribución de los polifenoles en el fruto de la uva no es del todo homogénea, sino que se concentran principalmente en las semillas (60 %), la piel (30 %) y en menor grado en la pulpa y tallos (menos de 10 %) (Fuente, 2014).

**Tabla 8. Localización de los polifenoles en la uva.**

<b>Partes de la uva</b>	<b>Compuestos fenólicos</b>
Cascara	Ácidos fenólicos y derivados.
Pulpa	Flavonoles, antocianos (uva tinto).
Pepitas (semillas)	Flavonoles, flavan-3-oles (monómeros: catequina y epicatequina), taninos (oligómeros de flavan-3-oles).

FUENTE: Gonzales (2018).

Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes gracias a la combinación de varias propiedades, entre ellas la capacidad de quelar hierro, secuestrar radicales libres e inhibir enzimas como la lipooxigenasa, ciclooxigenasa, mieloperoxidasa y la xantina oxidasa, esta acción conjunta previene la formación de “especies reactivas de oxígeno y de hidroperóxidos orgánicos” in vivo, lo cual les hace indispensables para prevenir el estrés oxidativo (Escamilla, Cuevas y Guevara, 2009; Pérez, 2003).

#### **2.2.6. Semillas de uva (*Vitis vinífera*)**

Morfológicamente, la uva se divide en dos estructuras, principales: las semillas, originadas tras la fecundación, y el pericarpio, resultado de la diferenciación de la pared del ovario que envuelve y protege las semillas. En el pericarpio pueden distinguirse tres tipos de tejidos, organizados concéntricamente alrededor de las semillas, el endocarpio, más interno y con una textura más gelatinosa; el mesocarpio, intermedio y que ocupa el

mayor volumen de la baya y el exocarpio, más externo que contiene la epidermis recubierta por una cutícula cerosa y algunas capas celulares subepidérmicas (Caycedo *et al.*, 2020).

“las semillas están rodeadas por una fina capa (endocarpio) que las protege, son ricas en aceites y taninos, las semillas representan el 10-12% del total del orujo húmedo”(Grupo de Investigación en Viticultura - UPM, 2015; Moya, 2017), generalmente contiene dos semillas por baya, externamente se pueden observar 3 partes: pico, vientre, dorso e internamente se encuentran el albumen y embrión. La cantidad anual de semillas de uva descartadas supera las 3 millones de toneladas en todo el mundo, y el 20-25% de estos se considera material desechable durante la producción (Coelho *et al.*, 2018; Ustun *et al.*, 2020).



**Figura 5: Anatomía interna de la semilla de uva.**

FUENTE: Philmarin (2013).

En el Perú las semillas de uva no se aprovechan industrialmente, sino que se utilizan principalmente en la alimentación animal y como abono orgánico, mientras que en países como Alemania, Francia e Italia lo utilizan para extraer el aceite de pepitas de uva y es usado como aceite comestible, siendo los principales países exportadores más tradicionales de este producto, y en Sudamérica los países que tienen gran representatividad son Argentina y Chile (Moya, 2017).

### **2.2.7. Composición química de las semillas de uva**

Las semillas de uva corresponden a un 6% del peso total de la uva y están compuestas principalmente de agua (25 - 45%), compuestos glucídicos (34 - 36%), taninos (4 - 10%), compuestos nitrogenados (4 - 6,5%), minerales (2 - 4%), lípidos (13 - 20%), pentosas (10 - 12%), celulosa bruta (30 - 33%) y cenizas (2.5 - 4%) (Zúñiga *et al.*, 2003), así mismo contienen proteínas, fibra, carbohidratos. presentando un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados. Los más abundantes son el ácido oleico y el ácido linoleico, con 22% y 67% respectivamente (Padley, 1994).

Las semillas de uva poseen componentes antioxidantes, entre los que destacan son la vitamina E, carotenoides y compuestos polifenólicos (5% a 8%) que potencializan su capacidad antioxidante, además, se ha encontrado que uno de los principales beneficios que tienen las semillas de uva para la salud es que tienen gran cantidad de antioxidantes OPC (complejos oligo-méricos y poliméricos), incluso mayor a los encontrados en el hollejo y en el vino, los cuales protegen al organismo de los radicales libres, evitando así el envejecimiento y deterioro prematuro de órganos, tejidos y células (Hidalgo *et al.*, 2016; Ustun *et al.*, 2020). Mientras que Matthäus (2008), señala que “los polifenoles presentes en las semillas de uva exhiben propiedades antioxidantes al ser capaces de inactivar los radicales libres responsables de las enfermedades asociadas al estrés oxidativo”.

Las semillas tienen el mayor contenido fenólico y pueden ser utilizados como componente principal para elaborar suplementos nutricionales debido a la actividad antioxidante de sus componentes, los más destacados son la vitamina E, los carotenoides, los flavonoides, los polifenoles, entre otros (Yilmaz *et al.*, 2015). En las semillas de las uvas tintas se encuentran el mayor porcentaje de los fenoles siendo el 63% del total, en la piel se encuentra el 34% y en el zumo se encuentra el 3%. En general, las semillas de las variedades tintas tienen más compuestos fenólicos que las semillas de las variedades blancas (Passos *et al.*, 2010).

#### **2.2.8. Aceite de semilla de uva (*Vitis vinífera*)**

Las semillas de uva están formadas por dos capas envolventes, uno de ellos es el albumen, donde descansa el embrión el cual contiene aceite, que es llamado aceite de semilla de uva (Ramos, 2015). “El aceite de semilla de uva es rico en ácidos grasos insaturados, este representa más del 89% de la composición total del aceite, muchos de los cuales son ácidos grasos esenciales” (Davidov-Pardo y McClements, 2015), su importancia nutricional radica fundamentalmente en ser precursores de ácidos grasos de mayor longitud de cadena y grado de insaturación (ácido araquidónico -AA- y ácido docosahexaenoico -DHA-), los que poseen potentes efectos biológicos (Churata, 2018).

Así mismo, las semillas de uva se consideran una fuente de compuestos fenólicos con un alto contenido de aceite con un promedio de 10-20% p/p que es rico en ácidos grasos poli-insaturados (85%) (PUFA) y antioxidantes, en particular el ácido linoleico, uno de los ácidos grasos esenciales para el cuerpo humano, representa más del 70 % del total de

ácidos grasos en el aceite de semilla de uva, los porcentajes de los componentes del aceite pueden variar según su origen, variedad, características del suelo, clima, nivel de madurez y los procesos de extracción (Coelho *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020; Passos *et al.*, 2009; Ustun *et al.*, 2020).

El aceite de semillas de uva no se produce actualmente en el Perú, sin embargo, en países europeos como Italia, Francia y España son líderes en producción, comercialización y una demanda que va en aumento, en Sudamérica principalmente en Argentina donde la producción se centra en las provincias de San Juan y Mendoza. El Código Alimentario Argentino, en su artículo 532 define al “aceite de uva o de Pepita de uva, el obtenido de semilla de distintas variedades de *Vitis vinífera* L”, al ser un subproducto, este aceite está condicionada por la producción de uva (Obregón, Huayta y Cárdenas, 2018; Franco, 2011).

**Tabla 9: Evolución de las exportaciones y sus destinos principales.**

<b>País/toneladas</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Chile	1.323	1.370	1.712	1.833	1.856	1.696	1.679	1.424
Francia	0	0	-	-	-	1.742	1.227	-
Estados Unidos	281	389	250	84	79	103	321	1.200
México	105	294	274	352	856	21	-	-
Brasil	16	0	38	0	5	28	11	12
Resto	39	44	30	21	7	31	5	13
Total general	1.763	2.215	2.504	2.523	3.345	4.120	3.293	2.703

FUENTE: Franco (2011).

#### **a. Perfil químico del aceite de semillas de uva**

El aceite de semillas de uva es una fuente rica de compuestos bioactivos, destacando los polímeros de flavonoles como las procianidinas. Estos compuestos, derivados de la catequina y epicatequina, poseen una notable actividad antioxidante, lo que les confiere un gran potencial en el ámbito farmacéutico para la prevención de enfermedades relacionados con el estrés oxidativo. Dentro de los polifenoles presentes en la uva, los taninos condensados son antioxidantes, atrapadores de radicales libres e inhibidores de la peroxidación lipídica (Moya, 2017).

Córdova y Nuñez (2015), mencionan que el aceite de semillas de uva tiene altas concentraciones de ácidos grasos insaturados, de polifenoles, vitaminas liposolubles como la vitamina E (32 mg/100g aceite) y otros antioxidantes naturales.

#### **b. Usos del aceite de semillas de uva**

Gilvonio, Luna y Rios (2017), mencionan la importancia y usos del aceite de semillas de uva:

- Alto contenido nutricional ya que contiene ácidos grasos esenciales (linoleico) en mayor proporción (70%) respecto a otros aceites comerciales.
- Disminuye los riesgos y enfermedades cardiacas debido a que este aceite actúa como antioxidante.
- No contiene ácidos trans-fatty, colesterol ni sodio.

Usos del aceite de semillas de uva:

- Gastronomía: aderezos, ensaladas gourmet, etc.
- Cosmética: cuidados de la piel y cabello.
- Farmacéutica.

### **2.2.9. Lípidos**

#### **A. Oxidación de lípidos**

La oxidación lipídica es uno de los fenómenos más significativos en los alimentos, ya que puede ocurrir en cualquier etapa de su elaboración, procesamiento y almacenamiento (Dominguez y Jimenez, 2017), que es inducido por el oxígeno en presencia de iniciadores tales como calor, radicales libres, luz, fotosensibilización, pigmentos e iones metálicos (Isaza, Restrepo y López, 2013). La oxidación de los lípidos puede ocurrir mediante tres procesos principales: el proceso inicial de deterioro de los lípidos se desencadena mediante la autooxidación no enzimática, promovido por la interacción directa de los lípidos con el oxígeno molecular del aire, es un proceso mediado por radicales libres, el segundo proceso es la fotooxidación no enzimática y no radical, que esta inducida por la luz, y el tercer proceso es la oxidación enzimática. Entre ellos, la autooxidación es el proceso más frecuente que provoca el deterioro oxidativo (Sánchez, 2003; Laguerre, Lecomte y Villeneuve, 2007).

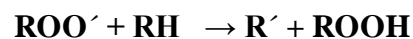
La autooxidación es un mecanismo que genera compuestos que a su vez mantienen y aceleran la reacción (Pereyra *et al.*, 2009), una de las transformaciones más habituales en los alimentos ya que en su composición contienen sustancias insaturadas, el aumento de concentración de ácidos grasos insaturados promueve la autooxidación, ocurre debido a la vulnerabilidad del grupo ubicado entre dos enlaces dobles, que tiende a perder un átomo de hidrógeno y formar un radical libre. Esto inicia una reacción de los enlaces dobles con el oxígeno, provocando su ruptura y la fragmentación de las moléculas de ácidos grasos, lo cual da lugar a aldehídos volátiles que generan un sabor y olor rancio (Dominguez y Jimenez, 2017), siendo la principal causa del deterioro de la calidad de las grasas y aceites comestibles, y la velocidad de su reacción determina la estabilidad del producto (Farhoosh, 2007a).

Durante la oxidación lipídica se genera hidroperóxidos y compuestos volátiles, que se da generalmente en tres fases las cuales son (Navarro-García, Bringas-Alvarado y Pacheco-Aguilar, 2004):

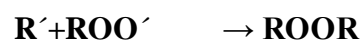
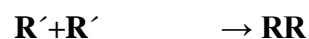
- **Iniciación:** El radical libre reacciona con el grupo metileno de la cadena de carbono del ácido graso, eliminando un átomo de hidrógeno y generando un nuevo radical libre.

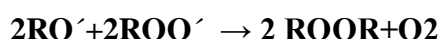
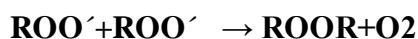


- **Propagación:** El radical R' generado en la fase de iniciación de la oxidación lipídica puede reaccionar para formar el radical peroxilípido ROO', esta formación a su vez reacciona con el hidroperóxido ROOH. En esta etapa también se forman nuevos radicales R', provocando la autopropagación del proceso.



- **Terminación:** La autooxidación concluye con la destrucción completa de los ácidos grasos formando hidroperóxidos como productos de oxidación que causan rancidez. Otra vía de conclusión de la autooxidación es mediante la reacción la combinación de radicales libres alquílicos lipídicos (R') con radicales peróxidos (ROO') para formar formas relativamente estables, no iniciadoras y no propagadoras.





En esta fase de terminación o descomposición, “los hidroperóxidos producidos se descomponen en etano, pentano, aldehídos reactivos y cetonas. Los aldehídos resultantes, como el malonildialdehído y el 4-hidroxinonenal, pueden reaccionar con proteínas y ácidos nucleicos y propagar efectos citotóxicos, genotóxicos y mutagénicos” (Céspedes y Castillo, 2008).

Durante la etapa de almacenamiento la autooxidación es la causa más conocida de degradación. En esta fase los factores externos juegan un papel importante, ya que un aumento de temperatura conlleva un incremento de la velocidad de oxidación (Velasco y Dobarganes, 2002).

### **B. Factores que afectan la oxidación lipídica**

La composición de los ácidos grasos presentes en el lípido influyen en la oxidación, así también los factores de procesamiento, concentración, tipo de oxígeno, metales de transición, peróxidos, compuestos térmicamente oxidados, pigmentos y antioxidantes afectan la oxidación de los lípidos y no es fácil diferenciar su efecto individual (Choe y Min, 2006).

- **Perfil de ácidos grasos:** La vulnerabilidad a la oxidación de los ácidos depende en gran medida de su estructura molecular, número, posición y configuración geometría de los enlaces dobles influyen significativamente en su reactividad. Los ácidos grasos insaturados, especialmente aquellos con múltiples dobles enlaces conjugados en configuración cis, son más propensos a la oxidación en comparación con los ácidos grasos saturados o los insaturados con dobles enlaces trans (Jiménez, 2004).

#### **2.2.10. Variables que estimulan la oxidación de aceites y grasas**

Variables más comunes que estimulan la oxidación de las grasas y aceites:

- **Temperatura:** La tasa de autooxidación aumenta con la temperatura. Esto puede afectar no sólo a la velocidad de autooxidación sino también a los mecanismos de reacción, de hecho, las altas temperaturas tienen efecto catalizador sobre cada una de las etapas de este proceso (Jiménez, 2004).

- **Luz:** Ácidos grasos y sus hidroperóxidos son compuestos que no presentan absorción en el espectro de luz visible, lo que los hace incoloros. No obstante, la presencia de un sensibilizador adicional este puede aumentar la absorción de la luz visible, pero sigue siendo de menor importancia. Sin embargo, la luz ultravioleta es claramente absorbida por compuestos insaturados (Ixtaina, 2010).
- **Oxígeno:** Al aumentar la presión parcial de oxígeno, la velocidad de oxidación se incrementa hasta alcanzar un valor máximo constante. Sin embargo, el efecto del oxígeno sobre el proceso oxidativo depende de factores como la temperatura. Cuando la temperatura es alta se presentan cambios en la presión parcial del oxígeno, que lo hacen menos solubles en los lípidos y el agua, disminuyendo así su efecto sobre el proceso oxidativo (Jiménez, 2004).
- **Humedad:** Las condiciones de humedad muy alta o muy baja influye en el desarrollo de rancidez. La máxima estabilidad se observa en niveles de humedad intermedios correspondientes a valores de monocapa (efecto protector del agua en forma de monocapa) (Ixtaina, 2010).
- **Radiación ionizante:** Uno de los efectos más visibles de la irradiación de alimentos de alto contenido energético es un marcado aumento de la susceptibilidad a la rancidez oxidativa (Ixtaina, 2010).
- **Catalizadores:** Los iones de los metales pesados son potentes catalizadores de la oxidación de los lípidos, acortando el tiempo de inducción y aumentando la velocidad de reacción (Ixtaina, 2010).

#### 2.2.11. Composición de los lípidos

La susceptibilidad y velocidad de oxidación de los ácidos grasos en los lípidos depende de su grado de saturación; así, los lípidos que son más insaturados son oxidados con mayor rapidez que los menos insaturados (Parker *et al.*, 2003). A medida que el grado de insaturación aumenta, tanto la tasa de formación como la cantidad de compuestos primarios de la oxidación incrementan, y se acumulan al final del período de inducción (Martín-Polvillo, Márquez-Ruiz y Dobarganes, 2004).

Por el número de insaturación, los PUFA son más propensos al ataque de radicales libres y al daño oxidativo (Bernal Gómez, Mendonça-Junior y Mancini-Filho, 2003), siendo utilizados en la determinación de la eficacia de antioxidantes naturales (Wanasundura y Shahidi, 1998).

### **2.2.12. Antioxidantes**

Un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidativa de los radicales libres mediante la liberación de electrones capturados por los radicales libres, que tiene una función preventiva en el desarrollo del envejecimiento y algunas enfermedades neurodegenerativas (Churata, 2018). En la industria alimentaria se emplea dos clases principales de antioxidantes: los de origen botánico o animal (natural) y los de síntesis química (sintético). Los antioxidantes de origen sintético, caracterizados por sus estructuras fenólicas sustituidas, como el BHA y el BHT, son ampliamente utilizados a pesar de presentar desventajas relacionadas con su volatilidad y potencial toxicidad. Mientras que los antioxidantes naturales pueden ser compuestos fenólicos (tocoferoles, flavonoides y ácidos fenólicos), compuestos nitrogenados (alcaloides, derivados de clorofila, aminoácidos y aminos) o carotenoides que se encuentran comúnmente en hierbas y otros materiales vegetales (Velioglu *et al.*, 1998; Martinello y Pramparo, 2005).

Los antioxidantes contrarrestan la oxidación de dos maneras diferentes; primer caso, previenen la formación de especies reactivas del oxígeno o las neutralizan una vez formadas, evitando que se oxiden. En el segundo caso, los antioxidantes de rompimiento de cadena interceptan los radicales propagadores de la oxidación (LOO) o participan indirectamente en detener la reacción de propagación (Laguerre *et al.*, 2007).

Un antioxidante ideal debe cumplir con ciertas características y requerimientos para ser incorporado a un sistema alimenticio. Estos deben de ser seguros para la salud humana y no impartir olor, color o sabor que puedan modificar negativamente las características de un alimento al que ha sido añadido. Además, debe ser efectivo a bajas concentraciones y deben ser capaces de seguir cumpliendo su función después de procesos como el cimiento, horneado o freído (Jiménez, 2004).

### **2.2.13. Antioxidantes sintéticos**

Dentro de los antioxidantes sintéticos más usados en alimentos se encuentran el hidroxitolueno butilado (BHT), el hidroxianisol butilado (BHA), la butilhidroquinona terciaria (TBHQ) y los ésteres del ácido gálico, como el galato de propilo (Politeo, Jukic y Milos, 2007; Han y Rhee, 2005), la desventaja de estos antioxidantes son que se descomponen fácilmente a altas temperaturas y son muy volátiles. Adicionalmente, los antioxidantes sintéticos han sido fuertemente cuestionados en torno a su seguridad y toxicidad (Valencia *et al.*, 2008).

- **BHA:** Este compuesto presenta alta solubilidad en grasas animales y aceites vegetales, tiene muy buena estabilidad bajo condiciones encontradas durante el procesamiento de alimento, dando estabilidad a productos horneados o freídos. Su efecto como antioxidante es muy pobre en aceites vegetales, principalmente en aquellos que son ricos en antioxidantes naturales. Se ha visto que el BHA presenta un típico olor fenólico que puede notarse en los aceites que son sometidos a altas temperaturas (Jiménez, 2004).
- **BHT:** Es muy soluble en grasas y aceites, al igual que el BHA es un antioxidante muy efectivo en grasas animales, pero menos eficaz en aceites vegetales. Aunque es capaz de resistir altas temperaturas que se presentan durante el procesamiento de alimentos, no es tan efectivo como el BHA. BHT presenta una acción aceptable de sinergismo al combinarse con otros antioxidantes. Debido a que el BHT es más volátil que el BHA, se recomienda que cuando se usen juntos se agregue aproximadamente cinco veces más que el primero (Jiménez, 2004).
- **PG:** Usado en la estabilización de grasas y aceites vegetales, así como productos cárnicos, especias y bocadillos. Es ligeramente soluble en aceites, pero presenta buena solubilidad en agua. Inestable durante el horneado o freído, además en presencia de agua forma un complejo con el hierro causando una coloración oscura (azul-negra) se recomienda usarlo siempre en presencia de un secuestrador de metales como el ácido cítrico (Jiménez, 2004).
- **TBHQ:** Es más efectivo que otros antioxidantes comunes, ya que provee gran estabilidad oxidativa a los aceites poliinsaturados, ya sean crudos o refinados, considerado el mejor antioxidante en productos freídos, este antioxidante no presenta problemas de color y es muy estable a altas temperaturas y menos volátil comparado con el PG, BHA y el BHT respectivamente (Jiménez, 2004).

#### **2.2.14. Antioxidantes naturales**

Debido a su alta estabilidad oxidativa, los antioxidantes naturales han experimentado un aumento en su popularidad como agentes para prevenir la degradación de los lípidos en los últimos años. Estos antioxidantes previenen e inhiben los procesos oxidativos en el cuerpo y alimentos. Las reacciones oxidativas en los productos alimenticios son la principal causa de su deterioro y conducen a la pérdida del valor nutricional y a la degradación del sabor, aroma y textura.

Los antioxidantes naturales son un elemento básico en la dieta, ya que se encuentran en casi todos los productos vegetales comestibles. También se encuentran en las frutas, legumbres, cereales, té, hierbas aromáticas (salvia, tomillo, menta, aloe, diente de león, hinojo, orégano, perejil, romero, albahaca, laurel, sauco, perejil, manzanilla y tilo), especias y vinos, formando un grupo más amplio de antioxidantes llamados polifenoles (Shetty, Magadum y Managanvi, 2013; Duda-Chodak y Tarko, 2007), donde se ha encontrado una correlación lineal positiva entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de las hierbas, y en consecuencia, estas son consideradas una buena fuente de antioxidantes naturales (Proestos *et al.*, 2005). La mayoría de los compuestos naturales capaces de inhibir la oxidación tienen estructuras fenólicas, con excepción del ácido ascórbico.

En la industria de alimentos los antioxidantes naturales más utilizados son los extractos naturales ricos en tocoferoles y el extracto de romero para inhibir o retrasar la oxidación del lípido. De manera similar, las proantocianidinas que se encuentran en las semillas de uva tienen mecanismos antioxidantes complejos, que incluye la eliminación de radicales libres, la quelación y la inhibición del polifenol oxidasa (Chen *et al.*, 2020).

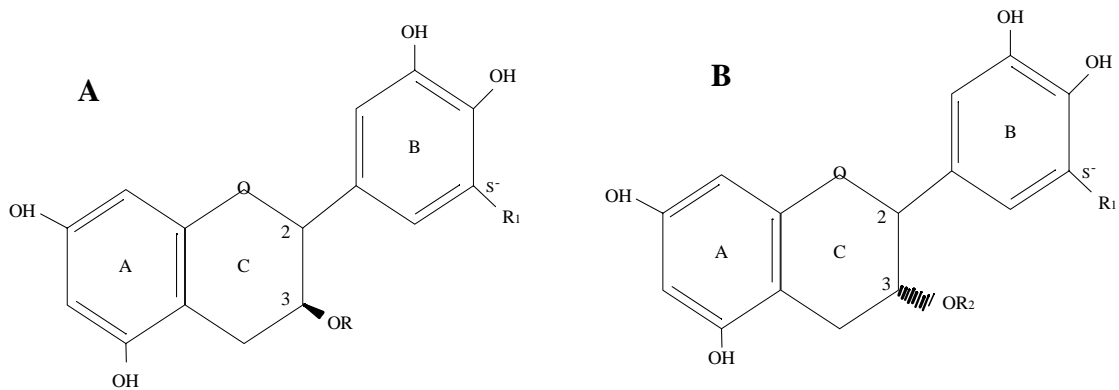
Los principales compuestos con actividad antioxidante que han sido extraídos de plantas y especias, han sido identificados como flavonoles, catequinas, pro-antocianinas y antocianinas. En la mayoría de estos casos se descubrieron que estos compuestos actúan como antioxidantes primarios, además de poder quelar metales. A estas propiedades se atribuyen los anillos fenólicos y grupos cetol presentes (Jiménez, 2004).

Los antioxidantes naturales son sensibles a diversos factores ambientales, especialmente al oxígeno, aún más si son expuestos a altas temperaturas y luz, reduciendo de esta manera la eficacia del antioxidante. Los antioxidantes presentes en los alimentos sufren cambios similares a los otros componentes del alimento. Las pérdidas más importantes en la actividad antioxidante se producen como consecuencia de cambios químicos de los antioxidantes presentes en el alimento (Isaza *et al.*, 2013).

#### **A. Extracto de té verde**

“El té verde (*Camellia sinensis*), ha sido estudiado por sus propiedades fisicoquímicas, toxicológicas y biológicas por su buena fuente de flavonoides y su actividad antioxidante” (Carvente, 2014). Además, varios estudios científicos mostraron que el té verde contiene polifenoles, de los cuales el 59,9% son catequinas. Las catequinas están compuestas por

15 átomos de carbono y contienen dos anillos fenólicos (anillos A y B) conectados por tres átomos de carbono, que junto con el átomo de oxígeno forman parte del del anillo C (Hernández, Rodríguez y Sánchez, 2004), como se muestra en la figura 6.



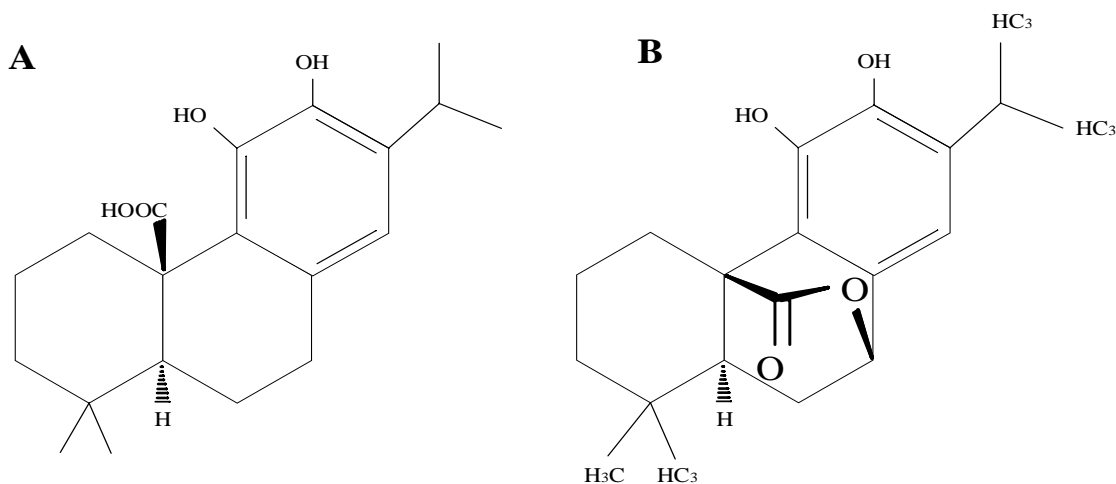
**Figura 6: Estructura química de las catequinas del Té verde.**

FUENTE: Hernández *et al.* (2004).

Las principales catequinas que se encuentran en el té son la epicatequina (EC), la epigalocatequina (EGC), el galato de epicatequina (ECG), y el galato de epigalocatequina galato (EGCG), siendo esta última la catequina más abundante en el té verde, Estos compuestos son atrapadores de especies reactivas de oxígeno con carácter radical y son de importancia fisiológica y patológica (Valenzuela, 2004). A través de su investigación, el Dr. Lester demuestra que el vino y las uvas son fuentes naturales de polifenoles, sustancias con propiedades antioxidantes. Sin embargo, el té verde también contiene vitamina A, vitamina C y vitamina E, que junto con catequinas proporcionan una alta protección contra los radicales libres (Balentine, Wiseman y Bouwens, 1997).

### **B. Extracto de Romero**

El extracto de romero (E-392) derivado de las hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.), posee una alta concentración de diterpenos fenólicos, como el ácido carnósico y el carnosol, los cuales son responsables de su potente acción antioxidante. Además contiene triterpenos y ácidos triterpénicos (Mira, 2019). La figura 7 ilustra la estructura molecular de estos compuestos.



**Figura 7: Estructura de los diterpenos.**

**Nota:** (A) Ácido carnósico, (B) Ácido carnosol.

FUENTE: Mira (2019).

Los principios activos de los diterpenos ejercen un efecto protector sobre las membranas celulares, producen efectos antioxidantes y antirradicales libres e inhiben la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y el envejecimiento de la piel (Avila-Sosa *et al.*, 2011; Mejía, 2019).

### 2.2.15. Mecanismos de acción de los antioxidantes

“Los antioxidantes pueden inhibir o ralentizar la oxidación del sustrato biológico y, en algunos casos, revertir el daño oxidativo de las moléculas afectadas” (Alomar, 2014). La mayoría de los antioxidantes, ya sean naturales o sintéticos tienen en su estructura grupos fenólicos o hidroxilo. Estos grupos son responsables de la capacidad antioxidante, atrapando metales mediante la donación de electrones para la estabilización de radicales libres (Jiménez, 2004).

Según Alomar (2014), el mecanismo de acción se divide en:

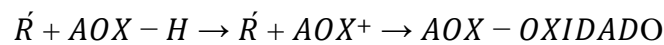
- **Antioxidantes primarios:** Este tipo de antioxidantes actúan como donantes de átomos de hidrogeno para estabilizar los radicales libres. Así mismo, estos antioxidantes poseen la capacidad de interactuar con radicales peróxidos y alcoxi, interrumpiendo así la propagación de las reacciones en cadena oxidativas y previniendo la formación de hidroperóxidos.
- **Antioxidantes secundarios:** Compuestos capaces de reducir la velocidad de oxidación secuestrando iones metálicos, reduciendo el oxígeno presente o

regenerando el antioxidante agotado. Los compuestos secuestrados forman enlaces coordinados con los metales, disminuyendo así su capacidad para promover la oxidación lipídica (Jiménez, 2004).

Principales mecanismos de acción según Domínguez y Jiménez (2017):

- **Interacción directa con especies reactivas:** El mecanismo más conocido de muchos antioxidantes son de actuar como “neutralizadores de varias especies reactivas”. Esto permite estabilizar los radicales libres mediante la liberación de un electrón libre. Por ejemplo, un mecanismo llamado SET (transferencia de un solo electrón) permite que un radical libre pierda su estado al “emparejar” un electrón desapareado.

Mecanismo SET de un antioxidante:



- **Prevención de la formación enzimática de especies reactivas:** Ciertos antioxidantes actúan como protectores contra la formación de radicales libres al bloquear la producción de enzimas prooxidantes, las cuales son responsables de generar estas moléculas perjudiciales.
- **Prevención de especies reactivas mediadas por metales (quelantes):** Los antioxidantes desempeñan un papel crucial en la prevención del daño oxidativo al actuar como agentes quelantes de metales de transición tal como el cobre y hierro. Estos metales en su estado libre, catalizan la reacción de Fenton, en la cual el peróxido de hidrogeno se descompone en radicales hidroxilos, una especie altamente reactiva que daña lípidos, proteínas y ADN. Al unirse a estos metales, los antioxidantes forman complejos estables que inhiben su capacidad catalítica, evitando así la formación de radicales libres y protegiendo las células del estrés oxidativo.
- **Activación de la actividad de enzimas antioxidantes:** El organismo produce enzimas especializadas en la eliminación de especies reactivas. Estas enzimas antioxidantes catalizan la conversión de radicales superóxidos en peróxido de hidrógeno, y posteriormente, este último es transformado en agua, una molécula estable y no dañina.

### 2.2.16. Factores que influyen en la eficiencia de los antioxidantes

Jiménez (2004), menciona que la capacidad de algunos compuestos para inhibir la oxidación no solo depende de sus características estructurales. Existen otros factores que influyen como la concentración, fase del proceso de oxidación, estado físico del sistema (tipo de alimento), entre otros.

- **Concentración:** la concentración de adición de un antioxidante es un factor determinante en su eficiencia para inhibir la oxidación.
- **Fase de oxidación:** la concentración inicial de productos primarios de la oxidación como peróxidos, reduce fuertemente la eficiencia del antioxidante añadido al alimento.
- **Estado físico del sistema lipídico:** el comportamiento de un antioxidante se ve afectado por el estado de los lípidos. Los antioxidantes polares son más efectivos en lípidos o aceites puros y los antioxidantes no polares en sustratos polares como liposomas y emulsiones se denomina “paradoja polar”. En aceites puros, los antioxidantes polares se localizan preferentemente en la interfase aceite-aire, donde ejercen su acción protectora contra la oxidación, mientras que los antioxidantes no polares se distribuyen uniformemente en la masa del aceite.

### 2.2.17. Estabilidad oxidativa

La estabilidad de una matriz lipídica se refiere a su capacidad para resistir la autooxidación y degradación a causa de factores externos como temperatura, luz, oxígeno, entre otros factores, que conlleva al desarrollo de compuestos volátiles generando olores y sabores a rancidez. El deterioro de los aceites y grasas, conocido como rancidez, es el factor limitante principal del tiempo de vida útil de estos productos. Por lo tanto, la estabilidad oxidativa (resistencia a la oxidación) es uno de los factores más preocupantes para la industria alimentaria, innumerables factores determinan la estabilidad de los aceites destacando su composición química y condiciones de almacenamiento (Gutiérrez y Terrones, 2016).

### 2.2.18. Métodos de análisis de estabilidad oxidativa en aceites

Sherwin (1978), menciona que la oxidación de los aceites es un proceso progresivo que se desarrolla en dos periodos, el primero es el período de inducción, en esta fase se generan hidroperóxidos conjugados, caracterizados por la presencia de dobles enlaces

trans conjugados y en el segundo período, los hidroperóxidos experimentan una degradación que origina una variedad de compuestos orgánicos volátiles, entre los que destacan aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos grasos de cadena corta. Esta descomposición es responsable del desarrollo de rancidez en los aceites causando rancidez.

“Los métodos de medición de la estabilidad combinan métodos para medir la oxidación y la exposición prolongada a factores que aceleran la oxidación (temperatura, luz, humedad, oxígeno, etc.)” (Mamani, 2022).

#### **a. Método de oxígeno activo (AOM)**

Método del oxígeno activo (AOM, AOCS Cd 12-57), mide el tiempo en horas necesario para que una muestra de aceite alcance un índice de peróxido específico en condiciones de pruebas específicas. A través del aceite se hace pasar continuamente aire a 98°C. Para determinar el índice de peróxido se toman periódicamente muestras de 1 gramo. El AOM se expresa en horas y representa el periodo en el que el valor del peróxido debe alcanzar un determinado nivel (Velasco y Dobarganes, 2002).

#### **b. Método de absorción de oxígeno (RapidOxy)**

El método RapidOxy consiste en un proceso de oxidación acelerado mediante el aumento de la presión del oxígeno y temperatura, lo que permite determinar la estabilidad oxidativa de las muestras. “Se realiza en bombas de oxígeno o dispositivos especiales y generalmente mide la caída de presión en función del tiempo” (BTSA, 2022). Las muestras exponen oxígeno puro a una presión de hasta 700 kPa y aumentan su temperatura hasta 200° C. manteniendo constante la temperatura y midiendo continuamente la presión hasta detectar una caída significativa de presión.

#### **c. Índice de peróxido**

El índice de peróxidos es una medida cuantitativa que indica el deterioro oxidativo de los aceites, expresándose como la cantidad de oxígeno activo presente por unidad de masa. Los ácidos grasos insaturados tienen la capacidad de absorber oxígeno en los dobles enlaces y formar peróxidos, que son muy reactivos y pueden determinarse mediante yodometría, este método aprovecha la capacidad del oxígeno peroxídico para oxidar el ion yoduro del yoduro de potasio (KI) y liberar yodo, los oxidantes de yoduro de potasio son peróxidos u otros productos similares que se forman durante la oxidación de grasas (Fernandes y Cabral, 2007).

#### **d. Prueba Schaal**

Este método consiste en someter a la grasa a temperaturas de 60°C a 63°C durante un tiempo determinado, el incremento de temperatura actúa como catalizador, acelerando las reacciones de oxidación presentes en la grasa, permitiendo así medir su evolución tanto a nivel organoléptico (color, olor, sabor, etc.) como por análisis químicos, realizándose mediciones periódicas del índice de peróxidos y se elabora un gráfico que muestra la evolución de este índice en el tiempo (BTSA, 2022).

#### **e. Método Rancimat**

El método Rancimat, reconocido como prueba automatizada del Método de Oxígeno Activo (AOM), en normas internacionales y nacionales como OSI y AOCS Cd 12b-92, fue desarrollado por Handrn y Zurcher en 1974, estableciéndose como el método estándar AOCS Cd 12b-92, posteriormente fue objeto de estudio de Jebe en 1991, Matlock y Sleeter (1993). El método Rancimat, reconocido por su facilidad de uso y reproductibilidad, ha experimentado una amplia adopción en los últimos veinte años. Este método consiste en evaluar la estabilidad oxidativa de grasas y aceites al someterlos a condiciones aceleradas de oxidación, mediante la exposición a altas temperaturas y un flujo continuo de aire. Este método se basa en los cambios de conductividad del agua desionizada luego de la recolección de ácidos orgánicos volátiles generados en las etapas finales de la oxidación acelerada del aceite (García-Moreno *et al.*, 2013). Los compuestos volátiles generados durante el proceso son principalmente ácidos orgánicos de cadena corta (aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos grasos de cadena corta), que son los causantes del enranciamiento y del olor desagradable de los aceites y son detectados por conductividad (Villanueva *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2015).

El equipo Rancimat controla continuamente la conductividad eléctrica del agua y señala inmediatamente el final de la prueba si la conductividad aumenta rápidamente. El tiempo transcurrido desde la formación de estos productos de reacción se denomina tiempo de inducción (OSI) (en horas) necesario para que la reacción de oxidación alcance el punto de inflexión según el diagrama de conductividad vs tiempo, el valor OSI indica la resistencia de la muestra a la oxidación (Dominguez y Jimenez, 2017; Gutiérrez y Terrones, 2016).

Estos datos permiten estimar:

- Tiempo de inducción: Tiempo requerido para que la conductividad de la muestra llegue al punto de inflexión representado por la intersección de las dos tangentes trazadas sobre las dos ramas de la curva de conductividad en función de la degradación.
- Tiempo de estabilidad: Tiempo que se tarda en alcanzar un aumento de conductividad específico.

El tiempo necesario para alcanzar el punto final prescrito de oxidación se define como el período de inducción o la vida útil de las grasas y aceites comestibles. El punto final de la oxidación es un grado de cambio detectable por el consumidor en las características aceptables del producto denominado rancidez. Para monitorear estos cambios se suele utilizar pruebas químicas, como el índice de peróxido, índice de carbonilo, índice de ácido tiobarbitúrico (TBA), etc., se utilizan a menudo para controlar los cambios en la calidad de las grasas y aceites comestibles, se deben utilizar métodos acelerados para estimar la vida útil del producto en un tiempo relativamente corto ya que la autooxidación es bastante lenta en condiciones ambientales. Sin embargo, las estimaciones de estos métodos no suelen correlacionarse con la estabilidad en condiciones ambientales debido a la cinética ampliamente divergente de la oxidación lipídica en condiciones inusuales empleadas en las pruebas de almacenamiento acelerado (Farhoosh, 2007a).

### **2.2.19. Energía de activación ( $E_a$ )**

La energía de activación conocido como barrera energética (energía mínima), es la que rompen las partículas de un sistema antes de iniciar un determinado proceso. Las reacciones químicas requieren que las moléculas se acerquen lo suficiente para que sus enlaces se rompan y se formen nuevos enlaces. Sin embargo, esta aproximación se ve obstaculizada por la repulsión entre sus nubes de electrones. Para superar esta barrera, las moléculas necesitan una cantidad mínima de energía, conocida como energía de activación, que obtiene del movimiento térmico del sistema.

Las moléculas tienen que romper la barrera energética para reaccionar, esto varía según la naturaleza de las sustancias involucradas. Esta relación entre la estructura molecular y la velocidad de reacción se expresa matemáticamente mediante la fórmula de Arrhenius.

En la oxidación, la  $E_a$  es la energía mínima requerido para que las moléculas de la sustancia a oxidar y el oxidante puedan romper sus enlaces existentes y formar nuevos enlaces, dando como resultado los productos de oxidación.

### **Energía de Activación en la industria de alimentos**

En la industria alimentaria la  $E_a$  es un concepto fundamental, ya que influye directamente en la velocidad de las reacciones químicas que pueden ocurrir en los alimentos, afectando su calidad, seguridad y vida útil.

**Conservación de alimentos:** La energía de activación se aprovecha para ralentizar la oxidación y degradación de los alimentos. Al reducir la temperatura (refrigeración o congelación), se disminuye la energía cinética de las moléculas, lo que dificulta que superen la barrera de energía de activación y reaccionen.

**Procesamiento de alimentos:** en los procesos de pasteurización, esterilización y cocción al elevar la temperatura inactivan microorganismos, así mismo modifican la textura, sabor y valor nutricional del alimento.

#### **2.2.20. Cinética de reacciones para predecir la pérdida de calidad de los alimentos**

Alvarado (2016), menciona que la cinética química implica el estudio de la velocidad y mecanismo por el cual una sustancia química se convierte en otra, y que la velocidad de reacción se expresa como la cantidad de sustancia formada (si tomamos como referencia un producto) o transformada (si tomamos como referencia un reactivo) por unidad de tiempo.

La velocidad de reacción será:

$$v = -\frac{d\{A\}}{dt} = -\frac{d\{B\}}{dt} = \frac{d\{C\}}{dt}$$

Donde el signo negativo en la ecuación de la velocidad indica el decremento en la concentración de los reactivos A y B a lo largo del tiempo. Por el contrario, el signo positivo asociado a la especie C refleja el incremento en su concentración a medida que transcurre la reacción. No obstante, numerosos experimentos han demostrado que la velocidad de reacción suele ajustarse a una expresión matemática de la siguiente forma:

$$v = k [A]^i [B]^j$$

El orden de reacción de una sustancia en una ecuación cinética se determina por el exponente, se le eleva su concentración (expresión matemática). La constante de velocidad “k” es un valor característico de la reacción que indica su velocidad bajo condiciones específicas.

Para el caso de reacciones de un solo reactivo y de orden n, la expresión de la velocidad de reacción puede ser escrita:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^n$$

Según Labuza y Riboh (1982), citado por Ayala (2012), la pérdida de la calidad alimenticia para la mayoría de los alimentos puede ser representada por una ecuación matemática de la siguiente forma:

$$\pm \frac{dA}{d\Theta} = kA^n$$

Dónde:

**A:** Factor de Calidad medido

**Θ:** Tiempo

**k:** Constante que depende de la temperatura y la actividad del agua.

**n:** Factor de potencia conocido como “orden de reacción”, determina la dependencia de la velocidad de reacción con respecto a la concentración del reactivo A.

**± dA/dΘ:** Cambio de velocidad de A con respecto al tiempo.

La convención de signos permite distinguir entre dos tipos de deterioro: el signo negativo se asocia a la disminución o pérdida de atributos deseables, como nutrientes o características organolépticas, mientras que en el signo positivo indica la formación de compuestos indeseados que degradan el producto.

Las pruebas de deterioro suelen proporcionar datos sobre la cantidad de un atributo A en función del tiempo, más que una medida directa de la velocidad de cambio. Para determinar la tasa de degradación, es necesario representar gráficamente estos datos y analizar la pendiente de la curva resultante.

## Orden de reacción

El orden aparente de reacción se determina asumiendo distintos valores de “n” (0, 1 y superiores) y se verifica su ajuste a los datos experimentales mediante un gráfico o una regresión lineal de las ecuaciones correspondientes. Sí el experimento tuvo una conversión mínima del 50% (preferentemente 75%), podemos determinar fácilmente el orden de reacción que mejor se adapta a los datos, en la mayoría de los casos, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal es un criterio suficiente para este análisis; en la mayoría de los casos un alimento que se ha estudiado se ha caracterizado como pseudo-ceros (velocidad constante de deterioro) o primer orden (velocidad exponencial de deterioro) (Ayala, 2012).

### a. Orden cero

Según Torres (2003), citado por Ayala (2012), un atributo de calidad A experimenta una degradación lineal a lo largo del tiempo de almacenamiento. La tasa de disminución de este atributo se mantiene constante y no se ve influenciada por su concentración inicial. Esta observación, respaldada por numerosos estudios en el campo de los alimentos, indica que el proceso de deterioro sigue una cinética de orden cero, por lo que la ecuación cinética correspondiente, el valor de n se establece en cero:

$$-\frac{dA}{dt} = k \quad \text{Después de la integración resulta:} \quad A = A_0 - kt_s$$

Donde:

$A_0$ : Primer valor del atributo de calidad.

A: Valor del atributo transcurrido un periodo t.

Si al completarse su vida útil ( $t_s$ ) se alcanza un valor específico denotado como  $A_e$  del atributo de calidad, entonces:  $A_e = A_0 - kt_s$

Por lo tanto, la durabilidad  $t_s$  se puede, calcular como:

$$t_s = \frac{A_0 - A_e}{k}$$

Para Labuza y Riboh (1982), el orden de reacción de  $n = 0$  se aplica para los siguientes tipos de degradación:

- Degradación enzimática: Se observa en verduras y frutas frescas, alimentos congelados determinados.
- Degradación no enzimática: Ocurre en semillas o cereales deshidratados, lácteos, alimentos deshidratados de mascotas.
- Oxidación de lipídica: Provoca enranciamiento en productos como snacks, alimentos deshidratados y congelados y alimentos de mascotas.

Además, Labuza y Riboh (1982), mencionan que la gráfica de la pérdida de calidad vs el tiempo es lineal en coordenadas cartesianas ( $n = 0$ ), donde la pendiente es el valor de  $k$ .

### b. Primer orden

En muchos casos, la velocidad a la que se pierde calidad de un alimento no siempre es uniforme. A veces, la pérdida es rápida al principio y luego se ralentiza, y otras veces es más gradual. Esta variabilidad se describe mediante un valor llamado “orden de reacción”. Aunque muchos alimentos siguen un patrón más complejo donde la pérdida se vuelve cada vez más lenta con el tiempo (orden uno). Sin embargo, esto no implica que la vida útil de los alimentos que siguen este modelo sea mayor que la de aquellos con una velocidad constante, ya que el valor de la constante de velocidad “ $k$ ” también influye en la duración (Alvarado, 2016). Matemáticamente para  $n = 1$  la pérdida de velocidad es:

$$-\frac{dA}{dt} = kA \quad \text{aplicando la integración a la ecuación resulta:} \quad \ln \left[ \frac{A}{A_0} \right] = -kt$$

Donde:

A: Cantidad del atributo de calidad dado al tiempo  $t$ .

$t_s$ : Nivel específico (final) del atributo de calidad.

Se expresará  $A_e$  como la siguiente ecuación:

$$\ln \left[ \frac{A_0}{A_s} \right] = -kts \quad \text{o también:} \quad Ts = \frac{\left[ \ln \frac{A_0}{A_s} \right]}{k}$$

Labuza y Riboh (1982), mencionan las clases de descomposición que siguen  $n = 1$  son:

- Enranciamiento: Se observa en aceite de ensalada o vegetales secos.
- Crecimiento y muerte de microorganismo: Afecta a las carnes y pescados frescos (crecimiento) y a microorganismos durante el procesado de calor.

- Generación de sabores no deseados por acción microbiana: Ocurre en carne, pescado y aves.
- Pérdida considerable de compuestos vitamínicos: Se presenta en alimentos envasados y deshidratados.
- Deterioro marcado de la calidad de proteína: Afecta a los alimentos deshidratados.

Fenema (2000), menciona que conociendo la secuencia de reacciones, es posible extrapolar basándose en pocas medidas, mediante una correcta representación gráfica, los límites máximos permitidos de los índices evaluados al final de su vida establecida (Ayala, 2012).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de granos andinos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca, que se detalla a continuación:

- El proceso experimental del índice de estabilidad oxidativa (OSI) se realizó, en el laboratorio de microbiología molecular, código SL02LA02.
- El proceso experimental de la evaluación de energía de activación de oxidación, se realizó en el laboratorio microbiología molecular, código SL02LA02.
- El proceso experimental del análisis del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva con incorporación de antioxidantes naturales, se realizó en el laboratorio de microbiología molecular, código SL02LA02.

#### 3.2. Materiales y equipos

##### 3.2.1. Materia prima

- Semilla de uva (*Vitis vinífera*) variedad Moscatel de Alejandría (Italia).
- Semilla de uva (*Vitis vinífera*) variedad Quebranta.

##### 3.2.2. Materiales

- Pipetas (10 ml)
- Micropipetas (0 - 10  $\mu$ l) (100 - 1000  $\mu$ l)
- Termómetro
- Matraz Erlenmeyer (250 - 1000 ml)
- Tubos de reacción
- Tubos capilares
- Bureta (25 ml)

- Picnómetro (10 ml)
- Probetas (10 – 250 ml)
- Embudo (10 ml)
- Vasos de precipitado (100 – 500 ml)

### **3.2.3. Aditivos**

- Extracto de té verde 4076 HI (Sigma SA de CV, Estado de México)
- Extracto de romero 4001 HI (Sigma SA de CV, Estado de México).

### **3.2.4. Reactivos**

- Agua destilada
- Agua de conducción estándar, Metrohm
- Aceite de silicona, Metrohm
- Hexano
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N
- Fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) al 1%
- Etanol neutralizado al 95°
- Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)
- Cloroformo (CHCl<sub>3</sub>)
- Tiosulfato de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5H<sub>2</sub>O) 0.1N
- Ioduro de potasio (KI)
- Solución de almidón al 1%

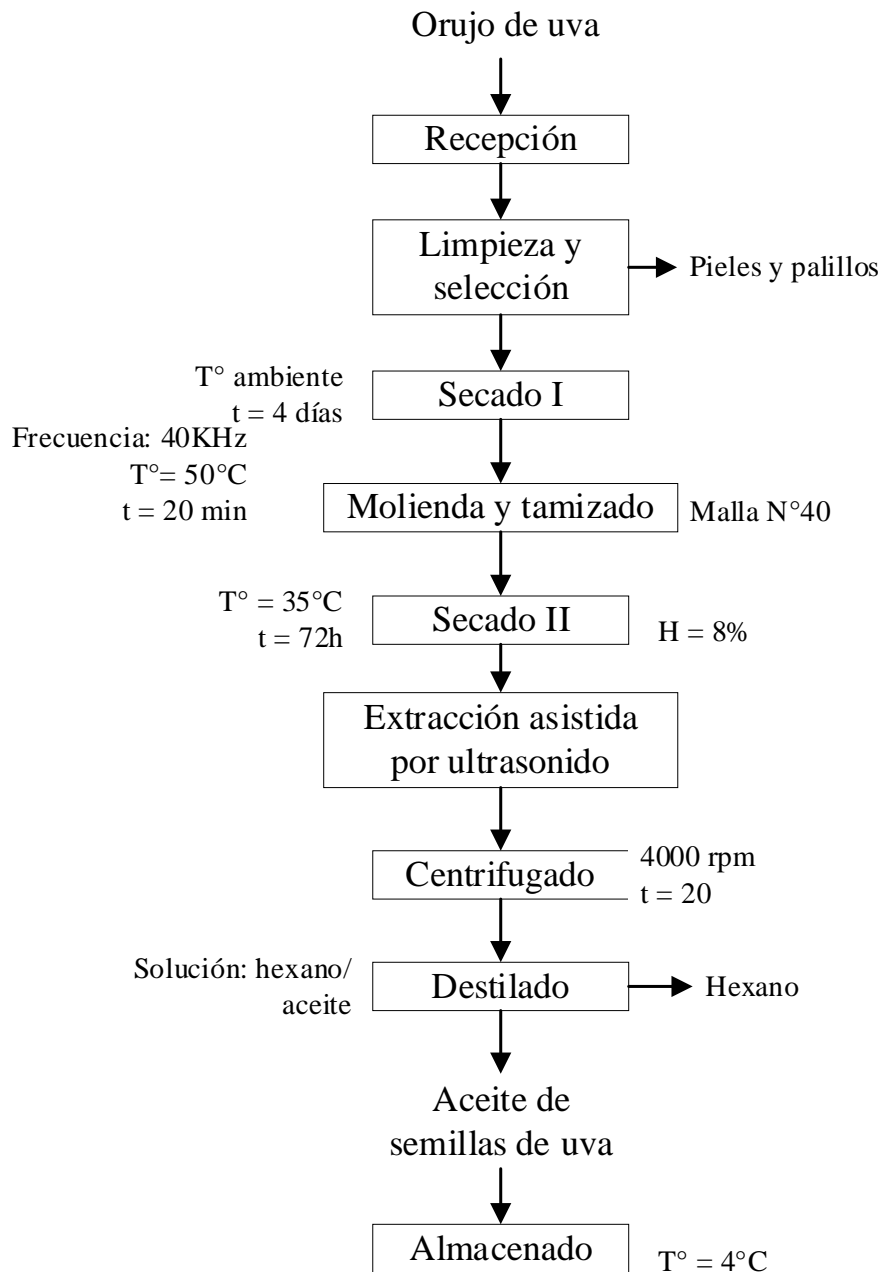
### **3.2.5. Equipos**

- Equipo Professional Metrohm Rancimat modelo 892
- Ultrasonido Bath, marca Branson, modelo M3800H – E
- Rotavapor, marca BOECO, modelo RVO 400 SD
- Estufa, marca memmert
- Balanza analítica, marca OHAUS
- Centrifuga marca eppendorf
- Molino, marca Goldenwall, modelo 105
- Plancha calefactora AGIMATIC ED-C
- Agitador vortex
- Refractómetro marca Krüss
- Colorímetro Precise Color Reader, modelo WR-10QC

### 3.3. Metodología experimental

#### 3.3.1. Extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*)

La figura 8 muestra el diagrama de flujo de la extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).



**Figura 8: Diagrama del proceso de extracción del aceite de semillas de uva.**

FUENTE: Adaptado de Spinella *et al.* (2015).

## **Descripción del proceso de extracción del aceite de semillas de uva.**

**Recepción:** Se recolectó el orujo de las diferentes variedades de la uva (*Vitis vinífera*): variedad Moscatel de Alejandría (Italia), variedad Quebranta del departamento de Moquegua.

**Limpieza y selección:** Se realizó la separación de las semillas del resto que no se requiera en el proceso como pieles, tallos y materiales extraños.

**Secado I:** Las semillas de uva seleccionadas se secaron a temperatura ambiente durante 4 días, con el fin de reducir su contenido de humedad.

**Molienda y tamizado:** Las semillas fueron molidas en un molinillo para reducir su tamaño, y luego tamizadas con una malla N°40 con el fin de homogeneizar el tamaño de las partículas y mejorar el proceso de extracción de aceite.

**Secado II:** Después del tamizado, se realizó el secado de las semillas molidas en una estufa a 30°C durante 72h, hasta reducir su humedad al 8%.

**Extracción asistida por ultrasonido:** Para cada proceso de extracción por ultrasonido se pesó 75 g de semillas molidas de uva el cual se le incorporo en un matraz Erlenmeyer y posteriormente se le agrego hexano a la muestra de semilla de uva en una proporción de 1:10 g/ml (muestra /solvente). La extracción se llevó a cabo en el ultrasonido a una frecuencia de 40KHz a una temperatura de 50°C durante 20 minutos.

**Centrifugado:** Una vez culminado el proceso de extracción se centrifugó la mezcla de solvente/soluto a 4000 rpm durante 20 minutos.

**Destilado:** La mezcla de aceite/hexano se destiló en un rotavapor para separar el hexano del aceite.

**Almacenado:** El aceite obtenido se almacenó en recipientes de vidrio oscuros cubiertos en papel aluminio a 4°C hasta su posterior uso.

### 3.3.2. Metodología experimental

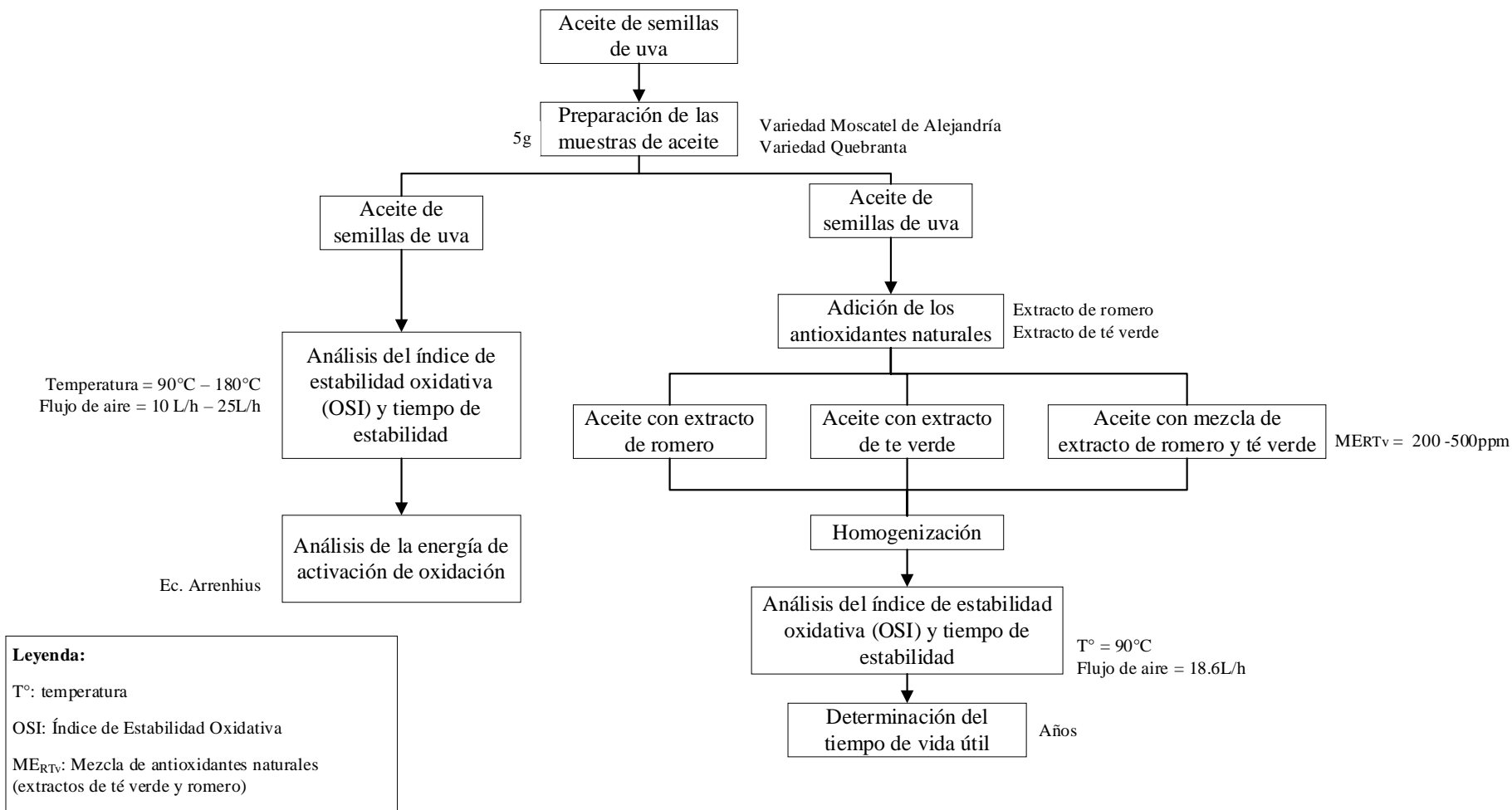


Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología experimental

### **Descripción de la metodología experimental:**

**Aceite de semilla de uva:** Una vez obtenida el aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) mediante extracción asistida por ultrasonido, este aceite se utilizó para la evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI).

**Preparación de las muestras de aceite:** Se agregó 5g de muestras de aceite en cada tubo de reacción del Rancimat.

**Análisis del OSI:** Los tubos de reacción con muestras de aceites se colocaron en el bloque de calentamiento del Rancimat a la temperatura y flujo de aire de análisis, según cada tratamiento. El aceite de semillas de uva fue evaluado de 90°C – 180°C con flujos de aire de 10L/h – 25L/h en el equipo Rancimat.

**Energía de activación:** Una vez obtenida los resultados del OSI del aceite de semillas de uva de ambas variedades (Moscatel de Alejandría y Quebranta) se determinó la energía de activación de oxidación por regresión lineal, para el cálculo se utilizó la ecuación de Arrhenius.

**Evaluación del aceite con adición de antioxidantes naturales:** Para la evaluación del aceite con adición de antioxidantes naturales, primeramente, se optimizó la respuesta de los resultados obtenidos del OSI sin antioxidantes, los parámetros obtenidos de temperatura y flujo de aire se tomaron como constante para la evaluación en el Rancimat (temperatura 90°C, flujo de aire de 18.6 L/h variedad Quebranta, 16.8 L/h variedad Moscatel de Alejandría).

**Preparación de muestras de aceite con adición de extracto de té verde:** Se preparó 5g de muestra de aceite en 3 tubos de reacción posteriormente se le agregó el extracto de té verde a concentraciones de 200, 350 y 500 ppm respectivamente, esto se realizó para cada variedad de aceite de semillas de uva (Moscatel de Alejandría y Quebranta).

**Preparación de muestras de aceite con adición de extracto de romero:** Se preparó 5g de muestra de aceite en 3 tubos de reacción posteriormente se le agregó el extracto de romero a concentraciones de 200, 350 y 500 ppm respectivamente, esto se realizó para cada variedad de aceite de semillas de uva (Moscatel de Alejandría y Quebranta).

**Preparación de las muestras de aceite con mezcla de los antioxidantes (extracto de té verde y romero):** Se agregó 5g de muestras de aceite en cada tubo de reacción posteriormente se le agregó la mezcla de extracto de té verde y romero en cada tubo de reacción a concentraciones de 200 a 500 ppm.

**Homogenización:** Las muestras de aceite con adición de los antioxidantes naturales se homogenizo cada tubo de reacción con un agitador vortex durante 3 minutos, posteriormente se procedió con la evaluación OSI de cada muestra.

**Análisis del OSI del aceite con incorporación de antioxidantes naturales:** La evaluación del OSI del aceite con adición de antioxidantes naturales se evaluó a 90°C con flujo de aire de 18.6 L/h para la variedad Quebranta y 16.8 L/h para la variedad Moscatel de Alejandría.

Una vez acondicionada el equipo Rancimat, se introdujo los tubos de reacción con las muestras preparadas de extracto de té verde, muestras de romero y los tubos con las muestras preparadas de la mezcla de los extractos de romero y té verde (antioxidantes naturales), al bloque de calentamiento del Rancimat, y se procedió con la evaluación del OSI (h).

**Tiempo de vida útil:** La vida del aceite de semillas de uva de ambas variedades (Moscatel de Alejandría y Quebranta) se determinó mediante la extrapolación del OSI a temperatura de 20°C.

### **3.4. Metodología por objetivos**

#### **3.4.1. Objetivo 1. Estimar el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) por el método Rancimat.**

##### **Variable independiente:**

Temperatura (min. 90°C, máx. 180°C)

Flujo de aire (min. 10 L/h, máx. 25 L/h)

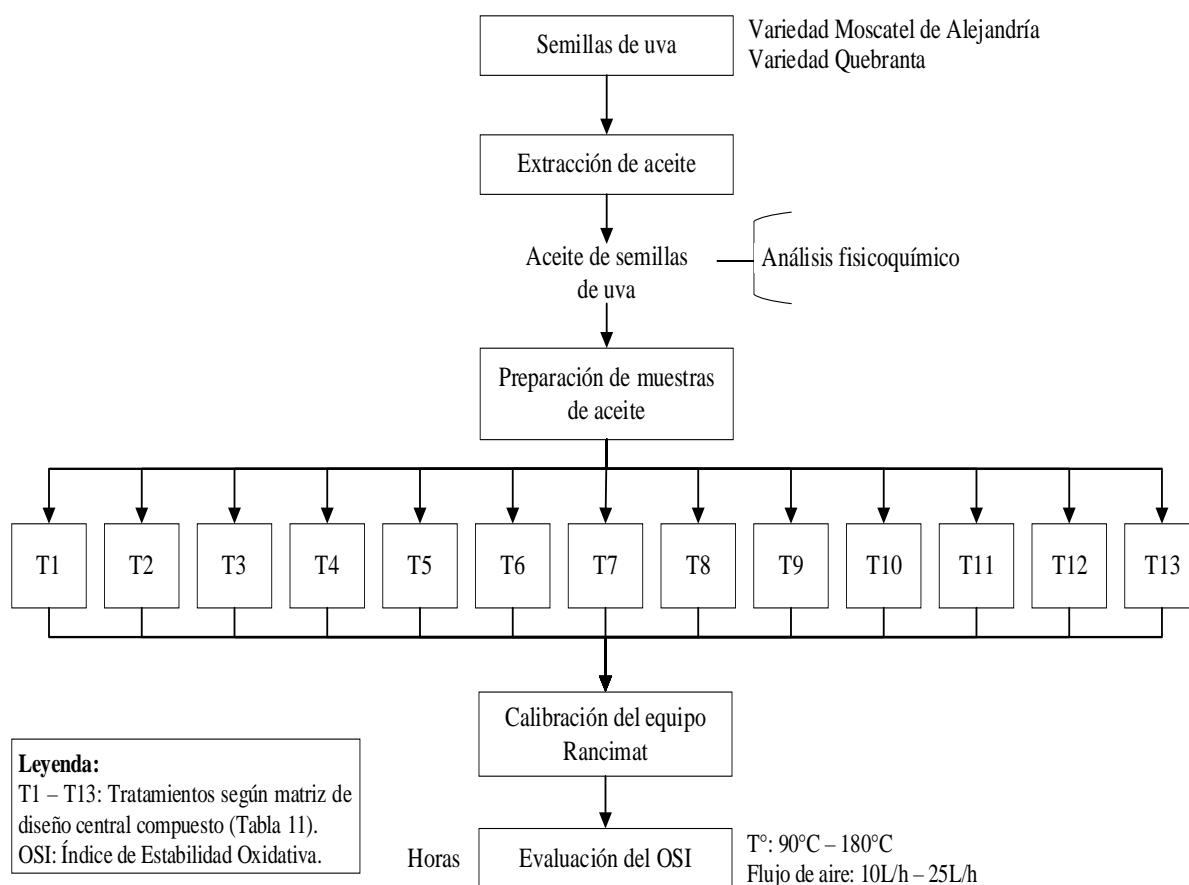
##### **Variable dependiente:**

Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) (periodo de inducción)

Tiempo de estabilidad

##### **Diagrama experimental**

La figura 10 muestra el diagrama experimental para la evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva.



**Figura 10: Diagrama experimental para la evaluación del OSI del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).**

### Descripción del diagrama experimental:

**Semillas de uva:** Se recolectaron y seleccionaron las semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y variedad Quebranta, las cuales se molieron en un molinillo para la extracción del aceite.

**Extracción del aceite:** El aceite de semillas de uva se obtuvo por extracción asistida por ultrasonido (ver Figura 8) con una frecuencia de 40Khz a una temperatura de 50°C por un tiempo de 20 minutos, el aceite obtenido se almacena a 4°C hasta su posterior uso.

**Preparación de muestras:** Las muestras de aceite se preparan en los tubos de reacción del Rancimat, a cada tubo de reacción se le agrega 5 gramos de aceite de semillas de uva.

**Calibración del equipo Rancimat:** La calibración del equipo Rancimat se realizó según los parámetros de temperaturas (90°C – 180°C) y flujos de aire (10 L/h – 25 L/h) que se muestra en la matriz del diseño central compuesto (ver Tabla 11), para este proceso se utilizó el agua de conductividad estándar (100µS/cm) y aceite de silicona el cual se agregó a un tubo de reacción (5g) y posteriormente se le introdujo el termómetro propio del equipo Rancimat, se colocó el tubo de reacción en una celda específica para el análisis y

se procedió con la corrección de temperatura, de esta manera se realizó la corrección de temperatura para cada celda.

**Evaluación del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI):** Para evaluar el índice de estabilidad oxidativa se utilizó el equipo Metrohm Rancimat modelo 892, Cd 12b-92 (AOCS, 2013), las muestras de aceite de semillas de uva preparadas en cada tubo de reacción se colocó en los respectivos bloques y se procedió con el análisis del OSI en el equipo Rancimat según la matriz del diseño central compuesto (Tabla 11) temperaturas de 90°C - 180°C con flujo de aire de 10 L/h – 25 L/h.

### Matriz de diseño

**Tabla 10: Parámetros de temperatura y flujo de aire de niveles mínimos y máximos para el diseño central compuesto (DCC).**

	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	90	180
Flujo de aire (L/h)	10	25

**Tabla 11: Matriz del diseño central compuesto (DCC).**

Tratamientos	Temperatura (°C)	Flujo de aire (L/h)
T1	103.2	12.2
T2	166.8	12.2
T3	103.2	22.8
T4	166.8	22.8
T5	90.0	17.5
T6	180.0	17.5
T7	135.0	10.0
T8	135.0	25.0
T9	135.0	17.5
T10	135.0	17.5
T11	135.0	17.5
T12	135.0	17.5
T13	135.0	17.5

## Diseño estadístico

Para el objetivo de investigación se empleó el método superficie de respuesta mediante el diseño central compuesto (DCC) con puntos axiales y se utilizó el siguiente modelo cuadrático:  $y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \epsilon$ , donde  $y$  es la variable de respuesta,  $x$  son las variables de entrada,  $\beta$  son los coeficientes del modelo y  $\epsilon$  es el término de error experimental (Tabla 11), con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . los datos fueron analizados mediante el software Minitab.

Modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \beta_{pp} X_p^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \epsilon$$

Donde:

Y: Variable de respuesta

$\beta_0$ : Intercepto

$\beta_1, \beta_2, \dots$ : Coeficientes de los efectos lineales

$\beta_{11}, \beta_{22}, \dots$ : Coeficientes de los efectos cuadráticos

$\beta_{12}, \dots$ : Coeficientes de las interacciones

$X_1, X_2, \dots$ : Variables independientes (factores)

$\epsilon$ : Error aleatorio

## Método de análisis para el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva

Para este análisis se siguió la Metodología AOCS Cd 12b-92, Metrohm Rancimat modelo 892 (AOCS, 2013). A continuación, se muestra los pasos a seguir detalladamente:

- a) Extracción del aceite (semillas de uva)
  - El aceite de semillas de uva se extrajo asistida por ultrasonido, las muestras de aceite una vez extraída se almacenaron en refrigeración en botellas color ámbar de vidrio a 4°C.
- b) Preparación del equipo Rancimat
  - Limpieza: Se limpiaron a fondo todos los componentes del equipo Rancimat, especialmente los tubos de reacción y las células de conductividad, antes de cada

análisis se enjuagaron los tubos de reacción con agua destilada y fueron secados en estufa a 80°C. Así mismo los electrodos, los tubos de conexión y los recipientes de medición se limpiaron con alcohol y agua deshilada y se soplaron con nitrógeno.

- Ensamblaje: Se ensamblaron todos los componentes del Rancimat según las instrucciones del fabricante.
  - Calibración: Se verificó que el equipo este calibrado correctamente, especialmente a las temperaturas de análisis (90°C – 180°C) y flujo de aire (10L/h – 25L/h).
- c) Colocación de los tubos de reacción con muestras de aceites en el equipo Rancimat
- Pesado: Se tomo un tubo de reacción limpio y seco, se le llevo a una balanza analítica y se taro el peso del tubo de reacción. Con la ayuda de una micropipeta se tomó una cantidad de aceite y se fue añadiendo al tubo de reacción hasta tener 5 gramos de muestra de aceite en el tubo de reacción.
  - Colocación de la muestra en el equipo Rancimat: Se introdujo el tubo de reacción preparada con la muestra en el bloque de calentamiento del Rancimat a la temperatura de análisis.
- d) Establecimiento de las condiciones de análisis en el equipo Rancimat
- Temperatura: Se selecciono la temperatura de análisis según el tratamiento a evaluar (90°C a 180°C).
  - Flujo de aire: Se estableció el flujo de aire según el tratamiento a evaluar (10L/h a 25L/h).
  - Tiempo de análisis: Se programó el tiempo máximo de análisis, esto varía dependiendo de la estabilidad del aceite (puede variar desde 0.5h hasta 24h).
- e) Inicio de la evaluación del OSI en el equipo Rancimat
- Arranque del equipo: Se inició el equipo Rancimat y el mismo equipo comienza a registrar los datos.
  - Monitoreo: El equipo Rancimat monitorea continuamente la conductividad de la solución mediante el software StabNet, registrando los datos de cambios de conductividad cada 2 minutos, la conductividad aumenta a medida que se forman compuestos volátiles por la oxidación.

f) Resultados de la evaluación del OSI

- Punto de inflexión: El análisis finalizó cuando se alcanzó el punto de inflexión (periodo de inducción) en la curva de conductividad, lo que indica el inicio de la oxidación acelerada (tiempo de estabilidad).
- Cálculo del OSI: El equipo Rancimat calcula automáticamente mediante el software StabNet, el OSI representa el tiempo transcurrido hasta alcanzar el punto de inflexión.

**3.4.2. Objetivo 2. Evaluar la energía de activación de oxidación termodinámicamente del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).**

**Variable independiente:**

Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI): Resultados obtenidos del objetivo 1

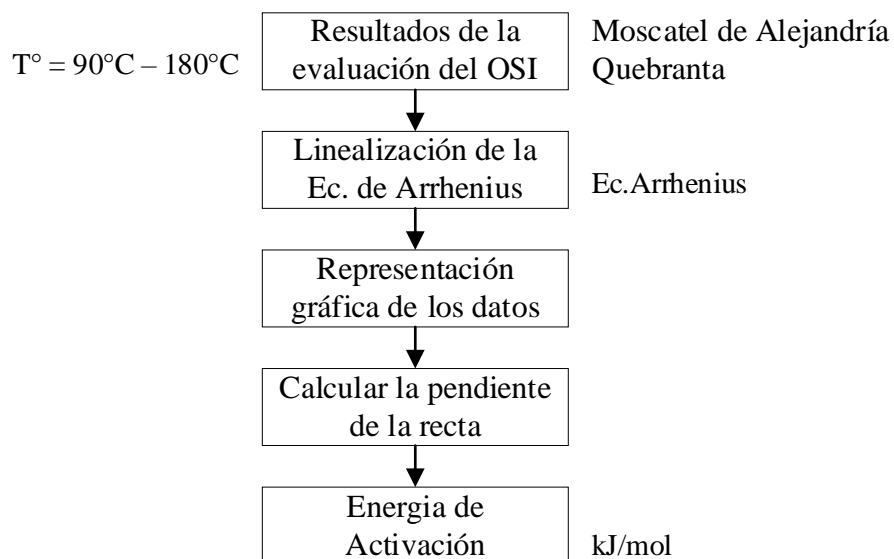
Temperatura (90°C – 180°C)

**Variable dependiente:**

Energía de activación (kJ/mol)

**Diagrama experimental**

La figura 11 muestra el diagrama experimental del análisis de energía de activación de oxidación.



**Figura 11: Diagrama experimental del análisis de la energía de activación de oxidación.**

## Descripción del diagrama experimental de la Ea de oxidación del aceite de semillas de uva.

- **Resultados de la evaluación del OSI:** Una vez obtenidos los resultados del OSI del objetivo 1, estos valores se transformaron a logaritmo natural, y la temperatura de evaluación se transformó a la inversa en grados kelvin.
- **Linealización de la ecuación de Arrhenius:** Se procedió a linealizar la ecuación de Arrhenius como se muestra a continuación:

Ecuación de Arrhenius sin linealizar:

$$K = A_0 * e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Ecuación de Arrhenius linealizado:  $\ln(k) = \ln(A) - (E_a/R) * (1/T)$

Esta ecuación tiene forma de una recta ( $y = mx + b$ ) donde:

$$y = \ln(k)$$

$$m = -E_a/R \text{ (pendiente de la recta)}$$

$$x = 1/T$$

$$b = \ln(A)$$

- **Representación gráfica de los datos (OSI vs Temperatura) y obtención de la pendiente de la recta (m):** Se construyó el gráfico en el software Office (Excel) utilizando los valores del logaritmo natural del OSI (eje y) vs la inversa de la temperatura en grados Kelvin ( $1/T$ ) (eje x). Los puntos experimentales se ajustaron a una línea recta y con ello se obtuvieron la pendiente de la recta (m)
- **Energía de activación:** A partir del valor obtenido de la pendiente (m), se calcula la Energía de Activación de oxidación del aceite de semillas de uva, utilizando la relación:  $E_a = -m * R$ , (R = constante universal de los gases).

## Matriz de diseño

**Tabla 12: Matriz de diseño para el análisis de energía de activación.**

Tratamiento	Temperatura (1/°K)	Ln del índice de estabilidad oxidativa (OSI)	Energía de activación de oxidación
M1	0.002658	DATOS DEL OBJETIVO 1 (RESULTADOS)	
M2	0.002274		
M3	0.002658		
M4	0.002274		
M5	0.002755		
M6	0.002208		
M7	0.002451		
M8	0.002451		
M9	0.002451		
M10	0.002451		
M11	0.002451		
M12	0.002451		
M13	0.002451		

### Método de análisis para el análisis de la energía de activación de oxidación

La energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva (variedad Quebranta y Moscatel de Alejandría) se determinó a partir de los resultados obtenidos del índice de estabilidad oxidativa del objetivo 1, mismo que se muestra en la tabla 11.

- Los datos del índice de estabilidad oxidativa (OSI) obtenidos en el objetivo 1 se transformaron a logaritmo natural (Ln) y la temperatura se transformó a la inversa en grados kelvin (1/°K) y con estos datos se realizó la gráfica en el software office (Excel).
- A partir de la pendiente de la recta que resultó al graficar el logaritmo natural de los valores del OSI (eje y) contra el inverso de la temperatura absoluta (eje x) y conociendo el valor de la constante universal de los gases (R), se calculó la energía de activación de oxidación utilizando la ecuación de Arrhenius (Eudes Villanueva *et al.*, 2013).

$$K = A_0 * e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Donde:

**K:** Velocidad de reacción constante.

**A<sub>0</sub>:** Factor pre-exponencial o constante de Arrhenius.

**R:** Constante de los gases universales, equivalente a 8,314 KJ/mol.

**T:** Temperatura absoluta en Kelvin.

**E<sub>a</sub>:** Energía de activación.

Aplicando logaritmo neperiano a la ec. Anterior:

$$\ln(K) = \ln A_0 - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

### 3.4.3. Objetivo 3. Evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) añadiendo antioxidantes naturales.

#### Variable independiente:

Antioxidantes naturales:

Extracto de romero (200 ppm – 500 ppm)

Extracto de té verde (200 ppm – 500 ppm)

#### Variable dependiente:

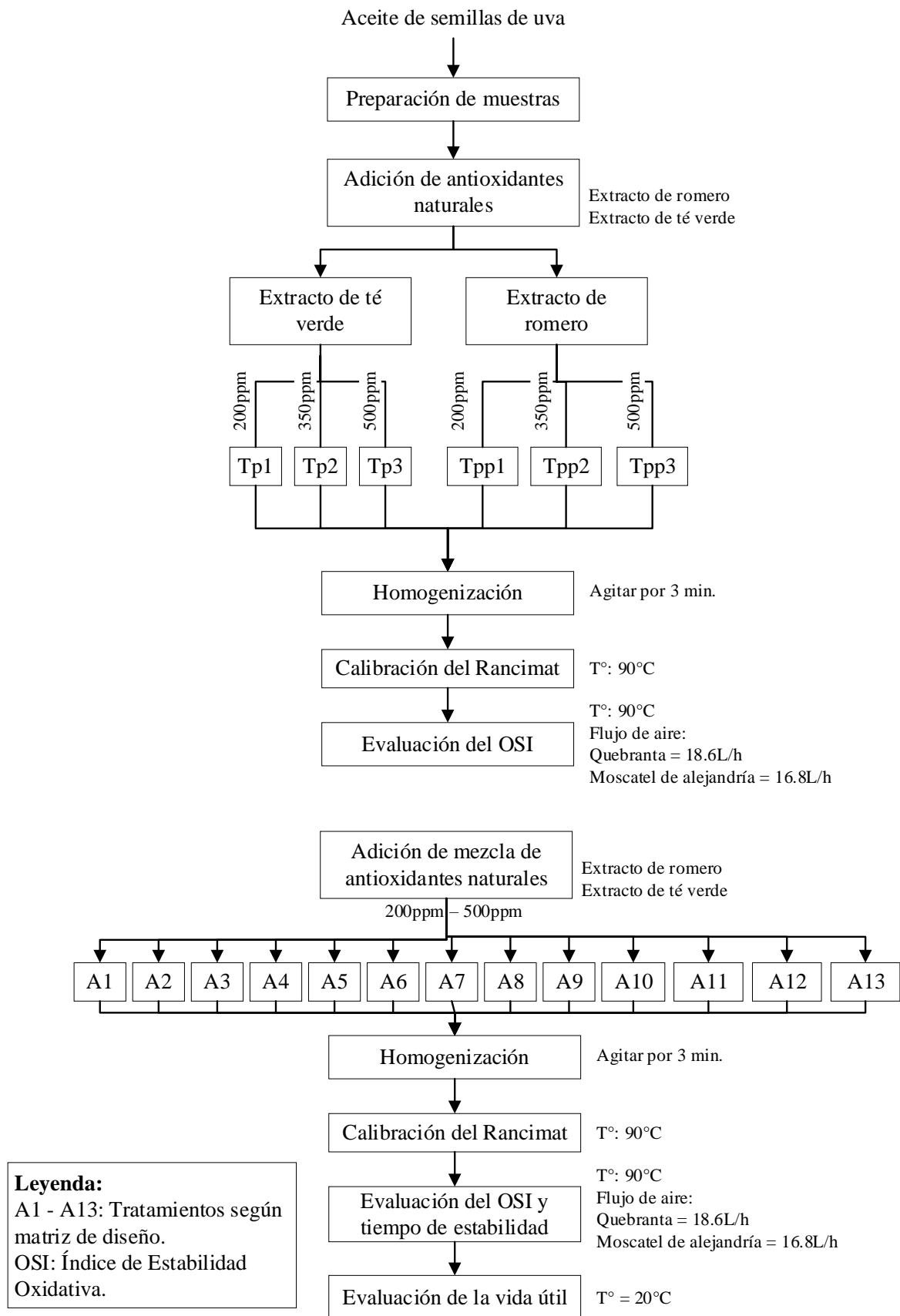
Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)

Tiempo de estabilidad (h)

Tiempo de vida útil (años)

#### Diagrama experimental

La figura 12 muestra el proceso del diagrama experimental para la evaluación del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales.



**Figura 12: Diagrama experimental para la evaluación del tiempo de vida útil.**

### **Descripción del diagrama experimental para evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva añadiendo antioxidantes naturales:**

- **Aceite de semillas de uva:** El aceite se obtuvo mediante extracción asistida por ultrasonido, el cual se mantuvo refrigerado a 4°C hasta su posterior uso.
- **Preparación de muestras:** Las muestras de aceite se preparan en los tubos de reacción del Rancimat, en cada tubo de reacción se agregó 5g de aceite.
- **Adición de cada antioxidante natural de manera individual:** Para la evaluación de los antioxidantes naturales de manera individual, en los tubos de reacción previamente agregados con muestras de aceite (6 muestras) se le agregó los antioxidantes naturales de forma individual, a 3 tubos se le agregaron extracto de romero y a los 3 tubos se le agregaron extracto de té verde a concentraciones de 200, 350 y 500 ppm respectivamente (ver Tabla 15). Se realizó el mismo procedimiento para cada variedad de aceite de semillas de uva.
- **Mezcla de los antioxidantes naturales:** A las muestras de aceites preparadas en cada tubo de reacción se le agrego ambos antioxidantes naturales que son los extractos de romero y té verde a concentraciones de 200ppm – 500ppm, todas las adiciones de los antioxidantes se realizaron según la matriz del diseño central compuesto (ver Tabla 14).
- **Homogenización:** Una vez preparadas todas las muestras de aceites con adición de antioxidantes naturales se homogenizo la mezcla con un agitador vortex por 3 min.
- **Calibración del equipo Rancimat:** La calibración del equipo Rancimat se realizó a 90°C, para este proceso se utilizó el agua de conductividad estándar (100µS/cm) y aceite de silicona el cual se agregó a un tubo de reacción (5g) y posteriormente se le introdujo el termómetro propio del equipo Rancimat, se colocó el tubo de reacción en una celda específica para el análisis y se procedió con la corrección de temperatura, de esta manera se realizó la corrección de temperatura en cada bloque.
- **Evaluación del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI):** Para evaluar el OSI se utilizó el equipo Metrohm Rancimat modelo 892, Cd 12b-92 (AOCS, 2013), las muestras de aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales que se prepararon en cada tubo de reacción se colocaron en los respectivos bloques de calentamiento y se procedió con el análisis del OSI en el equipo Rancimat a 90°C con flujo de aire de 16.8L/h (variedad Moscatel de Alejandría) y 18.6L/h (variedad Quebranta).

- **Periodo de inducción y tiempo de estabilidad (OSI):** Una vez culminada la oxidación acelerada del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales, el equipo Rancimat muestra los resultados del OSI como periodo de inducción y tiempo de estabilidad, medida en horas.
- **Evaluación de vida útil:** Se determinó la vida útil del aceite por extrapolación del OSI a una temperatura de 20°C, que se ajusta al modelo de Arrhenius obtenido en el método Rancimat.

### Matriz de diseño

**Tabla 13: Parámetros de los antioxidantes naturales, niveles mínimos y máximos de la concentración (ppm) de antioxidantes naturales.**

Antioxidantes	Mínimo	Máximo
Extracto de romero (ppm)	200	500
Extracto de té verde (ppm)	200	500

FUENTE: Adaptado de Mamani (2022).

**Tabla 14: Matriz del diseño central compuesto (DCC) para la evaluación de la mezcla de extractos (antioxidantes naturales).**

Tratamientos	Extracto de romero (ppm)	Extracto de té verde (ppm)
A1	243.93	243.93
A2	456.07	243.93
A3	243.93	456.07
A4	456.07	456.07
A5	200.00	350.00
A6	500.00	350.00
A7	350.00	200.00
A8	350.00	500.00
A9	350.00	350.00
A10	350.00	350.00
A11	350.00	350.00
A12	350.00	350.00
A13	350.00	350.00

## Diseño estadístico

Para el objetivo de investigación se empleó el método superficie de respuesta mediante el diseño central compuesto (DCC) con puntos axiales y se utilizó el siguiente modelo cuadrático:  $y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \epsilon$ , donde  $y$  es la variable de respuesta,  $x$  son las variables de entrada,  $\beta$  son los coeficientes del modelo y  $\epsilon$  es el término de error experimental (Tabla 11), con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . los datos fueron analizados mediante el software Minitab.

Modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \beta_{pp} X_p^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \epsilon$$

Donde:

Y: Variable de respuesta

$\beta_0$ : Intercepto

$\beta_1, \beta_2, \dots$ : Coeficientes de los efectos lineales

$\beta_{11}, \beta_{22}, \dots$ : Coeficientes de los efectos cuadráticos

$\beta_{12}, \dots$ : Coeficientes de las interacciones

$X_1, X_2, \dots$ : Variables independientes (factores)

$\epsilon$ : Error aleatorio

Para la evaluación de los extractos de manera individual (extracto de romero y extracto de té verde) se empleó el diseño completamente al azar (DCA) (Tabla 14). Se realizó el análisis estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) balanceado.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$ : Observación de la variable respuesta.

$\mu$ : Media general.

$\alpha_i$ : Influencia del  $i$ -ésimo nivel.

$\epsilon_{ij}$ : Error experimental correspondiente a la observación  $ij$ -ésima de la variable experimental.

## Matriz de diseño

**Tabla 15:** *Matriz del diseño completamente al azar (DCA) para la evaluación de los extractos de manera individual.*

Tratamientos	Antioxidante natural (extractos)	Concentración (ppm)
Tp1	Romero	200
Tp2	Romero	350
Tp3	Romero	500
Tpp1	Té verde	200
Tpp2	Té verde	350
Tpp3	Té verde	500

## Método de análisis para evaluar el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva añadiendo antioxidantes naturales.

Para este análisis se utilizó la metodología AOCS Cd 12b-92, Metrohm Rancimat modelo 892 (AOCS, 2013), los pasos a seguir se muestra a continuación:

- a) Extracción de la muestra de aceite de semillas de uva
  - El aceite de semillas de uva se extrajo asistida por ultrasonido, las muestras de aceite una vez extraída se almacenaron en botellas de vidrio color ámbar en refrigeración a 4°C hasta su posterior uso.
- b) Preparación del equipo Rancimat
  - Limpieza: Se limpiaron a fondo todos los componentes del equipo Rancimat, especialmente los tubos de reacción y las células de conductividad, antes de cada análisis se enjuagaron los tubos de reacción con agua destilada y se secaron en estufa a 80°C. Así mismo, los electrodos, los tubos de conexión y los recipientes de medición se limpiaron con alcohol y agua deshilada y se soplaron con nitrógeno.
  - Ensamblaje: Se ensamblaron todos los componentes del Rancimat según las instrucciones del fabricante.
  - Calibración: Se verificó que el equipo este calibrado correctamente, especialmente a las temperaturas de análisis (90°C) y flujo de aire (18.6L/h Quebranta y 16.8L/h Moscatel de Alejandría).

- c) Colocación de los tubos de reacción con muestras de aceites en el equipo Rancimat
- Pesado: Se tomó un tubo de reacción limpio y seco, se le llevo a una balanza analítica y se taro el peso del tubo de reacción. Con la ayuda de una micropipeta se tomó una cantidad de aceite y se fue añadiendo al tubo de reacción hasta tener 5 gramos de muestra de aceite en el tubo de reacción.
  - Incorporación de los antioxidantes naturales (Extracto de té verde y romero): Con la ayuda de una micropipeta P2 (0.2 – 2uL) se tomó una pequeña cantidad de los extractos esto según la matriz de los tratamientos de la tabla 14 y se le añadió a cada muestra de aceite.
  - Colocación de la muestra en el equipo Rancimat: Se introdujo el tubo de reacción preparada con la muestra en el bloque de calentamiento del Rancimat a la temperatura de análisis.
- d) Establecimiento de las condiciones de análisis en el Rancimat
- Temperatura: La temperatura de análisis fue de 90°C, el cual se obtuvo mediante la optimización de respuesta del OSI del primer objetivo.
  - Flujo de aire: Se estableció el flujo de aire según la optimización de respuesta del OSI del primer objetivo, los cuales son 18.6 L/h (Quebranta) y 16.8L/h (Moscatel de Alejandría).
  - Tiempo de análisis: Se programó el tiempo máximo de análisis, esto varía dependiendo de la estabilidad del aceite.
- e) Inicio de análisis en el Equipo Rancimat
- Arranque del equipo: Se inició el equipo Rancimat y el mismo equipo comienza a registrar los datos.
  - Monitoreo: El equipo Rancimat monitorea continuamente la conductividad de la solución mediante el software StabNet, registrando los datos de cambios de conductividad cada 2 minutos, la conductividad aumenta a medida que se forman compuestos volátiles por la oxidación.
- f) Resultados de la evaluación del OSI en el Rancimat
- Punto de inflexión: El análisis finalizó cuando se alcanzó al punto de inflexión (periodo de inducción) en la curva de conductividad, señalando el inicio de la oxidación acelerada (tiempo de estabilidad).

- Cálculo del OSI: El equipo Rancimat calcula automáticamente mediante el software StabNet el OSI, que representa el periodo transcurrido hasta alcanzar el punto de inflexión (periodo de inducción).

**Determinación del tiempo de vida útil:** Extrapolación del OSI a 20°C.

Para estimar la vida útil del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta, previamente se realizó la evaluación del índice de estabilidad oxidativa (OSI).

- Análisis de datos: Con los resultados obtenidos del OSI (periodo de inducción) se procedió con la extrapolación a 20°C en el software StabNet.
- Cálculo de vida útil: El Rancimat calcula automáticamente la vida útil del aceite utilizando la siguiente ecuación.

Fórmula de Arrhenius para estimar el tiempo de vida útil:

$$t = A * \exp \left( B * \frac{1}{T} \right)$$

Donde:

t: Tiempo de vida útil (horas).

A: Coeficiente de regresión.

B: Coeficiente Arrhenius.

T: Temperatura en grados kelvin.

**Modelo cinético para identificar el orden de la reacción oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*):**

**Modelo de orden cero:**

Ecuación:  $\frac{dA}{dt} = -k$

Representación gráfica: concentración vs. tiempo: línea recta con pendiente negativa

**Modelo de primer orden:**

Ecuación:  $\frac{dA}{dt} = -kA$

Representación gráfica: Ln[A] vs tiempo: pendiente -k.

### **Modelo de segundo orden:**

$$\text{Ecuación: } \frac{dA}{dt} = -kA^2$$

Representación gráfica:  $1/[A]$  vs. tiempo: línea recta con pendiente  $k$ .

Donde:

A: valor del índice de calidad en el tiempo  $t$ .

A<sub>0</sub>: valor inicial del índice de calidad.

K: constante de velocidad.

## **3.5. Formulación de hipótesis**

### **3.5.1. Hipótesis general**

- El índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) es influido directamente por la temperatura, la adición de antioxidantes naturales (extracto de romero y extracto de té verde) a concentraciones de 200 – 500 ppm no prolongan significativamente el tiempo de vida útil del aceite bajo las condiciones experimentales evaluadas.

### **3.5.2. Hipótesis específicas**

- La temperatura tiene un efecto directo en el periodo de inducción del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).
- La determinación de la energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) puede lograrse a partir de los datos del periodo de inducción y la temperatura.
- La adición de antioxidantes naturales (extracto de romero y extracto de té verde) a concentraciones de 200 – 500 ppm no prolongan significativamente el periodo de inducción, tiempo de estabilidad y el tiempo de vida útil del aceite de semilla de uva (*Vitis vinífera*).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previo a la evaluación del OSI se realizó el análisis de la composición fisicoquímico (densidad, refracción, acidez y peróxidos) del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría y variedad Quebranta (ver Tabla 16).

**Tabla 16:** *Composición fisicoquímica del aceite de semillas de uva.*

Análisis	Moscatel de Alejandría	Quebranta	Unidad de medida
Densidad (18°C)	0.913	0.900	g/cm <sup>3</sup>
Índice de refracción (20°C)	1.473	1.468	N <sub>D</sub>
Acidez libre (ácido oleico)	0.19	0.17	%
Índice de acidez	0.37	0.34	Mg KOH/g grasa
Índice de peróxidos	0	0	MeqO <sub>2</sub> /kg

El aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta tuvo una densidad (18°C) de 0.90 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la densidad de la variedad Moscatel de Alejandría fue de 0.91 g/cm<sup>3</sup>, siendo un poco más densa que el aceite de la variedad Quebranta, estos valores se encuentran por debajo del rango de densidad relativa 0.920 – 0.926 a 20°C de la Norma del Codex para aceites de semillas de uva (Codex Alimentarius, 2023), las densidades de ambas variedades (Moscatel de Alejandría y Quebranta) son similares a la densidad del aceite de semilla de uva de la variedad Criolla Negra el cual fue 0.906 g/cm<sup>3</sup> (Mieres *et al.*, 2012), densidad del aceite de Vid Silvestre (*Vitis* spp) de Temascaltepec, México fue de 0.88 g/ml y la densidad de la vid comercial (*Vitis vinífera* L.) fue de 0.91 g/ml (Franco-Mora *et al.*, 2015).

La variedad Moscatel de Alejandría presentó un índice de refracción de 1.473N<sub>D</sub> y la variedad Quebranta presentó un índice de refracción de 1.468 N<sub>D</sub>, resultados que se encuentran dentro del rango del índice de refracción de la norma del Codex (1.467 – 1.477

$n_D$ ) a 40°C para aceites de semillas de uva (Codex Alimentarius, 2023), el aceite de semillas de uva de la variedad Criolla Negra tuvo un índice de refracción de 1.4732  $n_D$  a 25°C (Mieres *et al.*, 2012), el aceite de Amaranto presentó un índice de refracción de 1.472  $n_D$  (Zurita, Koller y Zabalaga, 2021).

Según Yousefi *et al.* (2013), señalan que a medida que un aceite se deteriora por oxidación, se forman moléculas más grandes y pesadas a partir de compuestos como los peróxidos, aldehídos y alcoholes. Esta formación de moléculas de mayor peso a partir de la interacción de estos compuestos contribuye al aumento tanto del índice de refracción como de la densidad del aceite.

El índice de refracción en aceites y grasas va aumentando conforme aumenta el grado de insaturación y el porcentaje de ácidos insaturados (MPA, 2010), según la tabla 16 el aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría (1.473  $n_D$ ) tiene un alto índice de refracción en comparación con la variedad Quebranta (1.468  $n_D$ ), Bailey (1961) menciona que el índice de refracción aumenta proporcionalmente a la longitud de las cadenas de hidrocarburos y el número de dobles enlaces de las cadenas.

El aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta presentó un índice de acidez de 0.34mg KOH/g de grasa, y el aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría tuvo un índice de acidez de 0.37mg KOH/g de grasa, los valores de acidez de ambas variedades de aceite de semillas de uva se encuentran por debajo del límite de acidez establecido por la Norma del CODEX para aceites refinados 0.6mg de KOH/g de grasa, límite máximo (Codex Alimentarius, 2023), estos valores son inferiores en comparación con la acidez del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta que fue de 0.82%, reportado por Barriga-Sánchez, Churata y Tinoco (2018), el cual superó el límite máximo de acidez establecido por la norma del Codex, puesto que es de la misma variedad de estudio, la diferencia puede deberse al método de extracción (soxhlet) que es muy prolongado y tiene un mayor contacto con el oxígeno o a la zona de cultivo, Zhang *et al.* (2023), menciona que cuanto más libres sean los ácidos grasos del aceite, mayor será el índice de acidez en caso de mala calidad. Así mismo en otras investigaciones, la acidez del aceite de semillas de uva de la variedad Criolla Negra fue de 65.36 mg KOH/g de grasa (Mieres *et al.*, 2012), encontrándose por encima del límite de la norma del Codex, mientras que la Vid silvestre (*Vitis spp*) de Temascaltepec, México presentó una acidez de 0.40%, y la Vid comercial (*Vitis vinífera*) tuvo una acidez de 0.07% (Franco-Mora *et*

*al.*, 2015), aceite de Girasol refinado 0.13% (Jorge *et al.*, 2005) encontrándose dentro del límite máximo de la norma Codex Alimentarius.

El índice de peróxido de los aceites de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría y de la variedad Quebranta presentaron 0 meq O<sub>2</sub>/kg, puesto que eran aceites recién extraídos, estos resultados son sostenidos por Farhoosh *et al.* (2009), menciona que, para aceites recién refinados, el índice de peróxido debe ser cercano o igual a cero y no debe superar los 0.5 meq O<sub>2</sub>/kg, además, no debe exceder el límite superior de 10 meq O<sub>2</sub>/kg establecido por Codex 210 (Codex Alimentarius, 2023), lo que refleja una buena calidad del aceite extraído por el método asistida por ultrasonido. En otras investigaciones el aceite de semillas de uva de la variedad Criolla Negra tuvo un índice de peróxido de 44 meq O<sub>2</sub>/kg reportado por Mieres *et al.* (2012), encontrándose por encima del límite máximo de la norma del Codex, esto puede ser debido al tipo de extracción (soxhlet) el cual tiene una extracción prolongada, el cual permitió que el aceite se oxide rápidamente y provocando que el hidroperóxido generado se descomponga gradualmente en aldehídos, cetonas y óxidos (Zhang *et al.*, 2023).

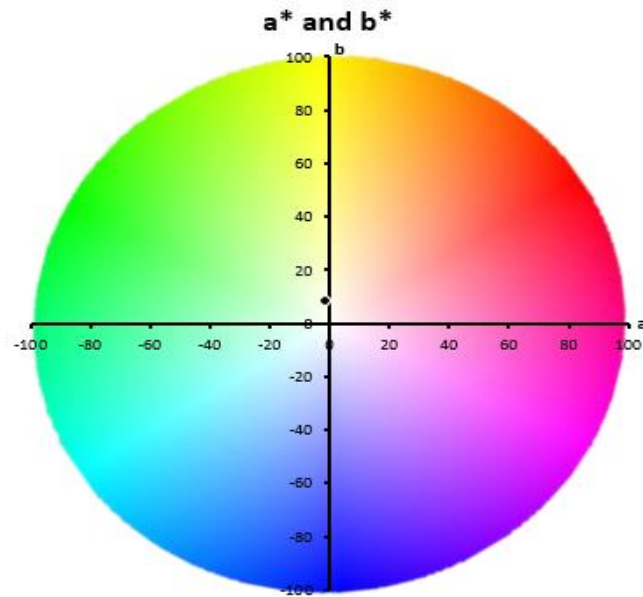
Warner y Nelsen (1996), clasificaron el nivel de oxidación de los aceites vegetales basada en la evolución del índice de peróxido, 3 – 5 meq O<sub>2</sub>/kg oxidación baja, 10 – 12 meq O<sub>2</sub>/kg oxidación moderada, 16 – 18 meq O<sub>2</sub>/kg oxidación alta, los aceites de semillas de uva de las diferentes variedades (Moscatel de Alejandría y Quebranta) estudiadas se encuentran en un nivel de oxidación baja puesto que no tuvieron presencia de peróxidos (0 meq O<sub>2</sub>/kg).

La tabla 17 muestra los resultados del análisis del color de los aceites de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta, se determinó con el colorímetro Precise Color Reader WR-10QC.

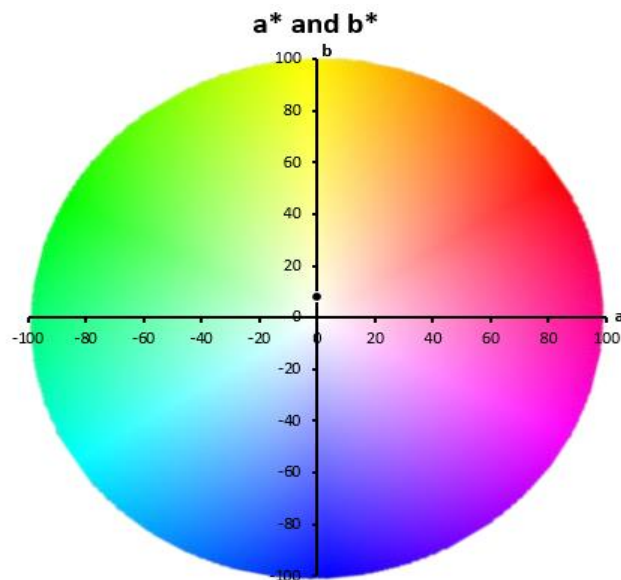
**Tabla 17: Espacio de color CIELab del aceite de semillas de uva.**

Análisis		Moscatel de Alejandría	Quebranta
Índice de color	L*	28.18	27.14
	a*	-0.76	0.24
	b*	8.01	7.96

En la figura 13, se puede observar el disco de color estándar CIELab del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría (a) y Quebranta (b).



(a)



(b)

**Figura 13: Disco de color estándar CIELab: (a) variedad Moscatel de Alejandría, (b) variedad Quebranta.**

El aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría presentó una luminosidad de  $L^* = 28.18$  siendo ligeramente más claro que el aceite de la variedad Quebranta  $L^* = 27.14$ , esto debido a que la variedad Quebranta posee mayor cantidad de pigmentos debido a su naturaleza. En cuanto a la posición entre rojo y verde la variedad Moscatel de Alejandría presentó  $a^* = -0.76$  tendiendo a un color verdoso y la posición

entre el color amarillo y azul fue  $b^* = 8.01$  tendiendo a un color amarillo oscuro, por tanto, el color del aceite Moscatel de Alejandría es amarillo oscuro ligeramente verdoso (ver Figura 13a) esto debido a su naturaleza de la uva Moscatel de Alejandría, mientras que la variedad Quebranta presentó  $a^* = 0.24$  tendiendo a un color rojizo y  $b^* = 7.96$  tendiendo a un color amarillo oscuro (ver Figura 13b), esto debido a que la variedad Quebranta posee compuestos antocianinas en mayor cantidad que la Moscatel de Alejandría dándole el color característico entre el rojo violeta (Kong *et al.*, 2003). Estos resultados son muy similares entre ambas variedades con una pequeña diferencia en la posición  $b^*$ , los resultados obtenidos en esta investigación son ligeramente más oscuros respecto al color del aceite de Moringa el cual presentó una luminosidad de  $L^* = 44.80$ ,  $a^* = -4.51$  y  $b^* = 18.87$  (Alberca y Huanca, 2015), al color del aceite de Sacha Inchi que tuvo una luminosidad de  $L: 77.73$ ,  $a^*: -0.43$  y  $b^* 42.1$ , siendo de un color amarillo dorado ligeramente verdoso, el aceite de Oliva tuvo una luminosidad de  $L: 84.47$ ,  $a^*: -1.75$  y  $b^*: 63.2$  encontrándose dentro del color amarillo dorado tendiendo al verde oscuro (Paucar-Menacho *et al.*, 2015). Según el Codex Alimentarius (2023), el color, olor y sabor de cada producto de aceite deben ser característicos al producto designado, que deben estar exento de olores y sabores extraños o rancios.

Según Ixtaina *et al.* (2012), el color de los aceites vegetales está asociado con el contenido total de pigmentos. En aceites de semillas de uva se determinaron las concentraciones de pigmentos como clorofilas y carotenoides totales, donde las clorofilas presentaron valores al alrededor de 90.8mg/kg, entre las muestras analizadas no se encontraron diferencias significativas, en cuanto a los carotenoides totales, sus concentraciones oscilaron entre 26.5 mg/kg y 26.7 mg/kg. La presencia de estos carotenoides resulta importante ya que además de influir en el color de los aceites algunos son precursores de la vitamina A (Navas, 2009).

#### **4.1. Análisis del índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) por el método Rancimat**

La tabla 18 muestra los resultados del índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva estimados a diferentes temperaturas y diferentes flujos de aire.

**Tabla 18: Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva.**

Tratamiento	Temperatura (°C)	Flujo de aire (L/h)	Variedad Moscatel de Alejandría		Variedad Quebranta	
			OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)	OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)
T1	103.2	12.2	7.76±0.03	9.60±0.1	8.90±0.02	11.36±0.1
T2	166.8	12.2	0.31±0.04	1.16±0.2	2.27±0.05	3.69±0.2
T3	103.2	22.8	7.37±0.02	9.61±0.1	8.92±0.02	20.91±0.1
T4	166.8	22.8	0.25±0.04	0.98±0.08	1.62±0.05	2.85±0.2
T5	90.0	17.5	19.97±0.02	22.87±0.1	24.81±0.03	27.28±0.1
T6	180.0	17.5	0.19±0.02	0.73±0.1	1.59±0.04	3.35±0.1
T7	135.0	10.0	0.88±0.03	2.10±0.09	1.19±0.02	2.31±0.2
T8	135.0	25.0	0.76±0.04	1.80±0.1	1.03±0.04	1.85±0.1
T9	135.0	17.5	0.81±0.05	2.37±0.1	1.05±0.02	2.12±0.2
T10	135.0	17.5	0.76±0.02	1.72±0.1	1.10±0.03	2.20±0.1
T11	135.0	17.5	0.73±0.03	1.76±0.09	1.11±0.03	2.06±0.2
T12	135.0	17.5	0.76±0.02	1.77±0.1	1.02±0.02	1.85±0.2
T13	135.0	17.5	0.79±0.03	1.82±0.08	1.16±0.02	2.23±0.2

En la tabla 18, se observa que a una temperatura de 90°C (T5) favoreció los mayores índices de estabilidad oxidativa en ambas variedades del aceite de semillas de uva. El aceite de la variedad Quebranta presentó mayor OSI  $24.81 \pm 0.03$  horas (T5), mientras que el OSI de la variedad Moscatel de Alejandría a las mismas condiciones de temperatura y flujo de aire fue de  $19.97 \pm 0.02$  horas, esta diferencia puede ser debido al contenido de ácidos grasos poliinsaturados y a la presencia de compuestos fenólicos, estos resultados son superiores al OSI del aceite de sacha inchi 4.6 h a 90°C y 20.5 h a 80°C (Rodríguez *et al.*, 2015), al aceite de chía que fue 6.16 h a 90°C (Villanueva *et al.*, 2017).

Latorre (2016), menciona que el tiempo de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva son elevadas debido a que en el fruto de la uva se encuentran gran cantidad de fenoles, en las uvas blancas se encuentran en la pulpa, mientras que, en los tintos, se liberan en la cáscara y las semillas, así mismo, Escamilla, Cuevas y Guevara (2009); Pérez (2003), mencionan que el compuesto fenólico actúa como antioxidante, que viene a ser el resultado de la combinación de muchas de sus propiedades como su capacidad quelante de hierro, secuestradora de radicales libres y la inhibición de las oxidasas lipooxigenasa, ciclooxigenasa, mieloperoxidasa y la xantina oxidasa, que en conjunto evitan “la formación de especies reactivas de oxígeno y de hidroperóxidos orgánicos” in vivo.

Los índices de estabilidad oxidativa más bajos se dieron a temperaturas elevadas, debido a que el aumento de temperatura incrementa la velocidad de oxidación, el aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría presentó un OSI de  $0.19 \pm 0.02$  h (T6), siendo el más bajo respecto al aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta que fue de  $1.02 \pm 0.02$  h, (T12), esto puede deberse a que las semillas de las variedades tintas contienen grandes cantidades de compuestos antioxidantes.

Bernal *et al.* (2003), menciona que los índices de estabilidad oxidativa bajos se deben al contenido de ácidos grasos insaturados ya que presentan más de una insaturación, donde se encuentran los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) que presentan menor estabilidad oxidativa que los ácidos grasos monoinsaturados. Así mismo, Lutterdt *et al.* (2011), menciona que el contenido de ácidos grasos insaturados en los aceites son determinantes en su estabilidad oxidativa, sin embargo, el OSI más bajo no siempre corresponde a los ácidos grasos poliinsaturados más altos, si no que intervienen otros factores, como el contenido de polifenoles y otros antioxidantes presentes en el aceite que contribuyen a la estabilidad oxidativa.

Matthäus (2008), señala que los polifenoles presentes en las semillas de uva exhiben propiedades antioxidantes al ser capaces de inactivar o retardar la velocidad de oxidación, presentando mayor compuestos antioxidantes en las semillas de variedades tintas (Passos *et al.*, 2010), tal es el caso de la variedad Quebranta y por tal razón presenta un mayor tiempo de inducción respecto a la variedad Moscatel de Alejandría (uva blanca). Velioglu *et al.* (1998), en su investigación encontraron que la actividad antioxidante de las cáscaras de girasol, que contenían casi un 10% de fenólicos de los cuales un 2,2% eran antocianinas, mostró una actividad muy alta, Los resultados confirman que las antocianinas poseen fuertes actividades antioxidantes (Wang *et al.*, 1997; Tsuda *et al.*, 1994a,b).

Las semillas de uva tienen compuestos antocianinas, se encuentran en mayor cantidad en las uvas que presentan un color característico entre el rojo violeta, estas antocianinas son antioxidantes muy eficaces y eliminan los radicales libres más potentes. En su investigación Zhang *et al.* (2023), encontraron que la extracción con ultrasonido de frecuencia de barrido (SFU) incrementa el contenido de antocianinas del aceite de semillas de uva (AGS) esto se debe a que el tiempo de extracción es menor y de esta forma se disminuye la degradación de estos compuestos respecto a otros métodos tradicionales de extracción.

En su investigación Farhoosh (2007b), determinó que las altas tasas de flujo de aire para muestras pequeñas de aceite, dan como resultado que se escape más aire de la muestra de aceite, que el que se utiliza para la oxidación de lípidos. En la investigación realizada se observó que los tratamientos T4 y T6 de la variedad Quebranta presentaron un ligero incremento en el tiempo de inducción respecto a los otros tratamientos, esto puede ser debido a que se sometieron a elevados flujos de aire (22.80 L/h – 25 L/h), influyendo de esta manera en el OSI del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta. Se observaron resultados similares en la investigación de Jebe *et al.* (1993), los cuales realizaron una evaluación de OSI a 100°C con un tamaño de muestra de aceite de 3 g, donde encontró que las tasas de flujo de aire de 10 y 15 L/h dio OSI similares, informó que una tasa de flujo de aire de 9 L/h fue suficiente para saturar continuamente la muestra de aceite de 3g con oxígeno durante el período de inducción.

Así mismo, Farhoosh (2007a) y Jebe *et al.* (1993), mencionan que el incremento de flujo de aire tiende a aumentar los valores de OSI, ya que a elevados flujos de aire es más difícil alcanzar una condición de saturación del oxígeno en la masa de aceite, por lo que muchas moléculas de O<sub>2</sub> no tienen el tiempo suficiente para disolverse en la matriz oleosa, reduciéndose por lo tanto la concentración efectiva de oxígeno que puede adicionarse a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, como resultado se extiende el tiempo de inducción (Farhoosh, 2007b).

En las tablas 19 y 20 se presenta el ANOVA del OSI con respecto a la temperatura y flujo de aire del aceite de semillas de uva (variedad Moscatel de Alejandría).

Según el análisis de varianza que se presenta en las tablas 19 y 20 del aceite de la variedad Moscatel de Alejandría, el OSI analizado con respecto a la temperatura y el flujo de aire, se puede observar que la variable temperatura fue muy significativo en el índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva, mientras que el flujo de aire no fue significativo en la oxidación del aceite, Velazco y Dobarganes (2002), mencionan que el flujo de aire no puede ser significativa debido al incremento de la temperatura, puesto que a elevadas temperaturas la solubilidad del oxígeno en la masa del aceite disminuye drásticamente.

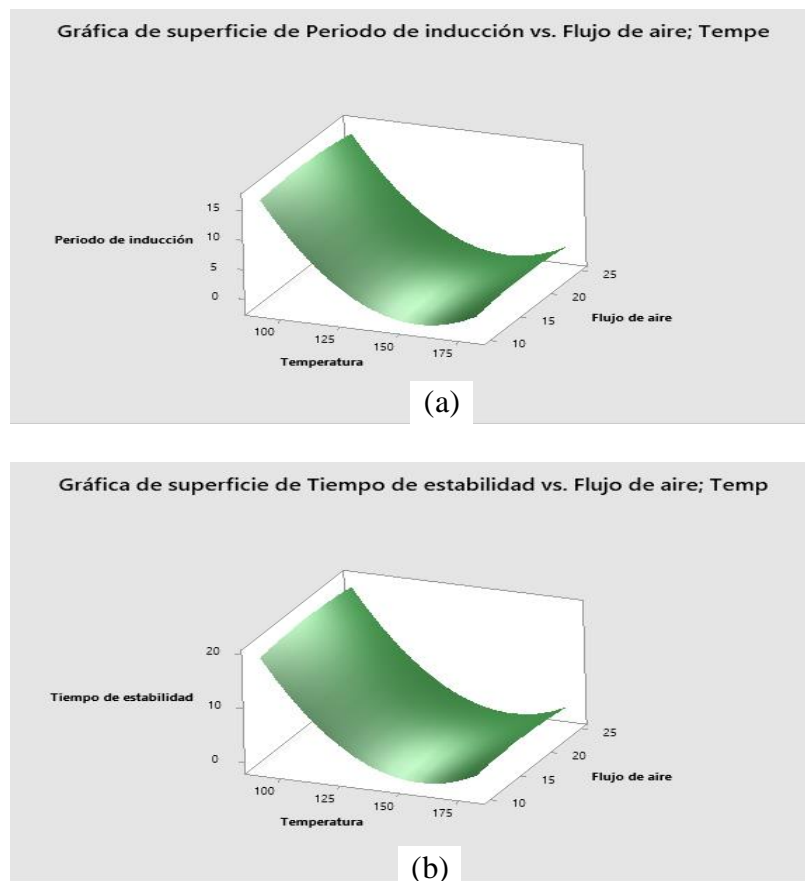
**Tabla 19: Análisis de Varianza del OSI vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Moscatel de Alejandría.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	359.254	71.851	18.53	0.001
Lineal	2	226.288	113.144	29.19	0.000
Temperatura	1	226.240	226.240	58.36	0.000
Flujo de aire	1	0.048	0.048	0.01	0.915
Cuadrado	2	132.938	66.469	17.15	0.002
Temperatura*Temperatura	1	127.023	127.023	32.77	0.001
Flujo de aire*Flujo de aire	1	0.886	0.886	0.23	0.647
Interacción de 2 factores	1	0.027	0.027	0.01	0.936
Temperatura*Flujo de aire	1	0.027	0.027	0.01	0.936
Error	7	27.136	3.877		
Falta de ajuste	3	27.132	9.044	9519.95	0.000
Error puro	4	0.004	0.001		
Total	12	386.389			

**Tabla 20: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Moscatel de Alejandría.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	444.412	88.882	20.48	0.000
Lineal	2	292.631	146.315	33.71	0.000
Temperatura	1	292.586	292.586	67.41	0.000
Flujo de aire	1	0.044	0.044	0.01	0.922
Cuadrado	2	151.772	75.886	17.48	0.002
Temperatura*Temperatura	1	145.390	145.390	33.50	0.001
Flujo de aire*Flujo de aire	1	0.869	0.869	0.20	0.668
Interacción de 2 factores	1	0.009	0.009	0.00	0.965
Temperatura*Flujo de aire	1	0.009	0.009	0.00	0.965
Error	7	30.381	4.340		
Falta de ajuste	3	30.086	10.029	135.76	0.000
Error puro	4	0.295	0.074		
Total	12	474.793			

La figura 14 muestra los gráficos de superficie de respuesta del OSI (periodo de inducción y tiempo de estabilidad) del aceite de semillas de uva (variedad Moscatel de Alejandría).



**Figura 14: Gráficos de superficie de respuesta: (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad (Moscatel de Alejandría).**

En los gráficos de la figura 14 (a) (b), se evidencia que el periodo de inducción y el tiempo de estabilidad del aceite de semillas de uva desciende con el incremento de la temperatura, mientras que en el flujo de aire (10L/h – 25L/h) permanece constante puesto que no hay una interacción significativa de esta variable con el periodo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de semillas de uva.

En las tablas 21 y 22 se presenta el ANOVA realizado del OSI con respecto a la temperatura y flujo de aire del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta.

Según el análisis de varianza que se presenta en las tablas 21 y 22 del OSI con respecto a la temperatura y el flujo de aire sobre la influencia en el aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta, podemos observar que la variable de temperatura influye significativamente en los valores del OSI del aceite de semillas de uva, mientras que el flujo de aire no es significativo en la oxidación del aceite.

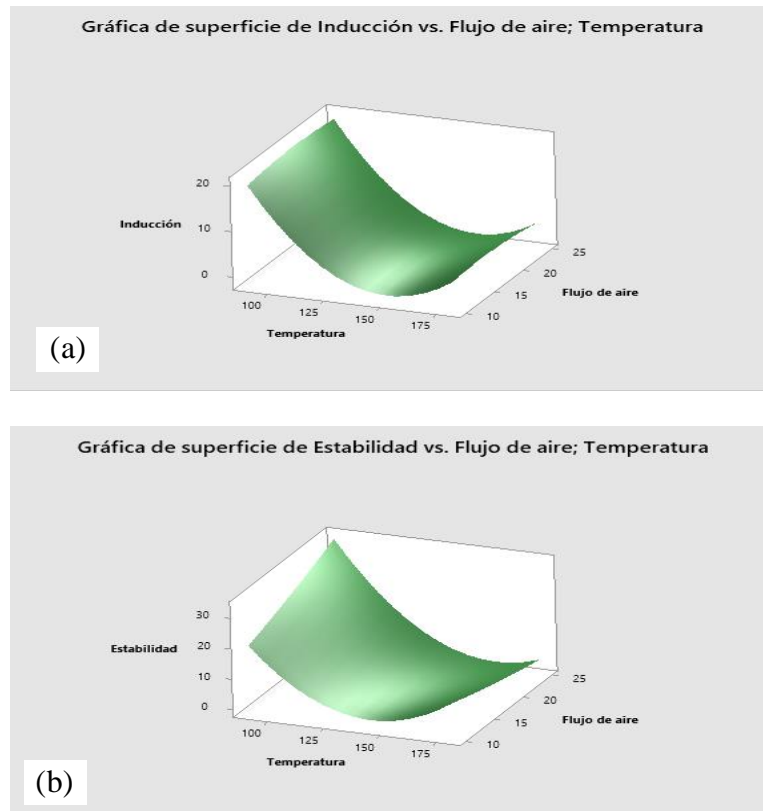
**Tabla 21: Análisis de Varianza del OSI vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Quebranta.**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	5	503.082	100.616	13.89	0.002
Lineal	2	273.498	136.749	18.88	0.002
Temperatura	1	273.406	273.406	37.76	0.000
Flujo de aire	1	0.092	0.092	0.01	0.914
Cuadrado	2	229.472	114.736	15.84	0.003
Temperatura*Temperatura	1	220.040	220.040	30.39	0.001
Flujo de aire*Flujo de aire	1	1.232	1.232	0.17	0.692
Interacción de 2 factores	1	0.112	0.112	0.02	0.904
Temperatura*Flujo de aire	1	0.112	0.112	0.02	0.904
Error	7	50.690	7.241		
Falta de ajuste	3	50.678	16.893	5687.78	0.000
Error puro	4	0.012	0.003		
Total	12	553.772			

**Tabla 22: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Temperatura; flujo de aire, variedad Quebranta.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	809.335	161.867	53.22	0.000
Lineal	2	451.724	225.862	74.26	0.000
Temperatura	1	443.605	443.605	145.86	0.000
Flujo de aire	1	8.119	8.119	2.67	0.146
Cuadrado	2	330.623	165.311	54.35	0.000
Temperatura*Temperatura	1	327.634	327.634	107.73	0.000
Flujo de aire*Flujo de aire	1	0.418	0.418	0.14	0.722
Interacción de 2 factores	1	26.988	26.988	8.87	0.021
Temperatura*Flujo de aire	1	26.988	26.988	8.87	0.021
Error	7	21.289	3.041		
Falta de ajuste	3	21.198	7.066	310.33	0.000
Error puro	4	0.091	0.023		
Total	12	830.624			

La figura 15 muestra los gráficos de superficie de respuesta del OSI (periodo de inducción y tiempo de estabilidad) del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta.



**Figura 15: Gráficos de superficie de respuesta: (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad (Quebranta).**

El gráfico de la figura 15 (a), se evidencia que el periodo de inducción del aceite de semillas de uva desciende con el incremento de la temperatura, el flujo de aire en la superficie permanece constante puesto que no hay una interacción significativa de esta variable con el periodo de inducción.

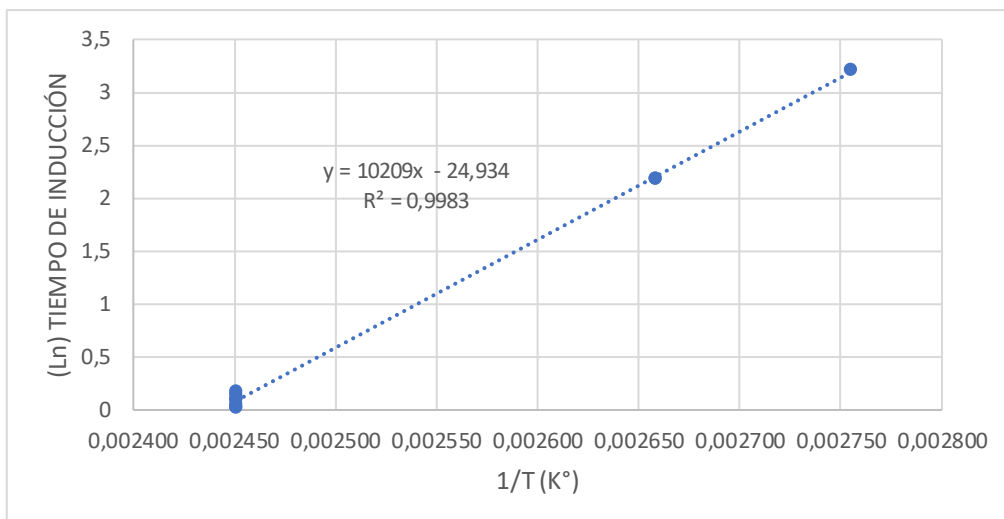
Mientras que en el gráfico de la figura 15 (b), se evidencia que el tiempo de estabilidad desciende a medida que aumenta la temperatura, mientras que el flujo de aire a 25L/h y una temperatura de 90°C tiende a incrementar el tiempo de estabilidad.

#### 4.2. Evaluación de la energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*)

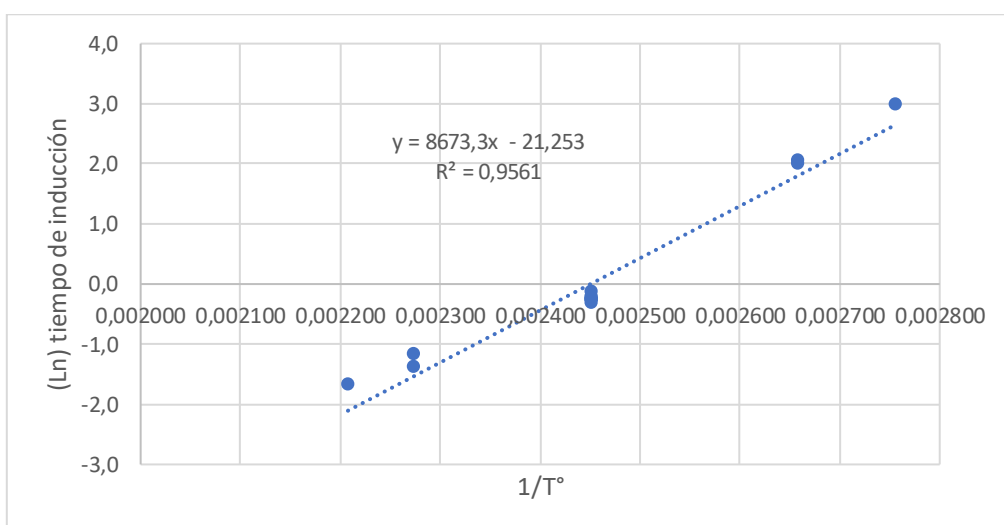
La tabla 24 muestra los valores de energía de activación de oxidación, determinados a partir de la pendiente de la recta generada al graficar los datos de la tabla 23, los valores de la  $E_a$  se calcularon usando la Ecuación de Arrhenius, (ver Figura 16 y 17).

**Tabla 23. Logaritmo natural del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva.**

Trat.	Temperatura (1/°K)	Variedad Moscatel de Alejandría	Variedad Quebranta
		Ln del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)	Ln del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)
M1	0.002658	2.0490	2.1861
M2	0.002274	-1.1712	0.8198
M3	0.002658	1.9974	2.1883
M4	0.002274	-1.3863	0.4824
M5	0.002755	2.9942	3.2112
M6	0.002208	-1.6607	0.4637
M7	0.002451	-0.1278	0.1740
M8	0.002451	-0.2744	0.0296
M9	0.002451	-0.2107	0.0488
M10	0.002451	-0.2744	0.0953
M11	0.002451	-0.3147	0.1044
M12	0.002451	-0.2744	0.0198
M13	0.002451	-0.2357	0.1484



**Figura 16:** Gráfico de linealización del OSI contra el inverso de la temperatura absoluta, variedad Quebranta.



**Figura 17:** Gráfico de linealización del OSI contra el inverso de la temperatura absoluta, variedad Moscatel de Alejandría.

**Tabla 24:** Energía de activación de oxidación del aceite de semillas de uva.

Variedad de semillas de uva	Pendiente	R <sup>2</sup>	Ea (J/mol)	Ea (kJ/mol)
Moscatel de Alejandría	8673.3	0.9561	72109.82	72.11
Quebranta	10209	0.9983	84877.63	84.88

La energía de activación del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría fue de 72.11 KJ/mol, y la energía de activación del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta fue de 84.88 KJ/mol, estos aceites estudiados presentan una energía de activación moderadamente baja, siendo inestables ante la oxidación acelerada, especialmente la variedad Moscatel de Alejandría, estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Torres (2000) y Vergara (2000), entre 41.842 KJ/mol a 104.605 KJ/mol, quienes señalan que la energía de activación para reacciones de oxidación de lípidos se encuentra dentro de ese rango. La energía de activación de los aceites de semillas de uva estudiadas son inferiores a la energía de activación del aceite de Moringa (105.938 KJ/mol) (Alberca y Huanca, 2015), al aceite de Sésamo 97.28, 98.78, y 96.86 KJ/mol con flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h (Villanueva *et al.*, 2013), pero fueron superiores a la energía de activación del aceite de Chía que fue 71.9 KJ/mol (Ixtaina *et al.*, 2012).

Adhvaryu *et al.* (2000), sugirió que la energía de activación es influida por el grado de poliinsaturación de aceites, donde la energía de activación es menor para aceites con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados, tal es caso de los aceites de semillas de uva, especialmente de la variedad Moscatel de Alejandría, ya que presentan en su composición elevados porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico (C18:2) que se encuentra en un rango de 58.0 – 78.0%.

El valor de la Energía de activación es de interés en la caracterización de los aceites debido a que es un indicador de la demora del proceso de oxidación inicial, debido a la escisión de la unión que tiene lugar para formar productos de oxidación primario (Farhoosh *et al.*, 2008).

#### **4.3. Evaluación del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*) añadiendo antioxidantes naturales**

En la tabla 25 se muestra los resultados del OSI (índice de estabilidad oxidativa) del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales de manera individual, extracto de té verde y extracto de romero, evaluados a 90°C con flujo de aire de 16.8 L/h (Moscatel de Alejandría) y 18.6 L/h (Quebranta), estos parámetros se obtuvieron a partir de la optimización de la respuesta del OSI (ver anexo 22 y 23).

**Tabla 25: Índice de estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales de manera individual (romero y té verde).**

Antioxidantes naturales	(ppm)	Moscatel de Alejandría		Quebranta	
		OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)	OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)
Aceite con	200	19.39±0.02	21.66±0.1	24.26±0.03	26.61±0.3
extracto de	350	19.35±0.03	22.31±0.1	24.43±0.02	27.06±0.2
romero	500	19.38±0.02	22.60±0.2	24.69±0.02	27.32±0.3
Aceite con	200	21.29±0.02	23.18±0.2	25.04±0.04	27.48±0.2
extracto de té	350	19.98±0.03	22.16±0.2	24.89±0.03	27.43±0.2
verde	500	19.93±0.02	23.16±0.1	22.69±0.05	25.14±0.1

El aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría y variedad Quebranta con adición de extracto de romero en una concentración de 200 ppm – 500 ppm no presentaron ningún aumento en el OSI respecto al aceite sin antioxidante (Moscatel de Alejandría = 19.97±0.02 h y Quebranta = 24.81±0.03 h). Mientras que la adición de extracto de té verde como antioxidante natural añadido al aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría y variedad Quebranta presentaron un ligero aumento del OSI a concentraciones de 200 ppm, 21.29±0.02 h, 25.04±0.04 h respectivamente.

**Tabla 26: Análisis de varianza del índice de estabilidad oxidativa vs. Antioxidantes naturales; concentración (ppm) del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.**

**Análisis de varianza del periodo de inducción.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Antioxidantes naturales	1	1.5811	1.5811	5.51	0.143
Concentración (ppm)	2	0.6166	0.3083	1.07	0.482
Error	2	0.5736	0.2868		
Total	5	2.7713			

**Análisis de varianza del tiempo de estabilidad.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Antioxidantes naturales	1	0.6208	0.6208	1.77	0.315
Concentración (ppm)	2	0.4412	0.2206	0.63	0.614
Error	2	0.7024	0.3512		
Total	5	1.7645			

**Tabla 27: Análisis de varianza del índice de estabilidad oxidativa vs. Antioxidantes naturales; concentración (ppm) del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.**

**Análisis de varianza del periodo de inducción.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Antioxidantes naturales	1	0.09627	0.09627	0.08	0.800
Concentración (ppm)	2	1.24173	0.62087	0.54	0.651
Error	2	2.31373	1.15687		
Total	5	3.65173			

**Análisis de varianza del tiempo de estabilidad.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Antioxidantes naturales	1	0.1473	0.1473	0.11	0.772
Concentración (ppm)	2	1.1563	0.5781	0.43	0.698
Error	2	2.6758	1.3379		
Total	5	3.9794			

Según el análisis de varianza que se muestra en las tablas 26 y 27 de ambas variedades de aceite de semillas de uva estudiadas, los antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero) añadidos al aceite individualmente y evaluados por separado no mostraron ningún efecto significativo en el OSI. Esto puede deberse a que las concentraciones adicionadas de los extracto de romero y extracto de té verde (antioxidantes naturales) no fueron suficientemente altos (200 ppm, 350 ppm y 500 ppm), en una investigación similar, sobre estabilidad oxidativa, Ixtaina *et al.* (2012), utilizaron el extracto de romero como antioxidante para el aceite de Chía, encontró que la adición de este extracto a concentraciones de 5000 ppm fue la que mejoró significativamente la estabilidad del aceite con un factor de protección entre 1.6 y 3.4, mientras que a concentraciones de 250 ppm – 2500 ppm no mostraron diferencias significativas respecto al aceite control. Mientras que la adición de extracto de té verde a concentraciones de 500 ppm - 5000 ppm incrementaron significativamente el factor de protección, siendo la concentración de 5000 ppm el más alto (2.6 FP). Respecto a estos resultados podemos mencionar que la adición de los antioxidantes naturales utilizados en la investigación fue muy inferior a las concentraciones adicionadas en la investigación de Ixtaina *et al.* (2012).

Teniendo en cuenta los antioxidantes individualmente evaluados (Tabla 25) se encontró que el extracto de té verde es ligeramente más eficaz que el extracto de romero. Estos resultados pueden ser debido a que el extracto de té verde presenta en su composición elevadas cantidades de catequinas, el EGCG representa más del 50% de las catequinas totales (Hernández *et al.*, 2004). Diversos estudios han demostrado, que los polifenoles y

las catequinas en general, muestran efecto antioxidante. Estos compuestos son atrapadores de especies reactivas del oxígeno de carácter radicalario y de relevancia fisiológica y patológica, como lo son los radicales libres superóxido ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), el radical libre hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ -), y los radicales libres peroxinitrito ( $\cdot\text{ONOO}$ -) e hipocloroso ( $\cdot\text{ClO}$ -) (Valenzuela, 2004).

La tabla 28 muestra los resultados del OSI del aceite de semillas de uva con adición de la mezcla de extractos de té verde y romero como antioxidantes naturales, evaluados a  $90^\circ\text{C}$  con flujo de aire de 16.8 L/h (Moscatel de Alejandría) y 18.6 L/h (Quebranta), parámetros obtenidos a partir de la optimización del periodo de inducción y tiempo de estabilidad de los aceites de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta (ver anexo 22 y 23).

**Tabla 28:** *Índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales (mezcla de extractos de té verde y romero).*

Trat.	Extracto de romero (ppm)	Extracto de té verde (ppm)	Variedad Moscatel de Alejandría		Variedad Quebranta	
			OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)	OSI (h)	Tiempo de estabilidad (h)
A1	243.93	243.93	19.58±0.1	21.66±0.3	25.07±0.3	27.02±0.2
A2	456.07	243.93	17.75±0.4	22.11±0.2	23.50±0.3	29.79±0.2
A3	243.93	456.07	19.42±0.2	21.71±0.3	25.24±0.4	26.93±0.5
A4	456.07	456.07	19.48±0.1	21.58±0.2	26.12±0.2	27.70±0.3
A5	200.00	350.00	19.37±0.1	21.56±0.3	22.45±0.3	28.38±0.3
A6	500.00	350.00	19.62±0.1	22.04±0.3	25.21±0.2	27.28±0.2
A7	350.00	200.00	19.33±0.2	21.63±0.3	22.22±0.3	27.97±0.2
A8	350.00	500.00	19.17±0.3	22.23±0.2	24.07±0.3	27.11±0.3
A9	350.00	350.00	19.48±0.1	21.96±0.2	24.51±0.3	26.31±0.4
A10	350.00	350.00	19.55±0.1	22.38±0.3	24.27±0.2	26.69±0.4
A11	350.00	350.00	19.51±0.1	21.31±0.3	24.79±0.2	26.61±0.3
A12	350.00	350.00	19.23±0.2	21.07±0.3	24.67±0.2	27.40±0.4
A13	350.00	350.00	19.34±0.1	21.71±0.2	24.14±0.3	27.32±0.2

El índice de estabilidad oxidativa (OSI) de los tratamientos A2, A5 y A7 del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales de la variedad Quebranta fueron  $23.50 \pm 0.3$  h,  $22.45 \pm 0.0.3$  h y  $22.22 \pm 0.3$  h respectivamente, no mostraron ningún incremento significativo respecto al aceite de semillas de uva sin antioxidantes el cual fue  $24.81 \pm 0.03$  h, los tratamientos A1, A3, A4, A6 presentaron un ligero incremento en el OSI, mientras que los tratamientos del A8 – A13 presentaron valores muy cercanos al aceite sin antioxidantes evaluadas a las mismas condiciones de temperatura. Mientras el aceite de la variedad Moscatel de Alejandría con adición de la mezcla de antioxidantes naturales no presentó ningún incremento en el OSI respecto a la evaluación sin antioxidante el cual fue de  $19.97 \pm 0.02$  h, evaluadas a las mismas condiciones de temperatura.

En otras investigaciones similares sobre estabilidad oxidativa, Ixtaina *et al.* (2012), combinaron antioxidantes para evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de chía ( $T = 98^\circ\text{C}$ , flujo de aire = 20 L/h) a concentraciones de 250, 500, 1000, 1500, 2500 y 5000 ppm, la mezcla de antioxidantes de extracto de romero y tocoferoles a concentraciones de 1500 ppm y 5000 ppm alcanzaron mayor tiempo de inducción respecto a la muestra control (2.3 h), la mezcla de tocoferol y extracto de té verde fueron significativamente diferentes a la muestra control a concentraciones de 1000, 2500 y 5000 ppm y la mezcla de extracto de romero y té verde a concentraciones superiores a 1000 ppm presentaron la mejor protección entre las mezclas de antioxidantes (Ixtaina *et al.*, 2012). En la investigación realizada del aceite de semillas de uva de las diferentes variedades no presentaron diferencias significativas puesto que las concentraciones de los antioxidantes no fueron suficientemente elevadas para incrementar el índice de estabilidad oxidativa respecto a la muestra sin antioxidante.

Jiménez (2004), menciona que la cantidad de antioxidante en la que es añadido puede ser un factor determinante en su eficiencia para inhibir la oxidación. Además, el comportamiento de un antioxidante depende del estado de los lípidos. Los antioxidantes polares (hidrofílicos) son más efectivos en lípidos o aceites puros, mientras que los antioxidantes no-polares (lipofílicos) en sustratos polares como liposomas o emulsiones, este comportamiento es denominado “paradoja polar”. Según Frankel (1996), este comportamiento se atribuye a que en los aceites los antioxidantes hidrofílicos se orientan en la interfase aire-aceite y protegen de la oxidación mejor que uno de naturaleza lipofílica que tiende a permanecer en el aceite. Así mismo, en otra investigación evaluaron

la eficiencia de algunos antioxidantes en sistemas compuestos por aceite puro y emulsiones. Encontraron que el ácido carnósico es más efectivo en aceite puro y el ácido carnosol fue más efectivo en emulsiones, este comportamiento se atribuyó a la diferencia de polaridad entre ambos compuestos, siendo el ácido carnósico más polar que el carnosol, mientras que las catequinas del té verde tienen una polaridad moderada (Maureira, Janczuk y Della, 2007).

Además, el aceite de semillas de uva actúa como un antioxidante ya que está compuesto en su mayoría por compuestos flavonoides, tales como las catequinas (flavan-3-ol), especialmente en su forma polimerizada, conocidas como procianidinas. Estudios de investigación de poder antirradical mostraron que el extracto de semillas de uva presentó un poder antirradical muy elevado ( $34.9 \mu\text{mol PAA}/\mu\text{mol DPPH}$ ) comparado con otros extractos naturales así como sintéticos, esto debido a que las moléculas de naturaleza polifenólica incluyen estructuras dihidroxi (catecol) y trihidroxi (ácido gálico) capaces de eliminar los radicales libres del medio, así como un gran número de dobles enlaces conjugados y grupos de carbonilo en su esqueleto molecular, capaces de estabilizar los radicales polifenólicos que se generan, mientras que el extracto de romero presentó un poder antirradical de  $7.2 - 8.3 \mu\text{mol PAA}/\mu\text{mol DPPH}$  (Mira, 2019).

En las tablas 29 y 30 se presenta el ANOVA realizado del índice de estabilidad oxidativa con respecto a la adición de la mezcla de los antioxidantes naturales (extracto de romero y té verde) del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría.

Según el análisis de varianza que se muestra en las tablas 29 y 30 del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría, la adición de la mezcla del extracto de té verde y romero como antioxidantes naturales no mostraron ningún efecto significativo respecto al OSI del aceite de semillas de uva evaluado sin antioxidante.

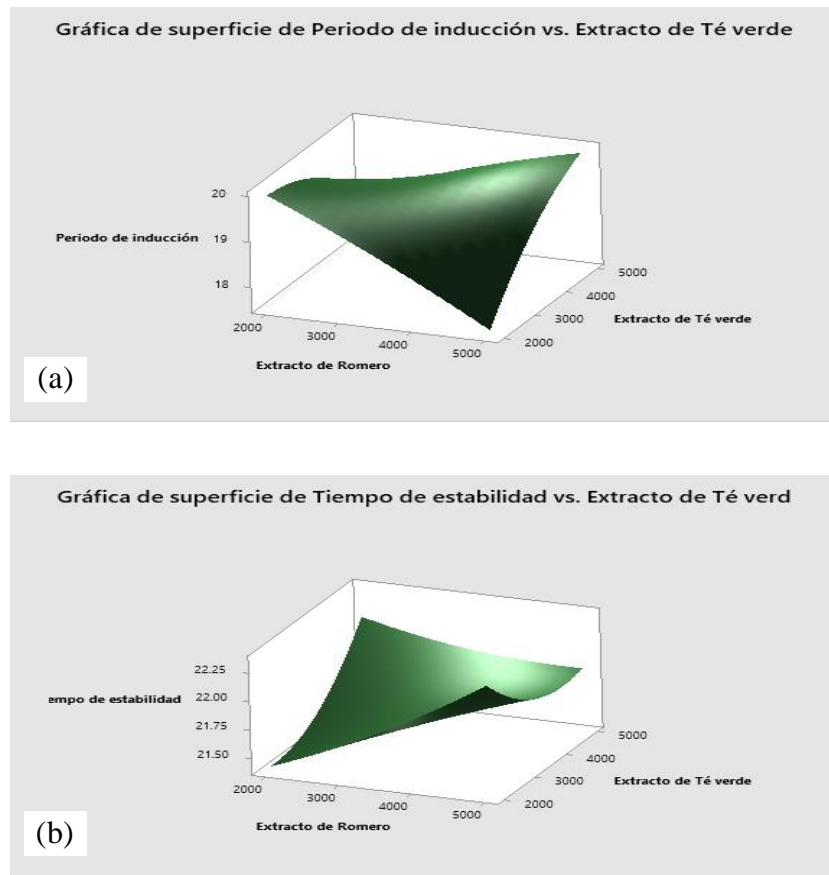
**Tabla 29: Análisis de Varianza del periodo de inducción vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Moscatel de Alejandría.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1.56138	0.31228	1.77	0.238
Lineal	2	0.47649	0.23825	1.35	0.320
Extracto de Romero	1	0.25079	0.25079	1.42	0.272
Extracto de Té verde	1	0.22570	0.22570	1.28	0.296
Cuadrado	2	0.19187	0.09593	0.54	0.604
Extracto de Romero*Extracto de Romero	1	0.01242	0.01242	0.07	0.799
Extracto de Té verde*Extracto de Té verde	1	0.18882	0.18882	1.07	0.336
Interacción de 2 factores	1	0.89302	0.89302	5.06	0.059
Extracto de Romero*Extracto de Té verde	1	0.89302	0.89302	5.06	0.059
Error	7	1.23654	0.17665		
Falta de ajuste	3	1.16546	0.38849	21.86	0.006
Error puro	4	0.07108	0.01777		
Total	12	2.79792			

**Tabla 30: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad vs. Extracto de romero; extracto de té verde, variedad Moscatel de Alejandría.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.29389	0.058777	0.31	0.893
Lineal	2	0.14168	0.070841	0.37	0.703
Extracto de Romero	1	0.12471	0.124706	0.65	0.445
Extracto de Té verde	1	0.01698	0.016977	0.09	0.774
Cuadrado	2	0.06810	0.034052	0.18	0.840
Extracto de Romero*Extracto de Romero	1	0.00712	0.007123	0.04	0.852
Extracto de Té verde*Extracto de Té verde	1	0.06545	0.065454	0.34	0.576
Interacción de 2 factores	1	0.08410	0.084100	0.44	0.528
Extracto de Romero*Extracto de Té verde	1	0.08410	0.084100	0.44	0.528
Error	7	1.33484	0.190691		
Falta de ajuste	3	0.25672	0.085573	0.32	0.813
Error puro	4	1.07812	0.269530		
Total	12	1.62872			

La figura 18 muestra los gráficos de superficie de respuesta del OSI (Periodo de inducción y Tiempo de estabilidad) del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta.



**Figura 18:** Gráficos de superficie de respuesta del aceite de la variedad Moscatel de Alejandría con adición de la mezcla de antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero): (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad.

En el gráfico de la figura 18 (a), se observa que a una concentración mayor de extracto de romero (500 ppm) y una concentración menor de extracto de té verde (200 ppm) el periodo de inducción del aceite disminuye.

En el gráfico de la figura 18 (b), en la parte inferior izquierda del gráfico se observa (concentraciones bajas de los extractos) que el tiempo de estabilidad es menor. Lo que indica que cuando ambos extractos están en bajas concentraciones, su efecto antioxidante combinado no es suficiente para prolongar significativamente la vida útil del aceite de semillas de uva. Mientras que en la parte superior derecha de la gráfica (concentraciones altas de los extractos), el tiempo de estabilidad es mayor. Sin embargo, el aumento no es tan pronunciado como se esperaría si ambos extractos actuaran de forma sinérgica.

En las tablas 31 y 32 se presenta el ANOVA realizado del periodo de inducción y tiempo de estabilidad con respecto a la adición de la mezcla de los antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero) del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta.

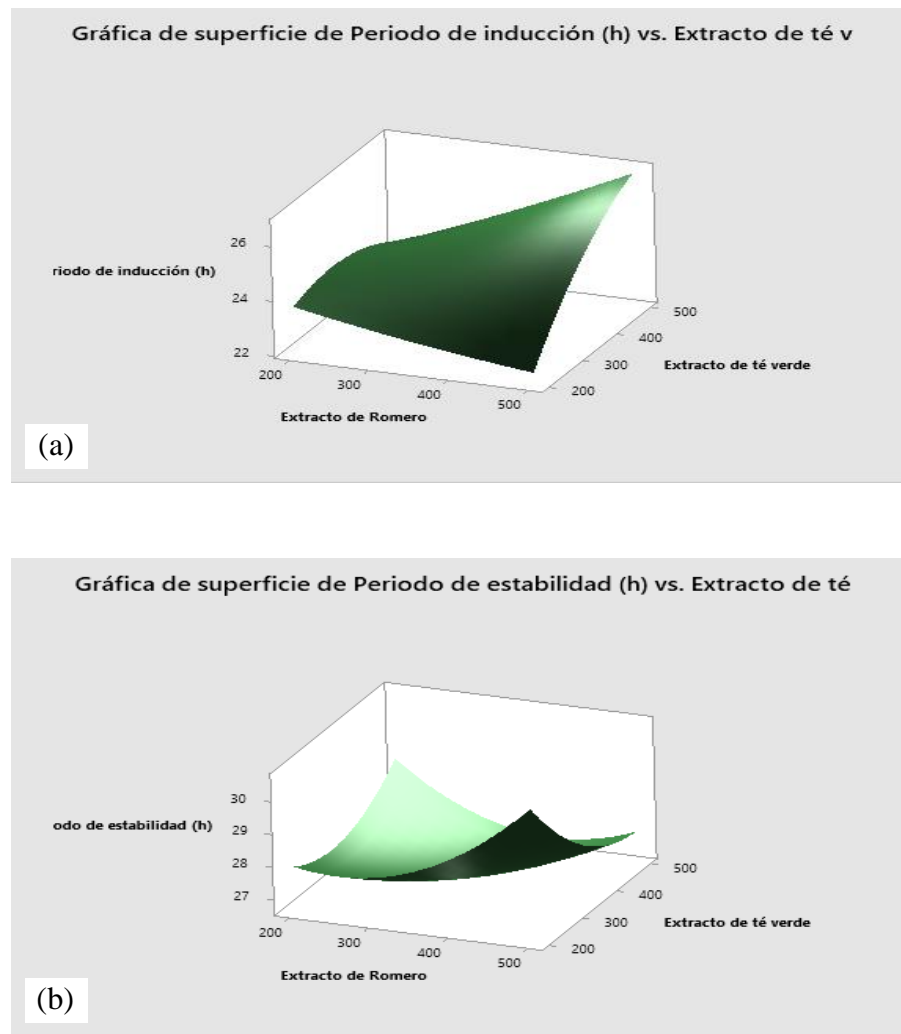
**Tabla 31: Análisis de Varianza del periodo de inducción (OSI) vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Quebranta.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	7.0927	1.41853	1.34	0.349
Lineal	2	4.9441	2.47205	2.34	0.167
Extracto de Romero	1	1.2906	1.29061	1.22	0.306
Extracto de té verde	1	3.6535	3.65350	3.45	0.105
Cuadrado	2	0.6479	0.32397	0.31	0.746
Extracto de Romero*Extracto de Romero	1	0.0179	0.01792	0.02	0.900
Extracto de té verde*Extracto de té verde	1	0.5921	0.59213	0.56	0.479
Interacción de 2 factores	1	1.5006	1.50063	1.42	0.272
Extracto de Romero*Extracto de té verde	1	1.5006	1.50063	1.42	0.272
Error	7	7.4038	1.05768		
Falta de ajuste	3	7.1110	2.37035	32.39	0.003
Error puro	4	0.2927	0.07318		
Total	12	14.4964			

**Tabla 32: Análisis de Varianza del tiempo de estabilidad (OSI) vs. Extracto de romero; extracto de té verde, de la variedad Quebranta.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	5.5465	1.1093	1.80	0.232
Lineal	2	1.9340	0.9670	1.57	0.274
Extracto de Romero	1	0.4922	0.4922	0.80	0.401
Extracto de té verde	1	1.4418	1.4418	2.34	0.170
Cuadrado	2	2.6125	1.3063	2.12	0.191
Extracto de Romero*Extracto de Romero	1	1.9229	1.9229	3.12	0.121
Extracto de té verde*Extracto de té verde	1	1.0085	1.0085	1.63	0.242
Interacción de 2 factores	1	1.0000	1.0000	1.62	0.244
Extracto de Romero*Extracto de té verde	1	1.0000	1.0000	1.62	0.244
Error	7	4.3200	0.6171		
Falta de ajuste	3	3.4230	1.1410	5.09	0.075
Error puro	4	0.8969	0.2242		
Total	12	9.8665			

Según el análisis de varianza que se muestra en las tablas 31 y 32 del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta, la adición de la mezcla del extracto de romero y té verde como antioxidantes naturales no mostraron ningún efecto significativo respecto al OSI del aceite de semillas de uva sin antioxidante.



**Figura 19:** Gráficos de superficie de respuesta del aceite de la variedad Quebranta con adición de la mezcla de antioxidantes naturales (extracto de té verde y romero): (a) periodo de inducción; (b) tiempo de estabilidad.

En el gráfico de la figura 19 (a), se observa que el incremento de la concentración del extracto de romero tiende a disminuir ligeramente el periodo de inducción del aceite, mientras que el incremento en la concentración del té verde tiende a aumentar el periodo de inducción. Donde los valores más bajos del periodo de inducción se dan a concentraciones altas (500 ppm) del extracto de romero y una concentración baja (200 ppm) del extracto de té verde.

En el gráfico de la figura 19 (b), se observa que a concentraciones de 300 ppm a 500 ppm del extracto de romero tiende a aumentar ligeramente el tiempo de estabilidad del aceite, mientras que la adición de extracto de té verde tiende a aumentar el tiempo de estabilidad del aceite a concentraciones de 200 ppm a 400 ppm.

#### 4.3.1. Análisis del tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva (*Vitis vinífera*).

La tabla 33 muestra el tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta, extrapolado del Rancimat a 20°C expresado en años.

**Tabla 33: Extrapolación del OSI del aceite de semillas de uva a 20°C.**

Variedad de semillas de uva	A	B	R <sup>2</sup>	Tiempo (h)	Días	Tiempo (años)
Moscatel de Alejandría	6.05E-10	8665.1	0.95670	4155	173	0.47
Quebranta	1.57E-11	10188.8	0.99832	19516	813	2.22

La vida útil estimada del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta fueron 0.47 años y 2.22 años respectivamente, presentando mayor tiempo de vida útil que el aceite de la variedad Moscatel de Alejandría, esto puede ser debido a que el aceite de la variedad Moscatel de Alejandría presenta mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados que la variedad Quebranta, ya que estos ácidos grasos poliinsaturados son muy susceptibles a la oxidación, además diversos autores mencionan que las semillas de uva presentan gran cantidad de ácidos fenólicos y flavonoides, y el cual actúa como un antioxidante y se encuentra en mayor cantidad en las uvas tintas, es por ello que la vida útil del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta es mucho mayor.

Teniendo en cuenta otros trabajos de investigación sobre la vida útil de diversos aceites vegetales tal como reporta Dominguez y Jiménez (2017), para el aceite de Castaña (5.56 meses a 23°C), aceite de Sésamo 214 días a 25°C (Villanueva *et al.*, 2013), y al aceite de Linaza que fue de 90.60 días a 25°C (Varas, 2019), estos resultados son muy cercano a la vida útil del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría, pero inferiores al tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta, el tiempo de vida útil del aceite de Oliva se encuentra entre el rango de 13.1 a 22.2 meses a

25°C (Farhoosh y Hoseini-Yazdi, 2013), este resultado es cercano a la vida útil del aceite variedad Quebranta pero fue inferior respecto a la vida útil del aceite de Sacha Inchi el cual fue 3.29 años a 20°C (Rodríguez *et al.*, 2015) y al aceite de Moringa 6.29 años a 20°C (Alberca y Huanca, 2015).

#### 4.3.2. Cinética de deterioro del aceite de semillas de uva

La tabla 34 muestra los resultados del orden de reacción, donde los valores del periodo de inducción del aceite de semillas de uva tanto de la variedad Moscatel de Alejandría como la variedad Quebranta se representaron gráficamente para encontrar el mejor ajuste (Anexo 24 - 29), los cuales fueron derivados de la linealización de los valores del tiempo de inducción con respecto a la temperatura de las muestras de aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría y Quebranta.

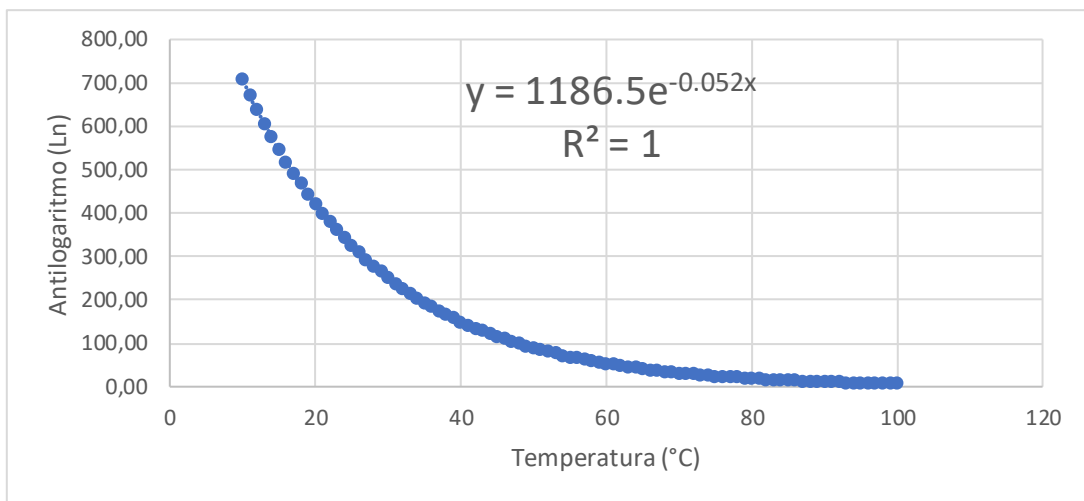
**Tabla 34: Valores de  $R^2$  derivados de la linealización.**

Aceite de semillas de uva	Cinética de reacción					
	Orden 0		Orden 1		Orden 2	
	K	$R^2$	K	$R^2$	K	$R^2$
Variedad Moscatel de Alejandría	-0.1671	0.5855	-0.0518	0.923	0.0563	0.879
Variedad Quebranta	-0.3962	0.8505	-0.0678	0.9975	0.0222	0.965

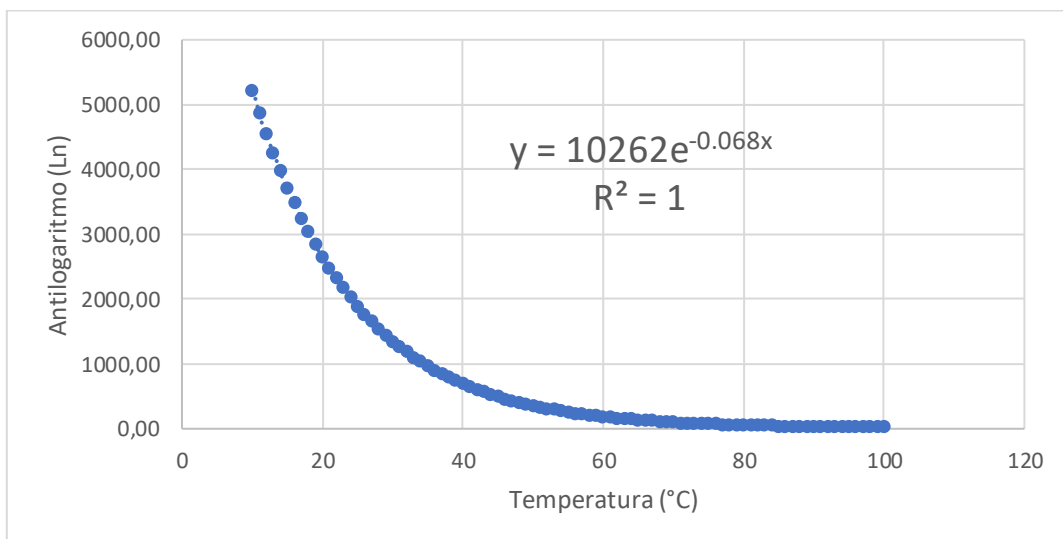
El análisis cinético indico que una reacción de primer orden describe adecuadamente el proceso estudiado. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenidos respaldan esta conclusión. No obstante, el modelo cinético se ajusta de manera más precisa a los datos del periodo de inducción de la variedad Quebranta en comparación con la variedad Moscatel de Alejandría. Según la gráfica de linealización se pudo apreciar una variación muy pequeña en las constantes de velocidad de oxidación de ambas variedades de aceite de semillas de uva, donde el aceite de la variedad Quebranta tuvo una velocidad de oxidación ligeramente más baja que la variedad Moscatel de Alejandría (Tabla 34), produciéndose de esta manera periodos de inducción más largos, esto puede deberse a que la variedad Quebranta en su composición presenta polifenoles que se encuentran en mayor cantidad en las semillas y además contiene antocianinas por su color característico, y este actúa como antioxidante ralentizando la velocidad de oxidación.

Labuza y Riboh (1982), señalan que la reacción de rancidez en aceites sigue una cinética de deterioro de orden 1, lo que concuerda con los resultados obtenidos.

En las figuras 20 y 21, se muestra la gráfica de simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva de las variedades Moscatel de Alejandría y Quebranta, se determinó mediante la pendiente de la linealización del orden 1, reemplazando “x” a temperaturas inferiores a 100°C (Anexo 30).



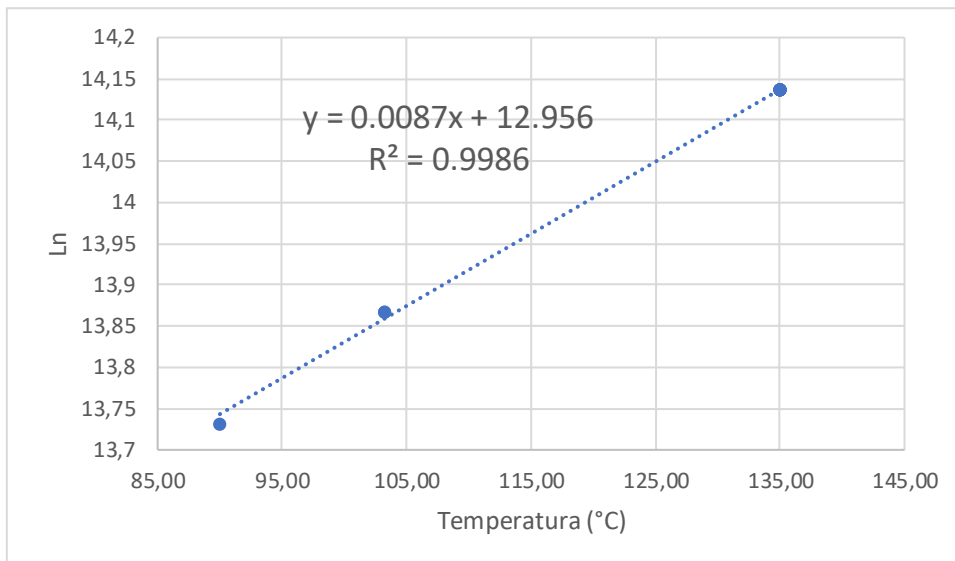
**Figura 20:** Simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.



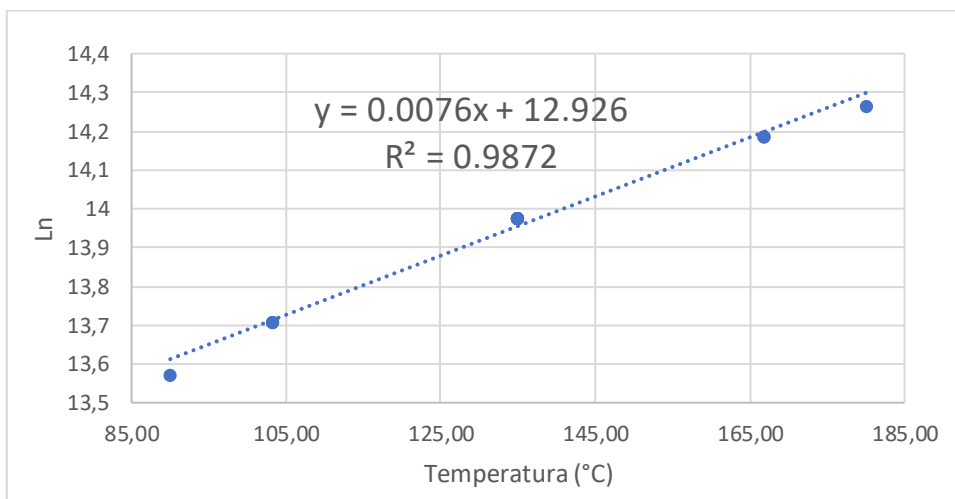
**Figura 21:** Simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.

En los gráficos de simulación podemos observar una disminución exponencial de pérdida de calidad del aceite de semillas de uva (Núñez *et al.*, 2017).

La figura 22 y 23, muestra como la temperatura afecta la velocidad de reacción de oxidación, determinada a partir de la pendiente obtenida al linealizar el periodo de inducción en función de la temperatura para las variedades Quebranta y Moscatel de Alejandría.



**Figura 22:** Linealización del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.



**Figura 23:** Linealización del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.

En ambos gráficos (Figura 22 y 23) se puede observar la dependencia de la temperatura en la velocidad de oxidación, mayor temperatura mayor velocidad de degradación (Salazar *et al.*, 2007). Así mismo Ziller y Campbell (1996), señalan que la velocidad de deterioro de las grasas y aceites es afectada por la temperatura.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La evaluación de la estabilidad oxidativa de los aceites es un parámetro muy importante que nos permite conocer su comportamiento respecto a la autooxidación, el aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta presentó mayor índice de estabilidad oxidativa de  $24.81 \pm 0.03$  h a  $90^\circ\text{C}$  con un flujo de aire de 17.50 L/h, mientras que el aceite de la variedad Moscatel de Alejandría presentó un índice de estabilidad oxidativa de  $19.97 \pm 0.02$  h, resultados que son influidos por la proporción de ácidos grasos poliinsaturados y compuestos antioxidantes que se encuentran en el aceite.
- La energía de activación ( $E_a$ ) muestra la resistencia que tiene el aceite frente a la autooxidación, siendo el aceite de semillas de uva de la variedad Quebranta con  $E_a$  de 84.88 Kj/mol, mostrando una leve mayor resistente a la oxidación en comparación con el aceite de la variedad Moscatel de Alejandría el cual presentó  $E_a$  de 72.11 Kj/mol.
- El tiempo de vida útil del aceite de semillas de uva fueron superiores respecto a otros aceites vegetales, la vida útil del aceite de semillas de uva de la variedad Moscatel de Alejandría fue de 0.47 años, mientras que el aceite de la variedad Quebranta fue de 2.22 años, debido a su elevado contenido de ácidos fenólicos y flavonoides que actuaron como antioxidante. Respecto a los antioxidantes naturales (extracto de romero y extracto de té verde) añadidos al aceite, se concluye que las cantidades agregados (200 – 500 ppm) no influyeron en el índice de estabilidad oxidativa, por lo que el aceite de semillas de uva se puede utilizar como antioxidante, especialmente las variedades tintas, porque presentan mayor capacidad antioxidante.

## **5.2. Recomendaciones**

- Determinar la concentración de compuestos antioxidantes presentes en el aceite de semillas de uva de las diferentes variedades de uva y su capacidad antioxidante frente a otros alimentos.
- Identificar el antioxidante que tiene mayor influencia en la estabilidad oxidativa del aceite de semillas de uva.
- Evaluar el contenido de ácidos grasos en cada variedad de semillas de uva.
- Evaluar la influencia del tamaño de muestra y flujo de aire sobre la estabilidad oxidativa por el método Rancimat.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, B., y Vargas, D. (2019). *Determinación del contenido fenólico y la identificación molecular de la vid (Vitis sp) denominada «Isabelita», del distrito de San Antonio de Cumbaza, San Martín, Perú*. Arequipa.
- Alberca, K., y Huanca, M. (2015). *Evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de Moringa (Moringa (Moringa oleífera) por el método Rancimat*. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación* 2(2).
- Alomar, M. (2014). *Antioxidantes: captadores de radicales libres ó sinónimo de salud?* 0-11.
- Alto, K., y Peña, K. (2022). *Aplicación de tecnologías limpias en la agroindustria para el aprovechamiento de sus residuos, una revisión sistemática de los últimos 10 años*. Lima.
- Alvarado, J., (2016). *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos* (2da. ed.).
- AOCS. (2013). *AOCS Official Method Cd 12b-92 Oil Stability Index (OSI)*.
- Avila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A. R., Vera-López, O., Dávila-Márquez, R., Melgoza-Palma, N., y Meza-Pluma, R. (2011). *Romero (Rosmarinus officinalis L.): una revisión de sus usos no culinarios*. *Ciencia y Mar* XV(43):23-36.
- Ayala, L., (2012). *Simulación del tiempo de vida útil del aceite de soya, utilizando pruebas aceleradas*.
- Balentine, D. A., Wiseman, S. A., y Bouwens, L. C. M. (1997). *The chemistry of tea flavonoids*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37(8):693-704.
- Barco, M., y Miranda, D. (2022). *Torta desgrasada de semillas de tres variedades de uva (Vitis Vinífera), como fuente de antioxidantes fenólicos*.
- Barriga-Sánchez, M., Churata, A., y Tinoco, O. (2018). *Optimización del rendimiento de la extracción de aceite de semillas de Vitis vinífera con CO<sub>2</sub> supercrítico*. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 84(2):1-8.
- Bernal, M. E., Mendonça-Junior C. X., y Mancini-Filho, J. (2003). *Estabilidad oxidativa de huevos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados omega 3, frente a antioxidantes naturales*. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 39(4):425-32.

doi: 10.1590/s1516-93322003000400010.

- BTSA. (2022). *Métodos para determinar la estabilidad oxidativa*. BTSA. Recuperado (<https://www.btsa.com/metodos-para-determinar-la-estabilidad-oxidativa/>).
- Cáceres, H., Quispe, P., Pignataro, D., Orjeda, G., y Lacombe, T. (2017). *Caracterización morfológica de variedades de vid para producción de Pisco bajo condiciones de la zona media del valle de Ica-Perú*. Scientia Agropecuaria 8(1):63-72. doi: 10.17268/sci.agropecu.2017.01.06.
- Carvente, M. (2014). *Efecto de los antioxidantes del té verde (extracto de polifenoles (P60), catequinas y kaemferol) sobre la inducción de micronúcleos y de apoptosis en ratones tratados con Cr (vi)*. México.
- Caycedo, V. M., Barbieri, P., Botero, M. A., Galviz, D. F., Cardona, J. C., y Rivas, K. Y. (2020). *Producción de aceite a partir de las pepitas del orujo de uva como valor agregado alternativo para los cultivos hortofrutícolas colombianos*. Pp. 99-125 en Investigación en Administración, Negocios y Contaduría frente a los Retos de Hoy. Vol. 01. Medellín.
- Céspedes, E., y Castillo, J. (2008). *La peroxidación lipídica en el diagnóstico del estrés oxidativo del paciente hipertenso. ¿Realidad o mito?* Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas 27(2):1-7.
- Chen, Y., Wen, J., Deng, Z., Pan, X., Xie, X., y Peng, C. (2020). *Effective utilization of food wastes: Bioactivity of grape seed extraction and its application in food industry*. Journal of Functional Foods 73(March):104113. doi: 10.1016/j.jff.2020.104113.
- Choe, E., y Min, D. B. (2006). *Mechanisms and factors for edible oil oxidation*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 5(4):169-86. doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
- Churata, A. C. (2018). *Optimización de la extracción del aceite de semillas de uva quebranta (Vitis vinífera) con CO2 supercrítico, caracterización y evaluación de la actividad antioxidante*. Lima.
- Codex Alimentarius. (2023). *Norma para aceites vegetales especificados, CXS 210-1999. Normas Internacionales de los Alimentos 1-14*.
- Coelho, J. P., Filipe, R. M., Robalo, M. P., y Stateva, R. P. (2018). *Recovering value from*

- organic waste materials: Supercritical fluid extraction of oil from industrial grape seeds. Journal of Supercritical Fluids* 141:68-77. doi: 10.1016/j.supflu.2017.12.008.
- Contreras, D. E., Alor, R. A., y Macavilca, E. A. (2019). *Actividad antioxidante de extractos de semillas de uvas recuperadas del residuo sólido de actividades vitivinícolas en el Valle de Cañete, Perú*. *Functional Food Science and Technology Journal* 1(1):73-89.
- Córdova, G., y Nuñez, A. (2015). *Determinación del perfil de ácidos grasos de un aceite extraído de la semilla de vitis vinífera (uva negra criolla)*. Lambayeque - Perú.
- Cotacallapa-Sucapuca, M., Vilca-Curo, R., y Coaguilla, M. (2020). *El Orujo De Uva Italia Como Fuente De Compuestos Bioactivos Y Su Aprovechamiento En La Obtención De Etanol Y Compost*. *FAVE Sección Ciencias Agrarias* 19(1):17-32. doi: 10.14409/fa.v19i1.9450.
- Davidov-Pardo, G., y McClements, D. J. (2015). *Nutraceutical delivery systems: Resveratrol encapsulation in grape seed oil nanoemulsions formed by spontaneous emulsification*. *Food Chemistry* 167:205-12. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.082.
- Dominguez, A., y Jimenez, D. (2017). *Caracterización y estimación de la vida útil del aceite de castaña (Bertholletia Excelsa) mediante pruebas aceleradas*. Nuevo Chimbote.
- Duda-Chodak, A., y Tarko, T. (2007). *Antioxidant properties of different fruit seeds and peels*. *Acta Scientiarum Polonorum* 6(3):29-36.
- Escamilla, C. I., Cuevas, E. Y., y Guevara, J. (2009). *Flavonoides y sus acciones antioxidantes*. *Rev Fac Med UNAM* 52(2):73-75.
- Farhoosh, R. (2007a). *Shelf-life prediction of edible fats and oils using Rancimat*. *Lipid Technology* 19(10):232-34. doi: 10.1002/lite.200700073.
- Farhoosh, R. (2007b). *The effect of operational parameters of the Rancimat method on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil*. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society* 84(3):205-9. doi: 10.1007/s11746-006-1030-4.
- Farhoosh, R., y Hoseini-Yazdi, S. Z. (2013). *Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures*. *Food Chemistry*

- 141(1):557-65. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.024.
- Fennema, O. W. E. N. (2000). *Química de los alimentos*. Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza (España), 593.
- Fernandes, P., y Cabral, J. M. S. (2007). *Phytosterols: Applications and recovery methods*. *Bioresource Technology* 98(12):2335-50. doi: 10.1016/j.biortech.2006.10.006.
- Franco-Mora, O., Salomon-Castaño, J., Morales, A., Castañeda-Vildózola, A., y Rubí-Arriaga, M. (2015). *Acidos grasos y parámetros de calidad del aceite de semilla de uva silvestre (Vitis spp.)*. *Scientia Agropecuaria* 6(4):1-8.
- Franco, D. (2011). *Análisis de productos. Aceites No Tradicionales*. Alimentos Argentinos 1-8.
- Frankel, E. N. (1996). *Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality*. *Food Chemistry*, 57(1), 51–55. doi:10.1016/0308-8146(96)00067-2
- Fuente, L. (2014). *Estudio de la capacidad antioxidante de los polifenoles del vino y sus aplicaciones biológica-preventivas*.
- García-Moreno, P. J., Pérez-Gálvez, R., Guadix, A., y Guadix, E. M. (2013). *Influence of the parameters of the Rancimat test on the determination of the oxidative stability index of cod liver oil*. *Lwt* 51(1):303-8. doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.002.
- Gilvonio, A., Luna, J., y Rios, V. (2017). *Condiciones favorables para la extracción de aceite de semillas de uva (Vitis) en un equipo soxhlet*.
- Gonzales, M. (2018). *Determinación de ácidos grasos, compuestos fenólicos y efecto gastroprotector de semillas de uva (Vitis vinífera) variedad malbec, sub producto de la industria vitivinícola, Ica-Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú 115.
- Grupo de Investigación en Viticultura - UPM. (2015). *Morfología de la vid (Vitis vinifera L.)*.
- Gutierrez, J., y Terrones, L. (2016). *Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de granada (Púnica Granatum)*.
- Han, J., y Rhee, K. S. (2005). *Antioxidant properties of selected Oriental non-culinary/nutraceutical herb extracts as evaluated in raw and cooked meat*. *Meat*

- Science 70(1):25-33. doi: 10.1016/j.meatsci.2004.11.017.
- Hernández, T., Rodríguez, E., y Sánchez, F. (2004). *El té ¿una buena elección para la prevención de enfermedades cardiovasculares?* Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(4):1-19.
- Hidalgo, R., Gomez, M., Rojas, P., Soliz, M., Soliz, R., Quiroga, D., Saravia, G., y Saavedra, D. (2016). *Propiedades medicinales de la semilla de uva*. Revistas Bolivianas 11(26):1-6.
- Huertas, L. (2004). *Historia de la producción de vinos y piscos en el Perú*. Revista Universum 19(2):44-61.
- INEI. (2022). *Producción de uva creció en 10,5% durante el primer mes de 2022*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, 17-19.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2018). *Informe de variedad Moscatel de Alejandría*. 1-14.
- Isaza, L. Y., Restrepo, D. A., y López, J. H. (2013). *Oxidación lipídica y antioxidantes naturales en derivados cárnicos*. Journal of Engineering and technology 2(2).
- Ixtaina, V. Y. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos*.
- Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2012). *Oxidative stability of chia (Salvia hispanica L.) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions*. JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society 89(6):1077-90. doi: 10.1007/s11746-011-1990-x.
- Jebe, T. A., Matlock, M. G., y Sleeter, R. T. (1993). *Collaborative study of the oil stability index analysis*. Journal of the American Oil Chemists Society 70(11):1055-61. doi: 10.1007/BF02632142.
- Jiménez, E. I. (2004). *Obtención y caracterización parcial de péptidos antioxidantes de proteína de soya hidrolizada*. Hermosillo, Sonora.
- Laguerre, M., Lecomte, J., y Villeneuve, P. (2007). *Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges*. Progress in Lipid Research 46(5):244-82. doi:

10.1016/j.plipres.2007.05.002.

Lakatos, A., y Vegas-Gallo, E. (2020). *Factores agroecológicos, tecnológicos productivos para el desenvolvimiento de la viticultura (Vitis vinifera), en Piura, Perú.* 2017.

Latorre, M. (2016). *Polifenoles de la uva.* Madrid: Universidad Complutense.

Li, H., Fu, X., Deng, G., David, A., y Huang, L. (2020). *Extraction of oil from grape seeds (Vitis vinifera L.) using recyclable CO<sub>2</sub>-expanded ethanol.* Chemical Engineering and Processing - Process Intensification 157(September):108-47. doi: 10.1016/j.cep.2020.108147.

Lutterodt, H., Slavin, M., Whent, M., Turner, E., y Yu, L. (2011). *Fatty acid composition, oxidative stability, antioxidant and antiproliferative properties of selected cold-pressed grape seed oils and flours.* Food Chemistry 128(2):391-99. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.040.

Mamani, L. A. (2022). *Determinación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet), suplementado con antioxidantes naturales por el método Rancimat.* Juliaca - Perú.

Martín-Polvillo, M., Márquez-Ruiz, G., y Dobarganes, M. C. (2004). *Oxidative stability of sunflower oils differing in unsaturation degree during long-term storage at room temperature.* JAOCS, Journal of the American Oil Chemists Society 81(6):577-83. doi: 10.1007/s11746-006-0944-1.

Martinello, M. A., y Pramparo, M. (2005). *Poder Antioxidante de extractos de romero concentrados por destilación molecular.* Información tecnológica 16(5):22-25.

Matthäus, B. (2008). *Virgin grape seed oil: Is it really a nutritional highlight?.* Eur. J. Lipid Sci. Technol., 110: 645-650. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700276>

Maureira, Y., Janczuk, L., y Della, P. (2007). *Antioxidantes naturales adicionados al aceite de maíz y sus emulsiones en agua para retardar su oxidación.* PROYECCIONES-Publicación de la Facultad Regional de Buenos Aires 5(2):69-75. doi: 10.1590/s1414-40772008000100010.

Mejía, P. (2019). *Evaluación de la capacidad antioxidante de extractos alcohólico y acuoso de romero (Rosmarinus officinalis), frente a un compuesto sintético.* Cuenca

- Ecuador.

- Mieres, A., Andrade, A., García, L., y Londoño, P. (2012). *Extracción del aceite de semillas de uva variedad “ Criolla negra ” y su caracterización*. Anales de la Universidad Metropolitana 12(1):193-206.
- Mira, M. (2019). *Uso de extractos de romero y otras fuentes vegetales como antioxidantes tecnológicos en aceites alimentarios. Estudio comparativo de eficacia frente a antioxidantes sintéticos. Relación estructura- actividad*. Murcia.
- Moya, C. (2017). *Extracción y caracterización de aceite vegetal de las semillas de uva borgoña ((Vitis vinífera) utilizando enzimas*. Lima.
- Navarro-García, G., Bringas-Alvarado, L., y Pacheco-Aguilar, R. (2004). *Nueva Herramienta para el Estudio de la Oxidación de los Ácidos Grasos, una de las Causas Fundamentales de la Pérdida de Calidad de los Alimentos para la Acuicultura*. Avances en Nutrición Acuícola VII (1):480-503.
- Navas, P. B. (2009). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 59(2):1-9.
- Núñez, M., Hernández, R., Rodríguez, I., Rodríguez, J., y Torres, Y. (2017). *Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. II. Métodos de estimación*. Ciencia y Tecnología de Alimentos 27(2):75-82.
- Obregón, H, Huayta, F., y Cárdenas F. (2018). *Optimización del proceso de extracción por fluidos supercríticos en la obtención de aceite de semillas de uva con el empleo de la metodología taguchi y superficie de respuesta. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology 2018-July(July):19-21. doi: 10.18687/LACCEI2018.1.1.268*.
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2022). *Análisis anual del sector vitivinícola mundial en 2021*. Fao.
- Paredes, J. (2022). *Caracterización físicoquímica, grado de madurez y determinación de polifenoles totales de los frutos de Vitis vinífera de las variedades tintas producidas en la Provincia de Ica*. 1-75.
- Parker, T. D., Adams, D. A., Zhou, K., Harris, M., y Yu, L. (2003). *Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils*. Journal of Food

- Science 68(4):1240-43. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb09632.x.
- Passos, C. P., Silva, R. M., Da Silva, F. A., Coimbra, M. A., y Silva, C. M. (2009). *Enhancement of the supercritical fluid extraction of grape seed oil by using enzymatically pre-treated seed. Journal of Supercritical Fluids* 48(3):225-29. doi: 10.1016/j.supflu.2008.11.001.
- Passos, C. P., Cardoso, S. M., Barros, A. S., Silva, C. M., y Coimbra, M. A. (2010). Application of Fourier transform infrared spectroscopy and orthogonal projections to latent structures/partial least squares regression for estimation of procyanidins average degree of polymerisation». *Analytica Chimica Acta* 661(2):143-49. doi: 10.1016/j.aca.2009.12.028.
- Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., y Moreno-Rojo, C. (2015). *Comparative study of physical-chemical features of sacha inchi oil (Plukenetia volubilis l.), olive oil (Olea europaea) and fish oil. Scientia agropecuaria* 6(4):279-90. doi: 10.17268/sci.agropecu.2015.04.05.
- Pereyra, M., Costamagna, D., Rodríguez, P., Speltini, C., y Coppo, G. (2009). *Autoxidación de aceites vegetales comerciales. Rumbos tecnológicos* 1(1):53-63.
- Pérez, G. (2003). *Los flavonoides: Antioxidantes o prooxidantes. Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas* 22(1):48-57.
- Politeo, O., Jukic, M., y Milos, M. (2007). *Chemical composition and antioxidant capacity of free volatile aglycones from basil (Ocimum basilicum L.) compared with its essential oil. Food Chemistry* 101(1):379-85. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.01.045.
- Proestos, C., Chorianopoulos, N., Nychas, G. J. E., y Komaitis, M. (2005). *RP-HPLC analysis of the phenolic compounds of plant extracts. Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(4):1190-95. doi: 10.1021/jf040083t.
- Ramos, R. (2015). *Estudio de pre factibilidad para el desarrollo industrial de productos alternativos en base a subproductos derivados de la industria vitivinícola en la región de Ica. San Miguel.*
- Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P., y Baquerizo, M. (2015). *Estabilidad oxidativa*

- y estimación de la vida útil del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Scientia Agropecuaria* 6(3):155 – 163. doi: 10.17268/sci.agropecu.2015.03.02.
- Salazar, E., Douglas, B., Marin, G., y Moreno, H. (2007). *Cinética y deterioro del aceite de la semilla de palma coroba (Attalea maripa)*. SABER, Revista Multidisciplinaria del consejo de Investigación de la Universidad Oriente 19(2):172-82.
- Sánchez, F. (2003). *Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado*. Girona: Universidad de Girona.
- Sanchoyarta, R. (2013). *Partes de la uva*. 1-24.
- Shetty, A., Magadam, S., y Managanvi, K. (2013). *Vegetables as Sources of Antioxidants*. *Journal of Food & Nutritional Disorders* 02(01):1-5. doi: 10.4172/2324-9323.1000104.
- Shinagawa, F. B., Carvalho de Santana, F., y Mancini-Filho, J. (2015). *Efeito do óleo de semente de uva prensado a frio nos marcadores bioquímicos e perfil inflamatório de ratos*. *Revista de Nutricao* 28(1):65-76. doi: 10.1590/1415-52732015000100006.
- Spinella, M., Fernández, M., Nolasco, S., y De Figueiredo, A. (2015). *Extracción de aceite asistida por ultrasonido de granos de girasol alto esteárico alto oleico*. AAIQ, Asociación Argentina de Ingenieros Químicos - CSPQ 15.
- Toro, N., y Suárez, L. (2012). *Obtención y caracterización del aceite de las semillas de uva de Vitis labrusca L. (uva Isabella) y evaluación de su actividad antioxidante*.
- Ustun, Z., Celenk, V. U., y Gumus, Z. P. (2020). *Cold pressed grape (Vitis vinifera) seed oil*. Elsevier Inc.
- Valencia, I., Grady, M. N. O., Ansorena, D., Astiasarán, I., y Kerry, J. P. (2008). *Enhancement of the nutritional status and quality of fresh pork sausages following the addition of linseed oil, fish oil and natural antioxidants*. *Meat Science* 80(4):1046-54. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.04.024.
- Valenzuela, A. (2004). *El consumo del té y la salud: Características y propiedades beneficiosas de esta bebida milenaria*. *Revista Chilena de Nutrición* 31(2):1-12.
- Varas, M. (2019). *Efecto antioxidante del extracto de licopeno de tomate (Solanum lycopersicum) sobre la vida útil del aceite de linaza (Linum usitatissimum L.)*.

- Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Industrias Alimentarias 1-257.
- Vargas, Y., y Pérez, L. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente*. Revista Facultad de Ciencias Básicas 14(1):59-72. doi: 10.18359/rfcb.3108.
- Velasco, J., y Dobarganes, C. (2002). *Oxidative stability of virgin olive oil*. European Journal of Lipid Science and Technology 104(9-10):661-76. doi: 10.1002/1438-9312(200210)104:9/10<661::AID-EJLT661>3.0.CO;2-D.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., y Oomah, B. D. (1998). *Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(10):4113-17. doi: 10.1021/jf9801973.
- Villanueva, E., Castillo, D., y Rodríguez, G. (2013). *Scientia Agropecuaria Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de Sesamum indicum L.* Scientia Agropecuaria 4:173-80.
- Villanueva, E., Rodríguez, G., Aguirre, E., y Castro, V. (2017). *Influencia de antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de chia (Salvia hispanica L.) por rancimat*. Scientia Agropecuaria 8(1):1-9.
- Wanasundura, U. N., y Shahidi, F. (1998). *Antioxidant and pro-oxidant activity of green tea extracts in marine oils*. Food Chemistry 63(3):11335-42. doi: 10.1556/ArchErt.136.2011.5.
- Yilmaz, Y., Göksel, Z., Seçil Erdoğan, S., Öztürk, A., Atak, A., y Özer, C. (2015). *Antioxidant Activity and Phenolic Content of Seed, Skin and Pulp Parts of 22 Grape (Vitis vinifera L.) Cultivars (4 Common and 18 Registered or Candidate for Registration)*. Journal of Food Processing and Preservation 39(6):1682-91. doi: 10.1111/jfpp.12399.
- Zhang, L., Zhang, A., Zhou, S., Wang, Q., Wang, W., Ma, H., y Zhou, C. (2023). *Real-time online monitoring technology for sweeping frequency ultrasound (SFU) assisted extraction of amur grape (Vitis amurensis) seed oil*. Ultrasonics Sonochemistry 100(June). doi: 10.1016/j.ultsonch.2023.106621.
- Zhang, N., Li, Y., Wen, S., Sun, Y., Chen, J., Gao, Y., Sagymbek, A., y Yu, X. (2021). *Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review*.

- Food Chemistry 358(1). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129834.
- Zúñiga, M. E., Soto, C., Mora, A., Chamy, R., y Lema, J. M. (2003). *Enzymic pre-treatment of Guevina avellana mol oil extraction by pressing*. Process Biochemistry 39(1):51-57. doi: 10.1016/S0032-9592(02)00286-8.
- Zurita, A., Koller, A., y Zabalaga, R. (2021). *Extracción de aceite de amaranto utilizando la técnica Soxhlet y extracción asistida por Ultrasonido*. ActaNova 10(2):1-6.

## ANEXOS

### Anexo 1: Orujo de uva de diferentes variedades y proceso de secado.



Orujo de uva, variedad Moscatel de Alejandría (Italia).



Orujo de uva, variedad Quebranta.

### Anexo 2: Selección de las semillas de uva del resto del orujo.



Proceso de selección de semillas de uva.



Cascarilla, tallos y restos del orujo.

**Anexo 3: Semillas seleccionadas de las diferentes variedades de uva.**



Variedad Quebranta.



Variedad Moscatel de Alejandría.

**Anexo 4: Molienda de las semillas de uva.**



Equipo de molino.



Proceso de molienda de las semillas.



Semillas molidas de las variedades Quebranta y Moscatel de Alejandría.

### Anexo 5: Tamizado de las semillas de uva.



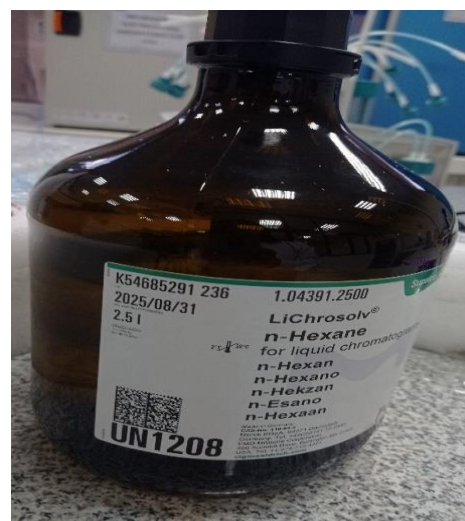
Proceso de tamizado de las semillas molidas.

### Anexo 6: Preparación de semillas para el proceso de extracción del aceite.



Pesado de la semilla molida y posteriormente introducido al Matraz Erlenmeyer.

### Anexo 7: Adición del solvente a la semilla molida de uva.



Adición del solvente Hexano (1:10).

### Anexo 8: Extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva.

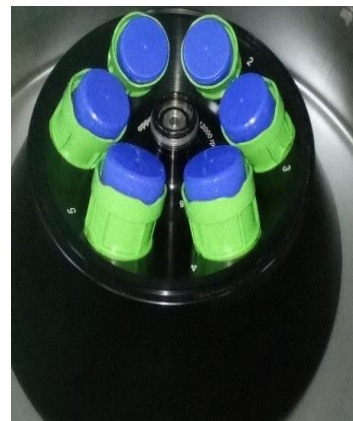
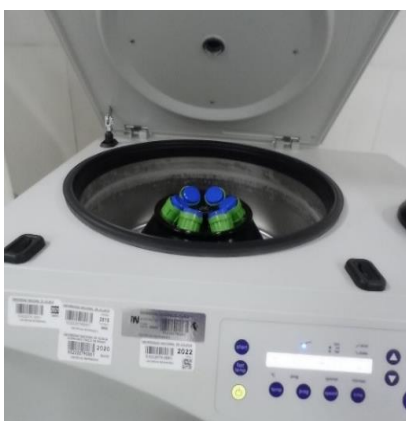


Proceso de extracción del aceite de semillas de uva a 50°C durante 20 min.



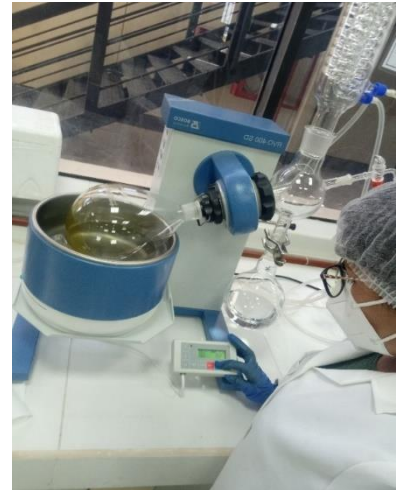
Reposo y enfriado de la muestra durante 10 min.

### Anexo 9: Centrifugado de las muestras.



Proceso de centrifugado de las muestras.

### Anexo 10: Destilación del solvente.



Proceso de destilado de la solución hexano – aceite, en un rotavapor.



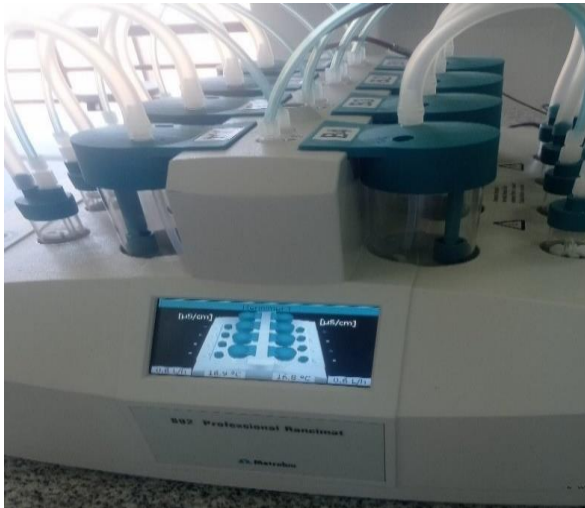
Aceite obtenido después de la destilación.

### Anexo 11: Envasado del aceite en botellas ámbar.

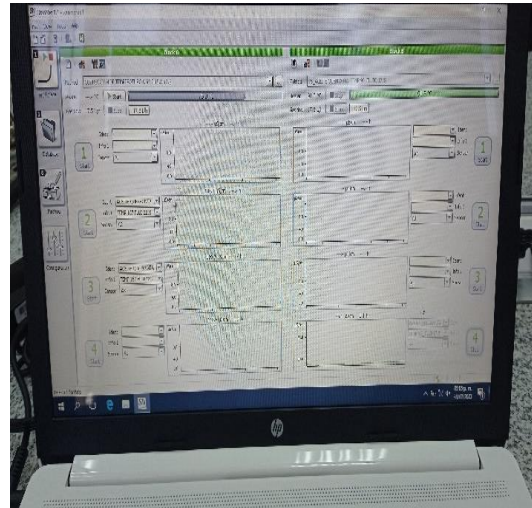


Aceite extraído y almacenado en refrigeración 4°C.

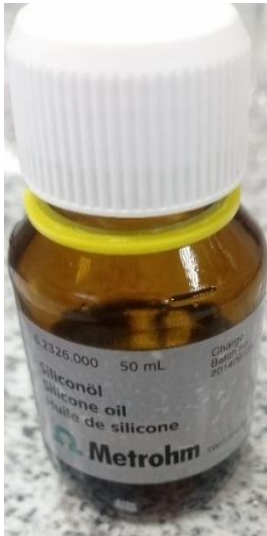
**Anexo 12: Equipo y materiales para el análisis del OSI.**



Equipo Metrohm Rancimat 892.



Laptop con el Software StabNet.



Aceite de silicona para corrección de temperatura.



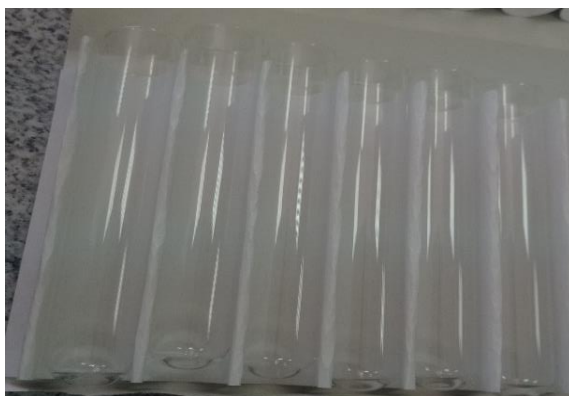
Agua standar para regular la conductividad de los sensores de celda.



Tubos de silicona.



Tubos de aire

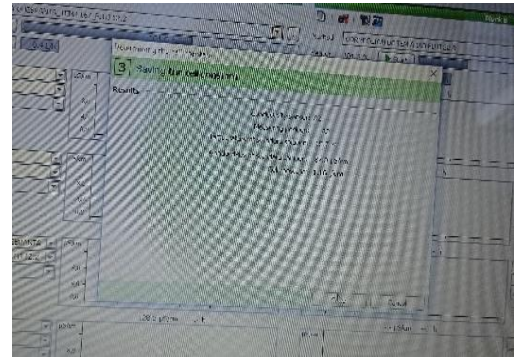
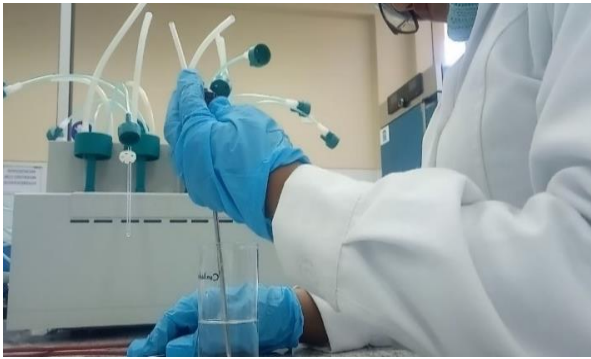


Tubos de reacción.

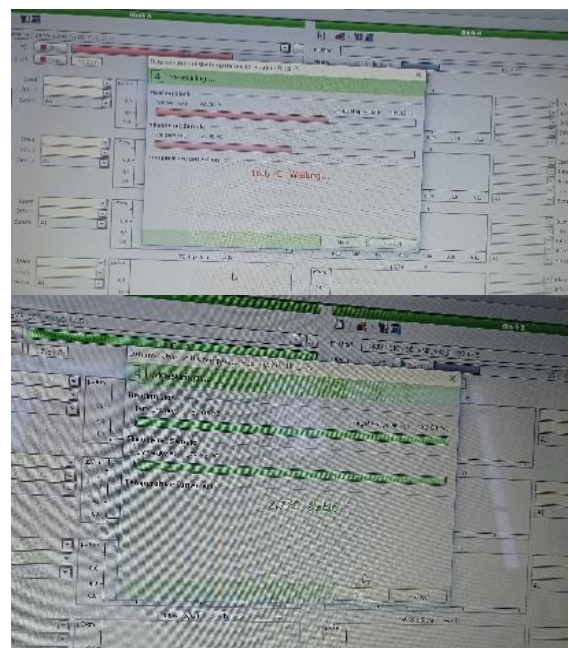


Vasos de polietileno.

### Anexo 13: Corrección de celda y temperatura del Rancimat.



Determinación de las celdas constantes.



Corrección de temperatura antes del análisis del OSI.

### Anexo 14: Acondicionamiento de los materiales del Rancimat para el análisis del OSI.



Agregando 60 ml de agua destilada a los vasos de polietileno y posteriormente se colocaron los vasos en el lugar correspondiente en el Rancimat.

### Anexo 15: Preparación de las muestras de aceite de semillas de uva.

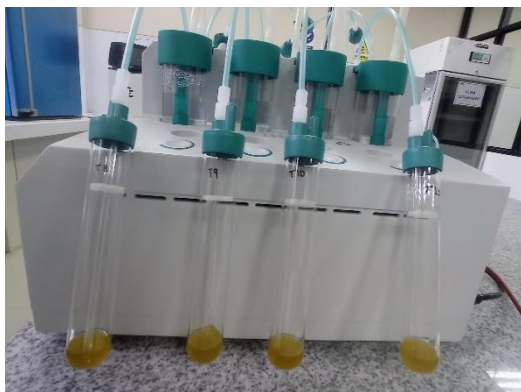


Micropipeta P1000 (100 – 1000 uL).



Adición del aceite de semillas de uva a los tubos de reacción.

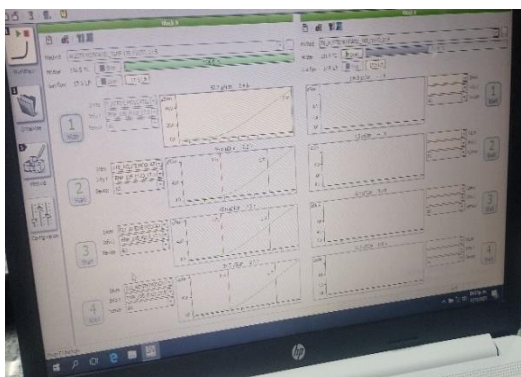
### Anexo 16: Evaluación del OSI del aceite de semillas de uva sin antioxidantes.



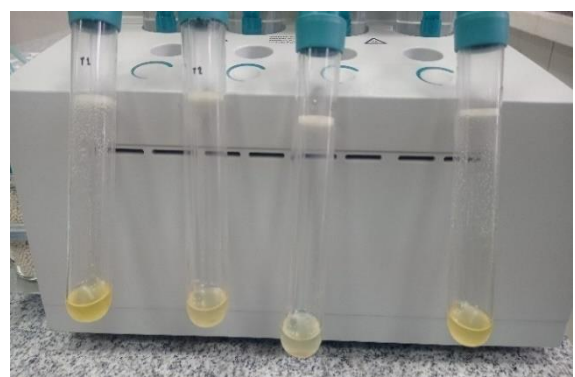
Muestras de aceite listas para ser analizadas en el Rancimat (sin antioxidantes).



Iniciando con el análisis del OSI en el Rancimat.



Resultados del análisis en el programa StabNet.



Muestras de aceite oxidadas después de la evaluación del OSI.

**Anexo 17: Antioxidantes naturales para la evaluación del OSI del aceite de semillas de uva.**

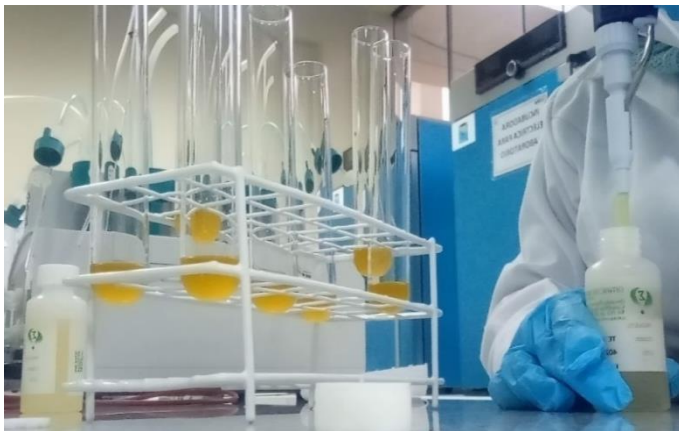


Extracto de Té Verde y extracto de Romero.

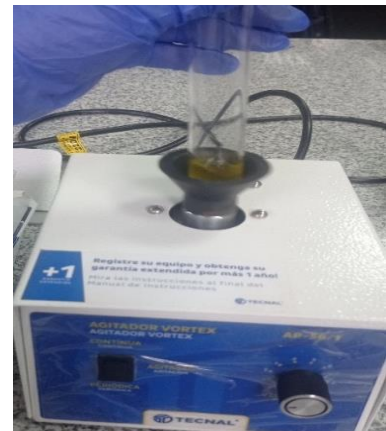


Micropipeta P2 (0.2 – 2uL).

**Anexo 18: Evaluación del OSI del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales.**



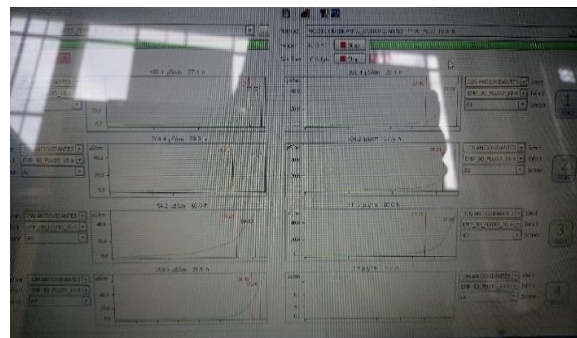
Preparación de muestras de aceite y adición de antioxidantes a cada tubo de reacción.



Agitando las muestras de aceite con antioxidantes para homogeneizar.

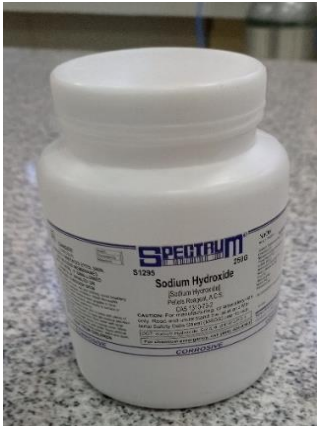


Iniciando con la evaluación del OSI del aceite de semillas de uva con adición de antioxidantes naturales.



Resultados de la evaluación del OSI en el StabNet.

**Anexo 19: Preparación de los reactivos para el análisis del índice de acidez y peróxidos del aceite de semillas de uva.**



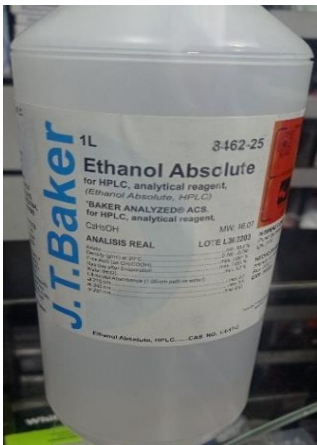
Reactivo hidróxido de sodio.



Pesando el hidróxido de sodio.



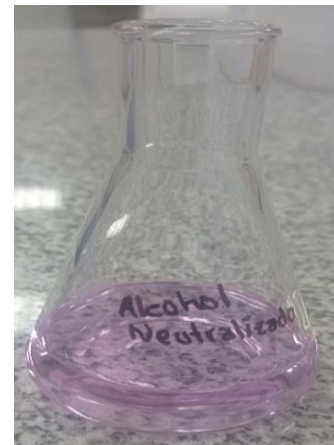
Solución de hidróxido de sodio al 0.1N



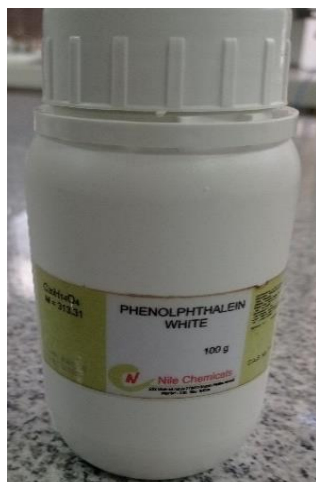
Etanol absoluto (100°).



Etanol corregido a 95 grados.



Etanol neutralizado.



Reactivo fenolftaleína.



Solución de fenolftaleína al 1%.



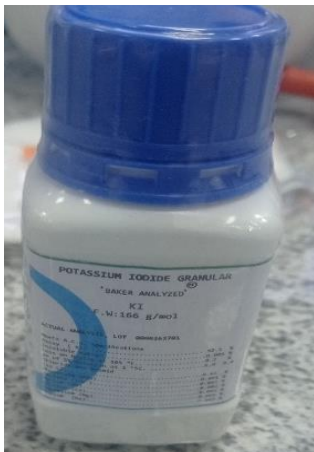
Reactivo cloroformo.



Reactivo ácido acético.



Reactivo tiosulfato de sodio: 0.1N.



Ioduro de potasio.



Pesando el ioduro de potasio para preparar la solución saturada.



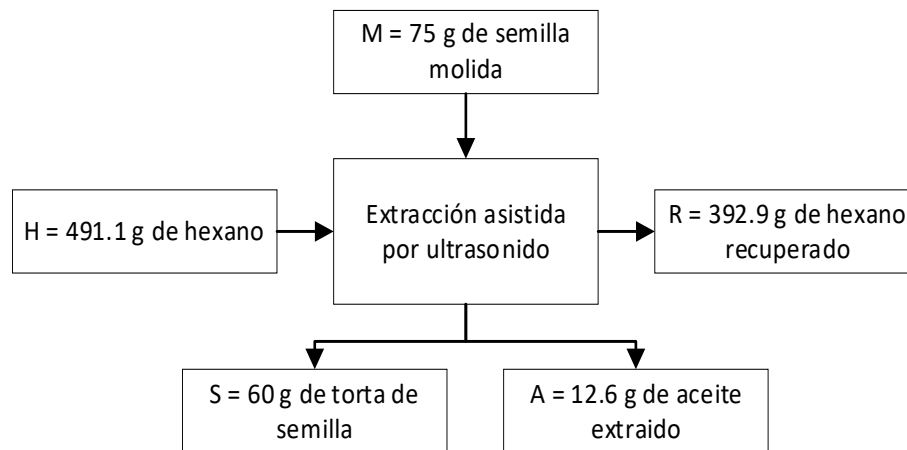
Solución de almidón al 1%.

## Anexo 20: Análisis de la acidez y peróxido del aceite de semillas de uva.



Titulación del aceite para determinar el índice de acidez y peróxido.

**Anexo 21: Balance de materia de la extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de uva.**



**Balance de materia**

Entrada:

- 75 g de semilla molida de uva.
- 491.1 g de hexano (solvente).

Salida:

- 12.6 g de aceite.
- 60 g de torta de semilla de uva.
- 392.9 g de hexano recuperado.

Componente	Entrada (g)	Salida (g)	Acumulación (g)
Semilla molida de uva	75	-	-
Hexano	491.1	392.9	98.2
Aceite	-	12.6	-
Torta		60	-
<b>Total</b>	<b>566.1</b>	<b>465.5</b>	<b>100.6</b>

Según el balance de materia realizado se han perdido 100.6 gramos de materia, principalmente son pérdidas por evaporación del hexano y adsorción del aceite en la torta de la semilla.

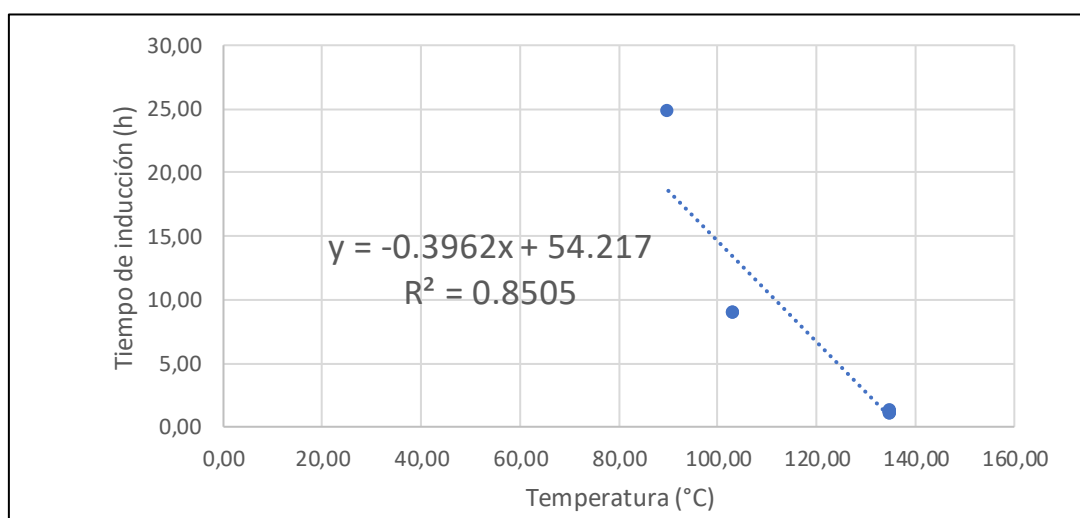
**Anexo 22: Optimización de respuesta: Predicción de respuesta múltiple del OSI del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta.**

Variable	Valor de configuración			
Temperatura	90			
Flujo de aire	18.6364			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Tiempo de Estabilidad	27.36	1.40	(24.04; 30.68)	(22.07; 32.66)
Periodo de Inducción	20.61	2.17	(15.49; 25.74)	(12.44; 28.78)

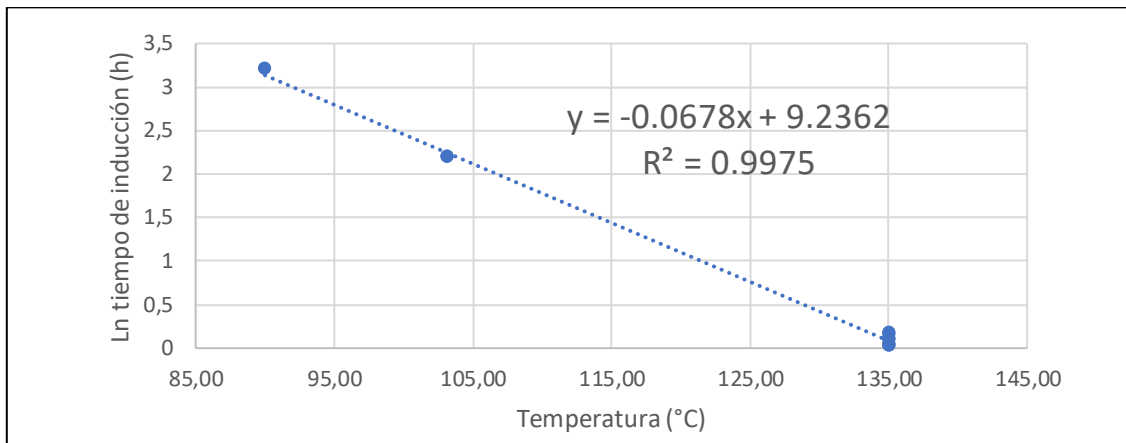
**Anexo 23: Optimización de respuesta: Predicción de respuesta múltiple del OSI del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría.**

Variable	Valor de configuración			
Temperatura	90			
Flujo de aire	16.7778			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Tiempo de estabilidad	19.58	1.66	(15.64; 23.51)	(13.27; 25.88)
Periodo de inducción	16.86	1.57	(13.14; 20.58)	(10.90; 22.82)

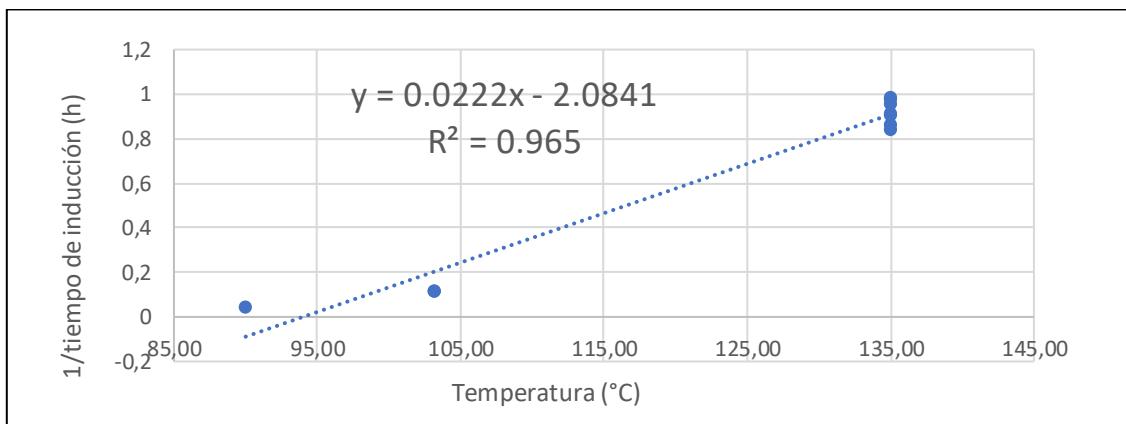
**Anexo 24: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 0.**



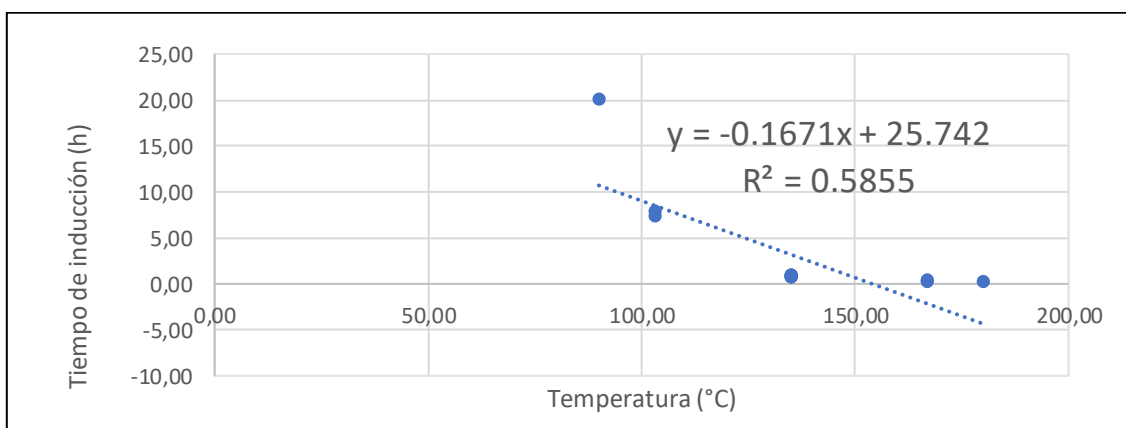
**Anexo 25: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 1.**



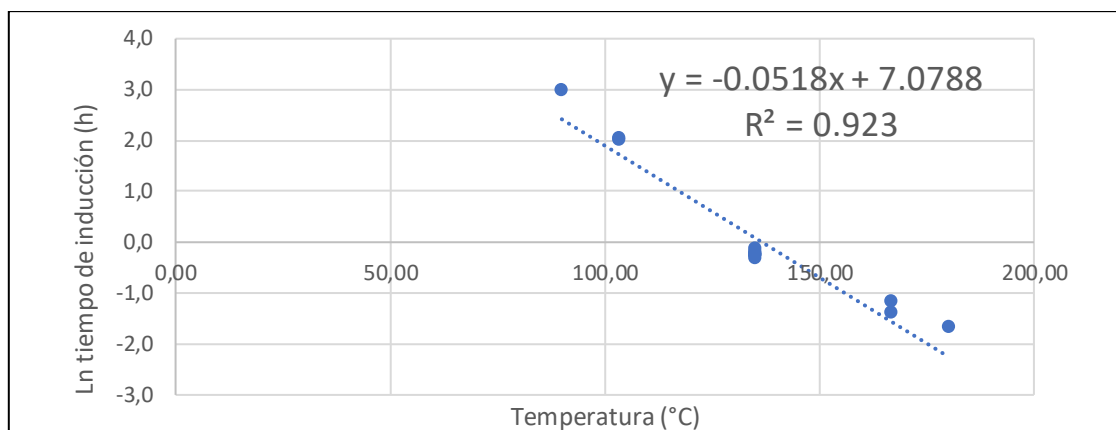
**Anexo 26: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Quebranta, cinética de orden 2.**



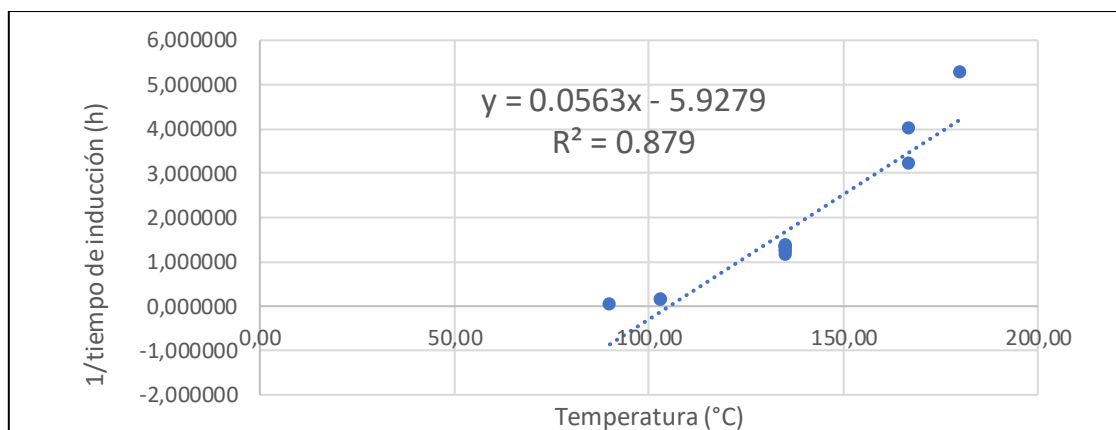
**Anexo 27: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 0.**



**Anexo 28: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 1.**



**Anexo 29: Diagrama de dispersión del comportamiento del OSI con respecto a la temperatura del aceite de semillas de uva, variedad Moscatel de Alejandría, cinética de orden 2.**



**Anexo 30: Valores determinados mediante simulación del comportamiento de la temperatura en la velocidad de reacción de oxidación del aceite de semillas de uva.**

Temp (°C)	Ln de la pendiente (OSI)	Antilogaritmo (ln)	Temp (°C)	Ln de la pendiente (OSI)	Antilogaritmo (ln)
10	6.56	706.84	56	4.18	65.24
11	6.51	671.15	57	4.13	61.94
12	6.46	637.27	58	4.07	58.82
13	6.41	605.10	59	4.02	55.85
14	6.35	574.56	60	3.97	53.03
15	6.30	545.55	61	3.92	50.35
16	6.25	518.01	62	3.87	47.81
17	6.20	491.86	63	3.82	45.39

<<continuación>>

---

<b>18</b>	6.15	467.03	<b>64</b>	3.76	43.10
<b>19</b>	6.09	443.46	<b>65</b>	3.71	40.93
<b>20</b>	6.04	421.07	<b>66</b>	3.66	38.86
<b>21</b>	5.99	399.81	<b>67</b>	3.61	36.90
<b>22</b>	5.94	379.63	<b>68</b>	3.56	35.04
<b>23</b>	5.89	360.47	<b>69</b>	3.50	33.27
<b>24</b>	5.84	342.27	<b>70</b>	3.45	31.59
<b>25</b>	5.78	324.99	<b>71</b>	3.40	29.99
<b>26</b>	5.73	308.59	<b>72</b>	3.35	28.48
<b>27</b>	5.68	293.01	<b>73</b>	3.30	27.04
<b>28</b>	5.63	278.22	<b>74</b>	3.25	25.68
<b>29</b>	5.58	264.17	<b>75</b>	3.19	24.38
<b>30</b>	5.52	250.84	<b>76</b>	3.14	23.15
<b>31</b>	5.47	238.17	<b>77</b>	3.09	21.98
<b>32</b>	5.42	226.15	<b>78</b>	3.04	20.87
<b>33</b>	5.37	214.73	<b>79</b>	2.99	19.82
<b>34</b>	5.32	203.89	<b>80</b>	2.93	18.82
<b>35</b>	5.27	193.60	<b>81</b>	2.88	17.87
<b>36</b>	5.21	183.83	<b>82</b>	2.83	16.97
<b>37</b>	5.16	174.55	<b>83</b>	2.78	16.11
<b>38</b>	5.11	165.74	<b>84</b>	2.73	15.30
<b>39</b>	5.06	157.37	<b>85</b>	2.68	14.52
<b>40</b>	5.01	149.43	<b>86</b>	2.62	13.79
<b>41</b>	4.96	141.88	<b>87</b>	2.57	13.09
<b>42</b>	4.90	134.72	<b>88</b>	2.52	12.43
<b>43</b>	4.85	127.92	<b>89</b>	2.47	11.81
<b>44</b>	4.80	121.46	<b>90</b>	2.42	11.21
<b>45</b>	4.75	115.33	<b>91</b>	2.37	10.64
<b>46</b>	4.70	109.51	<b>92</b>	2.31	10.11
<b>47</b>	4.64	103.98	<b>93</b>	2.26	9.60
<b>48</b>	4.59	98.73	<b>94</b>	2.21	9.11
<b>49</b>	4.54	93.75	<b>95</b>	2.16	8.65
<b>50</b>	4.49	89.01	<b>96</b>	2.11	8.22
<b>51</b>	4.44	84.52	<b>97</b>	2.05	7.80
<b>52</b>	4.39	80.25	<b>98</b>	2.00	7.41
<b>53</b>	4.33	76.20	<b>99</b>	1.95	7.03
<b>54</b>	4.28	72.36	<b>100</b>	1.90	6.68
<b>55</b>	4.23	68.70			

---

**Anexo 31: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta.**

N° de trat.	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
	R 1	R 2	R 3	Promedio	Desviación estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar
<b>T1</b>	8.90	8.92	8.88	<b>8.90</b>	0.02	11.66	11.46	11.26	<b>11.36</b>	0.1
<b>T2</b>	2.22	2.27	2.32	<b>2.27</b>	0.05	3.89	3.69	3.49	<b>3.69</b>	0.2
<b>T3</b>	8.94	8.92	8.90	<b>8.92</b>	0.02	20.81	20.91	21.01	<b>20.91</b>	0.1
<b>T4</b>	1.57	1.67	1.62	<b>1.62</b>	0.05	3.05	2.65	2.85	<b>2.85</b>	0.2
<b>T5</b>	24.78	24.81	24.84	<b>24.81</b>	0.03	27.38	27.28	27.18	<b>27.28</b>	0.1
<b>T6</b>	1.59	1.55	1.63	<b>1.59</b>	0.04	3.35	3.25	3.45	<b>3.35</b>	0.1
<b>T7</b>	1.19	1.17	1.21	<b>1.19</b>	0.02	2.31	2.11	2.51	<b>2.31</b>	0.2
<b>T8</b>	0.99	1.03	1.07	<b>1.03</b>	0.04	1.95	1.85	1.75	<b>1.85</b>	0.1
<b>T9</b>	1.03	1.05	1.07	<b>1.05</b>	0.02	2.32	2.12	1.92	<b>2.12</b>	0.2
<b>T10</b>	1.13	1.10	1.07	<b>1.10</b>	0.03	2.30	2.20	2.10	<b>2.20</b>	0.1
<b>T11</b>	1.14	1.11	1.08	<b>1.11</b>	0.03	2.26	2.06	1.86	<b>2.06</b>	0.2
<b>T12</b>	1.00	1.04	1.02	<b>1.02</b>	0.02	1.65	1.05	2.85	<b>1.85</b>	0.2
<b>T13</b>	1.13	1.19	1.16	<b>1.16</b>	0.03	2.43	2.03	2.23	<b>2.23</b>	0.2

**Anexo 32: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría.**

N° de trat.	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar
<b>T1</b>	7.73	7.76	7.79	<b>7.76</b>	0.03	9.60	9.70	9.50	<b>9.60</b>	0.1
<b>T2</b>	0.27	0.31	0.35	<b>0.31</b>	0.04	1.36	1.16	0.96	<b>1.16</b>	0.2
<b>T3</b>	7.35	7.37	7.39	<b>7.37</b>	0.02	9.51	9.61	9.71	<b>9.61</b>	0.1
<b>T4</b>	0.21	0.25	0.29	<b>0.25</b>	0.04	1.06	0.98	0.90	<b>0.98</b>	0.08
<b>T5</b>	19.95	19.97	19.99	<b>19.97</b>	0.02	22.97	22.87	22.77	<b>22.87</b>	0.1
<b>T6</b>	0.17	0.19	0.21	<b>0.19</b>	0.02	0.63	0.73	0.83	<b>0.73</b>	0.1
<b>T7</b>	0.85	0.88	0.91	<b>0.88</b>	0.03	2.01	2.10	2.19	<b>2.10</b>	0.09
<b>T8</b>	0.72	0.76	0.80	<b>0.76</b>	0.04	1.80	1.90	1.70	<b>1.80</b>	0.1
<b>T9</b>	0.76	0.81	0.86	<b>0.81</b>	0.05	2.47	2.27	2.37	<b>2.37</b>	0.1
<b>T10</b>	0.74	0.76	0.78	<b>0.76</b>	0.02	1.82	1.72	1.62	<b>1.72</b>	0.1
<b>T11</b>	0.70	0.73	0.76	<b>0.73</b>	0.03	1.85	1.76	1.67	<b>1.76</b>	0.09
<b>T12</b>	0.74	0.76	0.78	<b>0.76</b>	0.02	1.67	1.77	1.87	<b>1.77</b>	0.1
<b>T13</b>	0.76	0.79	0.82	<b>0.79</b>	0.03	1.82	1.90	1.74	<b>1.82</b>	0.08

**Anexo 33: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta con mezcla de antioxidantes naturales.**

N° de trat.	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar
T1	25.07	24.77	25.37	<b>25.07</b>	0.3	27.02	27.22	26.82	<b>27.02</b>	0.2
T2	23.20	23.50	23.80	<b>23.50</b>	0.3	29.99	29.79	29.59	<b>29.79</b>	0.2
T3	24.84	25.24	25.64	<b>25.24</b>	0.4	26.93	27.43	26.43	<b>26.93</b>	0.5
T4	25.92	26.12	26.32	<b>26.12</b>	0.2	28.00	27.70	27.40	<b>27.70</b>	0.3
T5	22.15	22.45	22.75	<b>22.45</b>	0.3	28.68	28.08	28.38	<b>28.38</b>	0.3
T6	25.21	25.01	25.41	<b>25.21</b>	0.2	27.08	27.48	27.28	<b>27.28</b>	0.2
T7	21.92	22.52	22.22	<b>22.22</b>	0.3	27.77	27.97	28.17	<b>27.97</b>	0.2
T8	23.77	24.07	24.37	<b>24.07</b>	0.3	27.41	27.11	26.81	<b>27.11</b>	0.3
T9	24.21	24.51	24.81	<b>24.51</b>	0.3	26.31	26.71	25.91	<b>26.31</b>	0.4
T10	24.07	24.27	24.47	<b>24.27</b>	0.2	27.09	26.69	26.29	<b>26.69</b>	0.4
T11	24.59	24.79	24.99	<b>24.79</b>	0.2	26.61	26.91	26.31	<b>26.61</b>	0.3
T12	24.47	24.67	24.87	<b>24.67</b>	0.2	27.40	27.00	27.80	<b>27.40</b>	0.4
T13	23.84	24.14	24.44	<b>24.14</b>	0.3	27.52	27.32	27.12	<b>27.32</b>	0.2

**Anexo 34: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría con mezcla de antioxidantes naturales.**

N° de trat.	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar
<b>T1</b>	19.48	19.58	19.68	<b>19.58</b>	0.1	21.66	21.96	21.36	<b>21.66</b>	0.3
<b>T2</b>	17.75	17.35	18.15	<b>17.75</b>	0.4	22.11	22.31	21.91	<b>22.11</b>	0.2
<b>T3</b>	19.22	19.62	19.42	<b>19.42</b>	0.2	21.41	21.71	22.01	<b>21.71</b>	0.3
<b>T4</b>	19.38	19.48	19.58	<b>19.48</b>	0.1	21.78	21.58	21.38	<b>21.58</b>	0.2
<b>T5</b>	19.37	19.27	19.47	<b>19.37</b>	0.1	21.86	21.26	21.56	<b>21.56</b>	0.3
<b>T6</b>	19.62	19.52	19.72	<b>19.62</b>	0.1	21.74	22.04	22.34	<b>22.04</b>	0.3
<b>T7</b>	19.13	19.33	19.53	<b>19.33</b>	0.2	21.33	21.63	21.93	<b>21.63</b>	0.3
<b>T8</b>	18.87	19.17	19.47	<b>19.17</b>	0.3	22.23	22.43	22.03	<b>22.23</b>	0.2
<b>T9</b>	19.38	19.48	19.58	<b>19.48</b>	0.1	21.96	22.16	21.76	<b>21.96</b>	0.2
<b>T10</b>	19.55	19.45	19.65	<b>19.55</b>	0.1	22.68	22.38	22.08	<b>22.38</b>	0.3
<b>T11</b>	19.51	19.41	19.61	<b>19.51</b>	0.1	21.31	21.61	21.01	<b>21.31</b>	0.3
<b>T12</b>	19.03	19.43	19.23	<b>19.23</b>	0.2	21.37	21.07	20.77	<b>21.07</b>	0.3
<b>T13</b>	19.34	19.24	19.44	<b>19.34</b>	0.1	21.91	21.51	21.71	<b>21.71</b>	0.2

**Anexo 35: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Quebranta con antioxidantes naturales, evaluados individualmente.**

Extractos de trat.	N°	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
		R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar
<b>Romero</b>	T1	24.23	24.26	24.29	<b>24.26</b>	0.03	26.61	26.91	26.31	<b>26.61</b>	0.3
	T2	24.43	24.45	24.41	<b>24.43</b>	0.02	27.26	27.06	26.86	<b>27.06</b>	0.2
	T3	24.69	24.67	24.71	<b>24.69</b>	0.02	27.02	27.32	27.62	<b>27.32</b>	0.3
<b>Té verde</b>	T3	25.04	25.00	25.08	<b>25.04</b>	0.04	27.58	27.48	27.38	<b>27.48</b>	0.1
	T1	24.86	24.89	24.92	<b>24.89</b>	0.03	27.23	27.63	27.43	<b>27.43</b>	0.2
	T2	22.64	22.69	22.74	<b>22.69</b>	0.05	25.04	25.14	25.24	<b>25.14</b>	0.1

**Anexo 36: Desviación estándar del OSI, aceite variedad Moscatel de Alejandría con antioxidantes naturales, evaluados individualmente.**

Extracto	N° de trat	Tiempos de inducción (h)					Tiempos de estabilidad (h)				
		R1	R2	R3	Promedio	Desv. estándar	R1	R2	R3	Promedio	Desv. estándar
<b>Romero</b>	T1	19.39	19.41	19.37	<b>19.39</b>	0.02	21.56	21.66	21.76	<b>21.66</b>	0.1
	T2	19.32	19.35	19.38	<b>19.35</b>	0.03	22.21	22.41	22.31	<b>22.31</b>	0.1
	T3	19.38	19.40	19.36	<b>19.38</b>	0.02	22.60	22.80	22.40	<b>22.60</b>	0.2
<b>Té verde</b>	T1	21.27	21.29	21.31	<b>21.29</b>	0.02	23.38	22.98	23.18	<b>23.18</b>	0.2
	T2	19.98	20.01	19.95	<b>19.98</b>	0.03	21.96	22.36	22.16	<b>22.16</b>	0.2
	T3	19.93	19.91	19.95	<b>19.93</b>	0.02	23.16	23.06	23.26	<b>23.16</b>	0.1

