

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



**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA
(OSI) DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet),
SUPLEMENTADO CON ANTIOXIDANTES
NATURALES POR EL MÉTODO
RANCIMAT”**

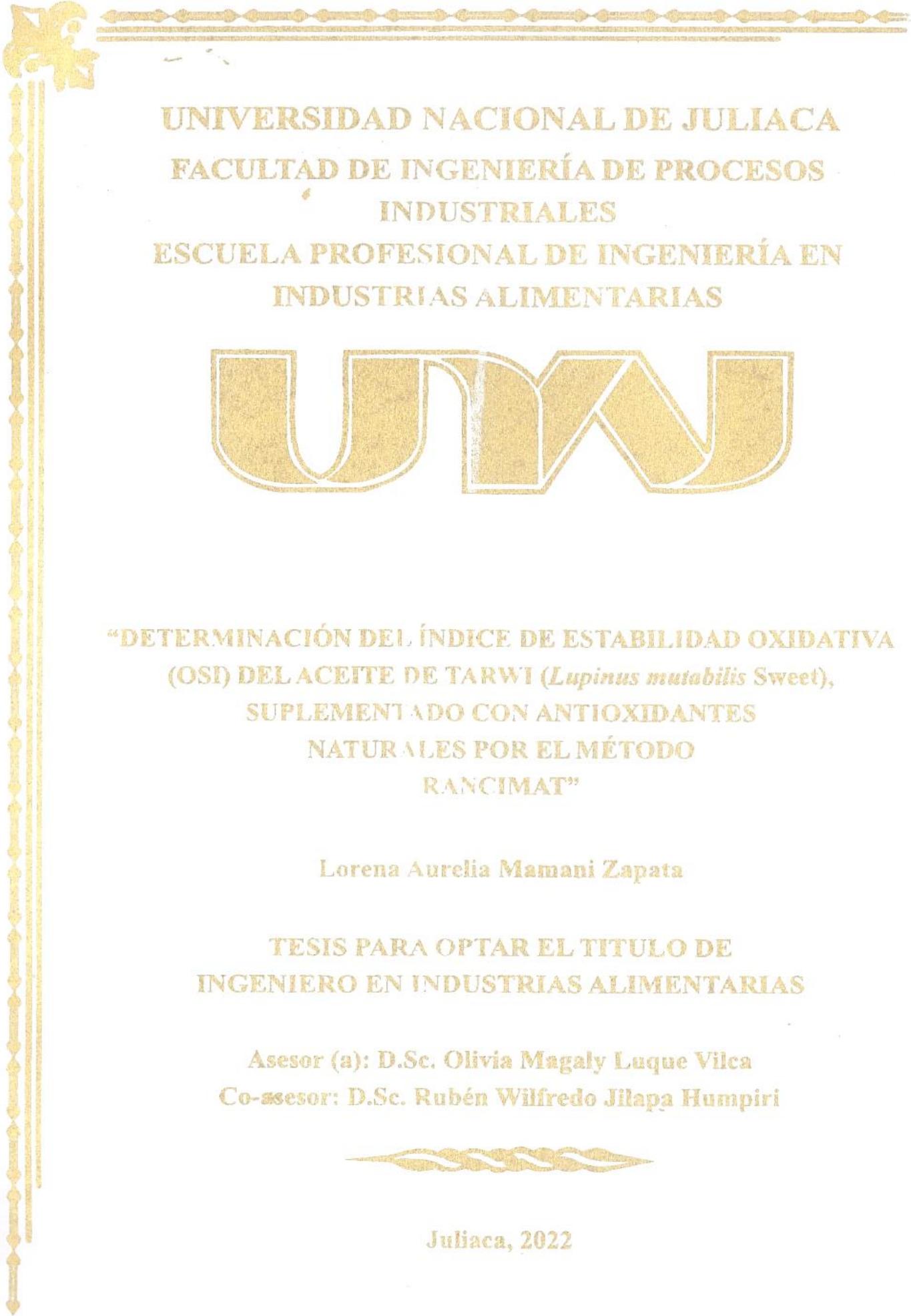
Lorena Aurelia Mamani Zapata

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

Asesor (a): D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
Co-asesor: D.Sc. Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri



Juliaca, 2022



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



**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA
(OSI) DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet),
SUPLEMENTADO CON ANTIOXIDANTES
NATURALES POR EL MÉTODO
RANCIMAT”**

Lorena Aurelia Mamani Zapata

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

Asesor (a): D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
Co-asesor: D.Sc. Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri



Juliaca, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA
(OSI) DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet),
SUPLEMENTADO CON ANTIOXIDANTES
NATURALES POR EL MÉTODO
RANCIMAT”**

Lorena Aurelia Mamani Zapata

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor (a): Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Co-asesor: Dr. Sc. Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri

Juliaca, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

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

AUTOR: Lorena Aurelia Mamani Zapata

TÍTULO: Determinación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), suplementado con antioxidantes naturales por el método Rancimat.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (103pp)

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

CÓDIGO: 03-000013-03/M21

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

CO-ASESOR: Dr. Sc. Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri

PALABRAS CLAVE:

Aceite, antioxidantes, estabilidad oxidativa, Método Rancimat, tarwi.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA
(OSI) DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet),
SUPLEMENTADO CON ANTIOXIDANTES
NATURALES POR EL MÉTODO
RANCIMAT”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Lorena Aurelia Mamani Zapata

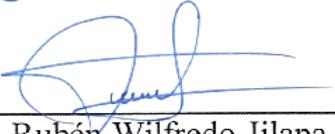
Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:


Mg. Tania Jakeline Choque Rivera
PRESIDENTE DE JURADO


M.Sc. José Manuel Prieto
SEGUNDO MIEMBRO


M.Sc. Lenin Quille Quille
TERCER MIEMBRO


D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
ASESOR(A) DE TESIS


D.Sc. Rubén Wilfredo Jilapa
Humpiri
CO-ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA
(OSI) DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet),
SUPLEMENTADO CON ANTIOXIDANTES
NATURALES POR EL MÉTODO
RANCIMAT”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Lorena Aurelia Mamani Zapata

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg. Tania Jakeline Choque Rivera
PRESIDENTE DE JURADO

M.Sc. José Manuel Prieto
SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. Lenin Quille Quille
TERCER MIEMBRO

D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
ASESOR(A) DE TESIS

D.Sc. Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri
CO-ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mis padres Simón y Aurelia, por estar conmigo, por enseñarme a crecer y creer en mí, por apoyarme y guiarme, por sacrificarse en darme una educación, por ser la inspiración para seguir adelante, que fueron las principales personas para alcanzar esta nueva meta.

Tu que desde el cielo me guías, J.J.Q.Z, el angelito que está cuidándome.

A mi asesora Olivia quien me alentó y me ayudo incondicionalmente a conseguir los materiales para finalizar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quisiera agradecer a Dios, por haberme guiado a lo largo de mi vida y darme la fortaleza en esos momentos de debilidad, a mi asesora, la Dra. Olivia Luque, por la dedicación y apoyo que me ha brindado continuamente en este trabajo, por sus sugerencias e ideas. Gracias por la confianza para terminar este proyecto.

Asimismo, agradezco a mis jurados. Mg. Tania Choque Rivera, Mg. José Manuel Prieto, Mg. Lenin Quille Quille, por la comprensión, sus orientaciones y atención a mis consultas sobre metodología. Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso también agradezco al Ing. Joel Coaquira de la Universidad Peruana Unión por brindarme su apoyo y la facilidad de utilizar los equipos que estaba requiriendo para este proyecto, mi más sincero agradecimiento. A Vanesa Mozo, de la Universidad Nacional de Santa, por su amabilidad en prestarme sus apuntes, muy agradecida. Gracias a mi familia, a mis padres y a mi hermano, por siempre alentarme a terminar con este proyecto.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo. A todos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLA	XI
ÍNDICE DE ANEXO	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema	XVI
1.2. Objetivos de la investigación.....	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación.....	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación.....	19
2.2. Generalidades del tarwi.	21
2.2.1. Producción de tarwi en el Perú.....	21
2.2.2. Producción de tarwi en el mundo.....	22
2.3. Variedades.	23
2.4. Composición química.....	24
2.4.1. Características generales del aceite de tarwi	25
2.4.2. Importancia de los ácidos grasos en el aceite de tarwi.....	26
2.4.3. Reacción de auto-oxidación	27
2.4.4. Alteraciones de los lípidos.....	28
2.4.5. Lípidos.....	28
2.4.6. Toxicidad.....	29
2.5. Principales centros de cultivo del tarwi.....	29
2.6. Usos del tarwi.....	30

2.6.1. Usos alimenticios.....	30
2.7. Uso de aceite de tarwi.....	30
2.8. Antioxidantes.....	31
2.8.1. Extracto de té verde.	31
2.8.2. Extracto de romero.	32
2.9. Estabilidad de la oxidación de grasas y aceites	32
2.10. Estabilidad como parámetro de control de calidad.....	33
2.11. Métodos para determinar la estabilidad oxidativa de los aceites o grasas.....	34
2.12. Método Rancimat.	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución.....	36
3.2. Población y muestra.	36
3.3. Aditivos, equipos y materiales.....	36
3.3.1. Aditivos.	36
3.3.2. Reactivos.	36
3.3.3. Equipos.	37
3.3.4. Materiales.	37
3.4. Metodología experimental.	38
3.5. Método piteba (proceso de prensado en frío).	39
3.5.1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de tarwi.	39
3.5.2. Descripción de proceso de extracción del aceite de tarwi.	40
3.6. Análisis fisicoquímico.	41
3.6.1. Determinación de la densidad.....	41
3.6.2. Índice de acidez.	41
3.6.3. Índice de humedad e impurezas.....	42
3.6.4. Índice de iodo.	42
3.6.5. Índice de peróxido.	43
3.6.6. Índice de p-anisidina.....	43
3.6.7. Índice de viscosidad.....	44
3.7. Determinación de la energía de activación:	44
3.8. Método Rancimat (estimación del índice de estabilidad oxidativa (OSI)).	45

3.8.1.	Adición de antioxidantes de origen natural.	45
3.8.2.	Análisis en el equipo Rancimat del aceite de tarwi.	46
3.9.	VARIABLES DE ESTUDIO.	47
3.9.1.	Análisis estadístico:	48

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Tiempos de inducción del aceite de tarwi con y sin antioxidantes.	50
4.1.1.	Anova de los tiempos de inducción del aceite de tarwi con y sin antioxidantes naturales a diferentes temperaturas.	52
4.2.	Análisis fisicoquímico del aceite de tarwi con y sin antioxidantes.	56
4.2.1.	Análisis fisicoquímico del aceite tarwi sin antioxidante	56
4.2.2.	Análisis fisicoquímico del aceite tarwi con antioxidante	58
4.2.3.	Determinación de la vida útil.	59
4.3.	Determinación de la energía de activación.	60

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.	63
5.2.	Recomendaciones.	64
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.		65
ANEXOS		69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de la metodología experimental.....	38
Figura 2: Diagrama del flujo del proceso de extracción de aceite de tarwi.....	39
Figura 3: Diagrama de flujo de la adición de los antioxidantes.	45
Figura 4: Diagrama de flujo del análisis en el equipo Rancimat. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 5: Proceso de secado del grano de tarwi.	76
Figura 6: Prensa de tornillo simple PITEBA.....	76
Figura 7: Centrifugación del aceite de tarwi.	76
Figura 8: Aceite de tarwi.	77
Figura 9: Extracto oleoso de romero	77
Figura 10: Extracto oleoso de té verde.	77
Figura 11: Análisis en el equipo Rancimat.....	78
Figura 12: Dosificación de agua destilada en la probeta.	78
Figura 13: Adición de agua destilada en el vaso de polipropileno.....	79
Figura 14: Comprobando de que el equipo funcione adecuadamente.....	79
Figura 15: Conexión adecuada de los tubos hacia los respectivos recipientes.....	80
Figura 16: Aceite de tarwi en el tubo de reacción.	81
Figura 17: Adición de aceite de tarwi a los tubos de reacción.	81
Figura 18: Adición de aceite de tarwi para los diferentes tratamiento en tubos de reaccion.	82
Figura 19: Adición de los antioxidantes naturales en tubos de reacción con aceite de tarwi.	83
Figura 20: Adición de extracto de romero a diferentes concentraciones.	84
Figura 21: Adición de extracto de té verde a diferentes concentraciones.	85
Figura 22: Muestras de aceite de tarwi listas para la evaluación de estabilidad oxidativa en el equipo Rancimat.	86
Figura 23: Corrección de la temperatura en el equipo Rancimat.	87
Figura 24: Agua destilada y tamis molecular para los gases.	87
Figura 25: Aceite de silicona (patrón para hacer la corrección de temperatura).....	88
Figura 26: Agua de conductividad estándar (patrón para hacer la corrección de conductividad del agua).	88
Figura 27: Reactivos para analizar los parámetros fisicoquímicos del aceite de tarwi. .	90
Figura 28: Diagrama de flujo de balance de materia de extracción de aceite.	91

Figura 29: Determinación del tiempo de vida útil por extrapolación del OSI a 13°C del tratamiento T0.	94
Figura 30: Determinación del tiempo de vida útil por extrapolación del OSI a 13°C el tratamiento T8.	94

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Indicadores de producción de tarwi.....	21
Tabla 2: Producción de tarwi según zonas de producción.....	22
Tabla 3: Valor nutricional de tarwi.....	25
Tabla 4: Composición de ácidos grasos del tarwi des amargado.	26
Tabla 5: Tratamiento para la concentración mínimo y máximo en ppm de antioxidante.48	
Tabla 6: Tratamiento para la concentración en ppm de las mezclas de antioxidantes. .	49
Tabla 7: Tiempo de inducción del aceite de tarwi sin adición y con adición de antioxidantes naturales.....	51
Tabla 8: Anova del tiempo de inducción a 110°C, 130°C y 180°C a los distintos tratamientos de antioxidantes.	53
Tabla 9: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95% de Temperatura de 110°C.....	53
Tabla 10: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95% de temperatura de 130°C.....	54
Tabla 11: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95% de temperatura de 180°C.....	55
Tabla 12: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95% de temperaturas.....	55
Tabla 13: Calidad fisicoquímica del aceite de tarwi.....	57
Tabla 14: Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos.	58
Tabla 15: Valores de la extrapolación a 13°C.	59
Tabla 16: Energía de activación (Ea) para los diferentes tratamientos.	61
Tabla 17: Balance de masa de componentes durante el proceso de extracción de aceite en base a 30 Kg.	92
Tabla 18: Índices de Estabilidad Oxidativa del aceite de tarwi.....	92
Tabla 19: Tratamientos.....	95

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Ficha técnica del extracto de té verde.....	69
Anexo 2: Ficha técnica del extracto de romero.....	73
Anexo 3: Extracción del aceite de tarwi.....	76
Anexo 4: Aceite de tarwi.....	77
Anexo 5: Antioxidantes.....	77
Anexo 6: Equipo Rancimat.....	78
Anexo 7: Análisis en el equipo Rancimat.....	81
Anexo 8: Reactivos que se utilizaron.....	87
Anexo 9: Descripción del proceso de extracción de aceite de tarwi.....	90
Anexo 10: Índice de Estabilidad Oxidativa en Aceite de tarwi.....	92
Anexo 11: Determinación de la vida útil del aceite de tarwi a 13°C.....	94
Anexo 12: Determinación de la energía de activación a partir de la ecuación de Arrhenius.	95
Anexo 13: Tiempo de inducción del aceite de tarwi a una temperatura de 13°C (temperatura ambiente), utilizando la ecuación de Arrhenius.....	100

RESUMEN

The objective of the research was to evaluate the oxidative stability index (OSI) of tarwi oil using natural antioxidants such as rosemary extract and green tea in order to arrange a better mixture to achieve the longest oxidative stability time, for this purpose, it was executed by the Rancimat method, undergoing temperatures of 110°C; 130 °C and 180 °C, with a constant air flow of 20 L/h. The induction times of treatment 11 (where green tea extract was added at 500 PPM plus rosemary extract at 200 PPM) were 12.09, 2.74 and 0.05 hours at temperatures of 110°C, 130 °C and 180 °C, respectively, resulting to be the best treatment. In addition, the evaluation of the physicochemical characteristics of tarwi oil without antioxidant before undergoing accelerated oxidation was carried out, such as: % titratable acidity 3.01 (mg KOH/gr), moisture and impurities 0.4 (% m/m), density 0.921 (% m/m), iodine index 92 (mg I₂/gr), peroxide index 3.7 (meq O₂/kg), p-anisidine index 2.4; compared to the physicochemical analysis of tarwi oil with antioxidants, values of 3.25 (meq O₂/kg) peroxide and 1.29 p-anisidine were obtained, demonstrating the effect of antioxidants. The activation energy of the different treatments was also determined, showing that tarwi oil without antioxidants has 105.97 kJ/mol, due to the fact that tarwi has antioxidant capacity; and with the addition of natural antioxidants, the activation energy increased to 122.89 kJ/mol, corresponding to treatment 10 (T10), which proves the effectiveness of the antioxidants. The determination of shelf life was extrapolated at 13 °C, which indicates that tarwi oil without addition of antioxidants has a shelf life of (1.35 years) and the best treatment T8 (4.41 years) by the Rancimat method.

Palabras claves: Aceite, antioxidantes, método Rancimat, periodo de inducción, tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the oxidative stability index (OSI) of tarwi oil using natural antioxidants such as green tea extract and rosemary extract in order to arrange a better mixture to achieve the longest oxidative stability time, for this, it was executed by the Rancimat method, being subjected to temperatures of 110°C; 130 °C and 180 °C, with a constant air flow of 20 L/h. The induction times for treatment 11 (where the mixture of green tea extract at 500 PPM plus rosemary extract at 200 PPM) were 12.09 h., 2.74 h. and 0.05 h. at temperatures of 110°C; 130 °C and 180 °C respectively, resulting to be the best treatment, compared with the induction times of 9.72 h., 2.37 h. and 0.06 h. of treatment 0 (without addition of antioxidants) at the same temperatures. In addition, the evaluation of the physicochemical characteristics of tarwi oil without antioxidant before undergoing accelerated oxidation was carried out, such as: % titratable acidity 3.01 (mg KOH/gr), moisture and impurities 0.4 (% m/m), density 0.921 (% m/m), iodine index 92 (mg I₂/gr), peroxide index 3.7 (meq O₂/kg), p-anisidine index 2.4; compared to the physicochemical analysis of tarwi oil with antioxidants, values of 3.25 (meq O₂/kg) peroxide and 1.29 p-anisidine were obtained, demonstrating the effect of antioxidants in the oil. The activation energy of the different treatments was also determined, showing that tarwi oil without antioxidants has 105.97 kJ/mol, due to the fact that tarwi has antioxidant capacity; and with the addition of natural antioxidants, the activation energy increased to 122.89 kJ/mol, corresponding to treatment 10 (T10), which proves the effectiveness of the antioxidants added. The determination of shelf life was extrapolated at 13 °C, which indicates that tarwi oil without the addition of antioxidants has a shelf life of (1.35 years) and the best treatment T8 (4.41 years) by using the Rancimat method.

Key words: Oil, antioxidants, Rancimat method, induction period, tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

INTRODUCCIÓN

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) viene a ser un alimento andino importante por su valioso contenido de grasas, proteínas, y nutrientes; algunos estudios consideran que el aceite de tarwi tiene mejor calidad frente a otros productos. Se conoce que el contenido proteico del chocho es uno de los más altos de origen vegetal (Farinango-Matute y Quizhpi-Mogrovejo, 2015). Actualmente los aceites y grasas son importantes para el ser humano, que proveen ácidos grasos esenciales que nuestro cuerpo no podría sintetizar, también poseen tocoferoles y fitoesteroles, los que no siempre forman parte de la dieta, estos atributos, convierten a esta leguminosa en una alternativa viable no solo para combatir la desnutrición, sino también para disminuir el colesterol y prevenir enfermedades crónicas mejorando la salud y/o ayudar a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Salvatierra y Azorza, 2017).

De su composición fisicoquímica se desprende que del grano, son económicamente aprovechables, las cascarás, alcaloides, el aceite y por ello se desarrollan procesos tecnológicos que permitan recuperar cada una de las fracciones del grano, en menor tiempo (Ortega, 2015). La estabilidad oxidativa es un parámetro importante para la evaluación de calidad de grasas, pronosticando la calidad futura de grasas que serán utilizadas como ingredientes alimenticios. El uso de los antioxidantes naturales ha venido siendo importante para la industria alimentaria debido a que las investigaciones se han direccionado hacia el hallazgo de antioxidantes de origen natural como carotenoides, antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos que puedan eventualmente remplazar el uso de los antioxidantes sintéticos (Piedrahita, 2015). El método Rancimat halla el tiempo de estabilidad a temperaturas elevadas para un aceite en particular, hallando teóricamente la “vida útil. Debido a esto el presente informe de investigación tuvo como objetivo principal evaluar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de Tarwi, empleando antioxidantes naturales por el método Rancimat. Para ello se tuvo tres objetivos específicos que es evaluar el tiempo de inducción del aceite de tarwi con flujo de aire de 20L/h, a temperaturas de 110°C 130°C y 180°C, determinar los índices fisicoquímicos de calidad del aceite de tarwi suplementando con antioxidantes naturales y finalmente calcular la energía de activación del aceite de tarwi utilizando las temperaturas de 110°C 130°C y 180°C por regresión lineal con la ecuación de Arrhenius.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Puno, el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) no es un alimento conocido, a pesar de que es una leguminosa con gran contenido de proteínas, aceite y fuente de energía, aún más que otros alimentos nativos de la región, demostrando que el tarwi constituye una alternativa para la buena nutrición de las personas particularmente de la zona andina de Puno, no está demás señalar que aplicando una tecnología adecuada se puede llegar a aumentar la producción de cultivo de tarwi favoreciendo su comercialización a nivel regional.

La estabilidad de los aceites es importante porque nos permite determinar las alteraciones de las propiedades sensoriales, nutricionales y su calidad, el aceite de tarwi comparada con otras semillas, presenta una alta calidad de grasa, compuestas de ácidos grasos esenciales. Sabiendo que el aceite de tarwi es importante resulta ser de interés para la salud de los seres humanos, el consumo de grasas saturadas se correlaciona con el nivel de colesterol en la sangre. Antioxidantes naturales como el extracto de té verde y el extracto de romero alargan la vida útil y brindan mayor tiempo de protección al producto. Por lo tanto, este informe de investigación trata de que el aceite de tarwi agregado con antioxidantes naturales permita brindar estabilidad contra la oxidación y sea aprovechado para mejorar la salud y nutrición de las personas.

Que responde a las siguientes interrogantes, Pregunta General (PG): ¿Cuál es el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de Tarwi, empleando antioxidantes naturales por el método Rancimat? Pregunta Especifica (PE): ¿Cuál es el tiempo de inducción del aceite de tarwi, a temperaturas de 110°C 130°C y 180°C mediante flujo de 20 L/h, añadiendo antioxidantes naturales? PE: ¿Cuáles son los índices fisicoquímicos de calidad del aceite de tarwi suplementando con antioxidantes naturales, como el extracto de romero y extracto de té verde? PE: ¿Cuál es la energía de activación del aceite de tarwi utilizando las temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C por regresión lineal con la ecuación de Arrhenius?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de Tarwi, empleando antioxidantes naturales por el método Rancimat.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de inducción del aceite de tarwi, a temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C mediante flujo de 20 L/h, añadiendo antioxidantes naturales.
- Evaluar los índices fisicoquímicos de calidad del aceite de tarwi suplementando con antioxidantes naturales, como el extracto de romero y extracto de té verde.
- Calcular la energía de activación del aceite de tarwi utilizando las temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C por regresión lineal con la ecuación de Arrhenius.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Se espera que con este estudio de investigación concretada se evalúe la estabilidad de aceite de tarwi, y permita que se realicen más estudios del grano de tarwi como una importante fuente de aceite, también que al ser añadido con antioxidantes naturales permita ser conservado por un mayor tiempo de vida útil, que garantice la absorción y transporte de las vitaminas, ya que la grasa sirve como vehículo de componentes que confieren su calidad como su sabor, olor y textura. Garantizando una importante fuente de energía, nutricional y proteica a los seres humanos, constituidas por ácidos grasos insaturados beneficiosos para la salud, las que pueden ayudar a reducir los niveles de colesterol y reducir el riesgo de enfermedades del corazón permitiendo evitar el consumo excesivo de ácidos grasos saturados de comida rápida, pastelería y alimentos fritos, que se relaciona con el surgimiento y desarrollo de sobrepeso, la diabetes y la enfermedad cardiovascular.

El trabajo de investigación se realizó con el tarwi por que el aceite extraído de éste es muy alto: 14 - 24 % de rendimiento de aceite, tal comparado con otras semillas oleaginosas, comparado con la soya que tiene una similitud de contenido. Por su alto contenido en aceite entonces el tarwi se hace factible para su extracción de aceite a nivel industrial. Además, la calidad de aceite que se extrae del tarwi se llega a comparar con el de maní y el de soja por su composición de ácidos grasos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.

Un primer trabajo corresponde a Pascual Chagman et al., (2021), quienes realizaron “aceite de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) obtenido por prensa expeller”. Análisis de rendimiento, caracterización fisicoquímica, capacidad antioxidante, ácidos grasos y estabilidad oxidativa”, en este trabajo se extrajo aceite de tarwi por prensa expeller, donde se evaluaron el rendimiento de extracción y, composición proximal como también las propiedades fisicoquímicas y se extrapola las temperaturas para hallar el tiempo de vida útil a través del método Rancimat. La investigación se enmarca dentro de un proyecto factible ya que el aceite presentó una calidad aceptable, en comparación con la extracción de aceites utilizando solventes. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, proponiendo realizar la extracción de aceite por prensa en lugar de extraer el aceite a través de solventes, demostrando que el prensado expeller es un método muy eficiente y conveniente desde el punto de vista ecológico para obtener aceite de tarwi de calidad aceptable, llegando a concluir que esto podría ser importante para el futuro, a la hora de revalorizar los subproductos del proceso de obtención de aceite propuesto.

Un segundo trabajo corresponde a Mozo Malca y Vida de Ardiles Falcón, (2017) quienes determinaron el tiempo de vida útil del aceite crudo de pescado anchoveta utilizando antioxidantes sintéticos y antioxidantes naturales mezclados para hallar una mayor eficiencia, el tiempo de vida útil se realizó por el método Rancimat, asimismo se realizó las pruebas fisicoquímicas. Con este trabajo se quiso demostrar que la adición de los antioxidantes al aceite si tiene importancia por la mejoría en su vida útil y propiedades fisicoquímicas, se determinó el tiempo de vida útil mediante uso del equipo Rancimat del aceite crudo de pescado así como también de los tratamientos con adición de antioxidante resultando un mejor tratamiento con 8 meses de vida útil y se evaluó las características fisicoquímicas del aceite crudo de pescado, valores que

mostraron estados de deterioro aceptables y dentro de los parámetros de calidad permitidos en empresas de comercialización de aceites marinos.

Un tercer trabajo de Piedrahita, (2015), se denomina “Estabilidad oxidativa y vida útil del aceite de choibá (*dipteryx oleifera* benth) suplementado con extracto de romero (*rosmarinus officinalis* L.)” teniendo como objetivo principal evaluar el efecto de la adición de extracto de romero en el aceite de choibá y así evaluar su estabilidad oxidativa y la vida útil del aceite de Choibá y dentro de sus objetivos específicos está evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de Choibá suplementado con o sin extracto de romero, predecir el tiempo de vida útil de aceite de Choibá suplementado con y sin extracto de romero. En el estudio se vieron entre los casos analizados que los resultados de valor de peróxido, muestran un efecto protector del extracto de romero contra la oxidación del aceite de Choibá, siendo incluso ser más efectivo que el BHT a 200 mg/L, este compuesto demostró ser estable reteniendo su actividad a temperaturas elevadas (100°C) como las empleadas en el presente estudio. Así se demuestra que la adición de antioxidantes naturales a los aceites permite potenciar un estudio y uso de nuevas semillas oleaginosas, como la almendra de Choibá como fuentes promisorias de aceites comestibles.

Un último estudio que lleva por título evaluación del rendimiento, características físico-químicas y nutraceuticas del aceite de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) elaborado por Villacrés, E Navarrete, M Lucero, O Espin, S Peralta, (2010) donde se analizaron los conceptos físicos y químicos del aceite así como su rendimiento de extracción del aceite de grano de tarwi. (*Lupinus mutabilis* Sweet), y sus características físico-químicas y nutraceuticas. Donde se utilizaron hexano como solvente para la extracción teniendo un rendimiento de 25,65 % (p/p), también se determinó que las características físicas del aceite de chocho son parecidas a resultados que se obtienen de los aceites de oliva, soya y girasol. En este estudio se obtuvo que el aceite de chocho presenta un valioso aporte nutricional, como fuente de ácidos grasos esenciales: linoleico (omega 6) (28,17 %) y ácido linolénico (omega 3), (2,54 %) y γ -Tocoferol (1172,8 ppm). El presente trabajo de investigación dio también por concluido que las características físicas del aceite de chocho son similares a los aceites de soya, girasol y oliva, sin embargo, el aceite de soya tiene un contenido de ácidos grasos semejante al de aceite de tarwi.

2.2. GENERALIDADES DEL TARWI.

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una leguminosa llamada de diferentes formas como *comoullush*, *talwish*, *tauri*, *tarwi*, *chocho*, *lupino* o *ccquilla* perteneciente a la división de *magnoliophytation*, clase *Magnoliopsida*, familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionoideae*, género *Lupinus*. El tarwi es una de las especies cultivadas, y silvestres que ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial; incluso está incluido dentro del estudio de la Asociación Internacional de Investigadores de *Lupinus*, donde se realizan diferentes congresos para ver su importancia. En el 2001 en Lima y Cuzco se realizaron los primeros congresos donde el grano de tarwi ha tomado importancia por su alto contenido de nutrientes y que ha sido cultivado en los andes, donde ha tomado gran importancia de los investigadores que se relacionan con estos estudios de investigación (Chirinos-Arias, 2015; Tapia, 2015).

El chocho viene siendo cultivado durante mucho tiempo, ha sido domesticado y cultivado en la época colonial, pero ha sido reemplazado por otros alimentos es por eso que ahora se cultiva por pequeños agricultores (Villacrés et al., 2010).

2.2.1. Producción de tarwi en el Perú.

El cultivo de tarwi se ha incrementado en 2,3 % en los últimos cinco años como se muestra en la Tabla 1. Desde el 2015, los indicadores de producción han sido positivos, y en los últimos años los niveles de producción han sido más altos.

Tabla 1: Indicadores de producción de tarwi.

Indicadores	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% Valor promedio. (2015-2020)
Producción (Tn)	13,05	14,246	13,886	16,432	16,087	15,809	3,20 %
Superficie Cosechada (Ha)	9,851	11,275	10,504	11,716	11,747	11,307	2,30 %
Rendimiento (Kg/Ha)	1,325	1,264	1,322	1,403	1,369	1,398	0,90 %

FUENTE: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (2021).

Según información estadística del MINAGRI como se muestra en la Tabla 2, el cultivo de tarwi se concentra mayormente en las provincias de La Libertad, Cusco, Apurímac, Puno y Huánuco, que en conjunto representan alrededor del 85 % de la producción total. Apurímac es la región que ha aumentado su producción en los últimos 5 años con un promedio de crecimiento del 17,7 %. Cabe resaltar que la provincia de Puno es la que se ha sufrido una disminución desde el 2015 donde representaba el 13,7 % de la producción de tarwi en el Perú a 9 % en el 2020 existiendo una variación significativa de producción en los últimos cinco años en los volúmenes de producción a raíz de mayores áreas de cosecha, llegando a obtener un rendimiento de 1,534 promedio de estos últimos años (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

Tabla 2: Producción de tarwi según zonas de producción

REGIÓN	PRODUCCIÓN POR TONELADAS						% valor prom. (2015-2020)	% Part. 2020
	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
TOTAL	13,05	14,246	13,886	16,432	16,087	15,809	3,20 %	
La Libertad	5,053	4,107	4,681	6,083	5,803	5,132	0,30 %	32,5 %
Cusco	2,163	3,052	3,05	3,067	2,576	3,05	5,90 %	19,3 %
Apurímac	937	1,581	1,727	2,333	2,212	2,491	17,70 %	15,8 %
Puno	1,782	1,737	1,447	1,401	1,411	1,428	-3,60 %	9,0 %
Huánuco	1,129	1,011	1,079	1,024	1,251	1,346	3,00 %	8,5 %
Cajamarca	370	420	315	415	445	448	3,20 %	2,8 %
Junín	247	523	562	595	651	732	19,90 %	4,6 %
Ancash	0	642	159	386	577	430	-7,70 %	2,7 %
Huancavelica	826	573	572	485	692	532	-5,70 %	3,7 %
Ayacucho	459	478	219	555	399	109	-21,30 %	0,7 %
Amazonas	71	76	66	89	70	62	-2,20 %	0,4 %
Pasco	13	46	8	0	0	0	-13,50 %	0,0 %

FUENTE: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (2021).

2.2.2. Producción de tarwi en el mundo.

En el Perú la superficie cultivada es de aproximadamente 10,628 Has. con un rendimiento de 1,335 Kg/Has., también se cultiva en Ecuador, con una superficie aproximada de 5,974 Has y un rendimiento promedio de 400 Kg/Has. El cultivo de tarwi en Bolivia, es de 1,031 ha de superficie aproximada. El consumo per cápita de tarwi en Bolivia es muy incipiente el cual no sobrepasa los 0,2 Kg/año, mientras que

en Perú es 0,5 Kg/año y en Ecuador cuyo nivel de consumo es más difundido asciende a 4 Kg/año (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2006).

A pesar de esto, con una adecuada tecnología, mejoramiento, podría convertirse en un alimento importante de los Andes. Se asume que podría llegar a ser significativo y tomar un papel importante en la agricultura en todas partes del mundo, como ha sido el caso con papas, maní, y otras plantas. El tarwi es una leguminosa que se produce al año por una única vez, el grano ha sido consumido en el Perú, y ha sido conocido como chocho en el norte de Perú y Ecuador, tarwi en el centro del Perú y tauri en el sur del Perú y Bolivia, esta variedad pertenece a la familia de los lupinos o altramuces originarios del viejo mundo, actualmente sigue siendo cultivado en Europa mediterránea, principalmente en España e Italia (Schoeneberger et al., 1982).

Se cultiva en América latina desde Ecuador, Perú, Bolivia hasta Chile y el noreste argentino, con diferentes sistemas de producción. Como se dijo más antes el tarwi ha sido reemplazado por otros cultivos, debido también a su sabor amargo ya que posee una gran cantidad de alcaloides en el propio grano. Es así que se suma la etapa de lavado para eliminar el sabor amargo que esté posee, para que se pueda eliminar de esta misma manera el contenido de alcaloides del tarwi. Debido a esto existe una desventaja frente a otras leguminosas introducidas y su disminución de cultivo. Pudo haber influido en su marginación el hecho de ser consumida mayormente por la población indígena y la variabilidad de su rendimiento, pero a pesar de esto ha sido ampliamente distribuido en los andes peruano-boliviano, donde se tiene una gran variabilidad de formas cultivadas (Sven-E. y Mujica, 2006).

2.3. VARIEDADES.

El tarwi tiene una amplia diversidad genética debido a sus diferentes adaptaciones, como en suelos, precipitación, temperatura, altitud y periodo vegetativo. Como también en su contenido en proteínas, aceites, alcaloides, rendimiento y tolerancia a plagas y enfermedades. Su centro de origen está ubicado en la región andina de Bolivia, Ecuador y Perú, en ellas existe una mayor variabilidad. Existen 83 especies que han sido reconocidas del género *Lupinus*. El mejoramiento y modificación de las especies domesticadas o para el consumo humano se ha realizado en beneficio del consumo alimenticio, medicinal, ritual, cultural. Las diferentes variedades que se han encontrado en el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) están representadas por las siguientes especies silvestres como: *Lupinus cuzcensis*, *L. tomentosus*; *L. microphyllus*, *L.*

Paniculatus, *L. aridulus*, *L. ananeanus*, *L. condensiflorus*, *L. chlorolepis*, *L. tarapacensis*, *L. subferuquinous*, *L. dorae*, *L. macbrideanus*, *L. ballianaus*, *L. gilbertianus* y *L. eriucladus* (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Los lupinos herbáceos incluyen 200–500 especies anuales, que se utilizan principalmente como cultivos de granos. Las especies diversificadas de los lupinos se agrupan como especies del Viejo Mundo y del Nuevo Mundo. Las especies del Nuevo Mundo componen más del 90 % del total de especies que son distribuidas desde Alaska al sur de Argentina y Chile. Las especies del Viejo Mundo incluyen 13 especies de altramuces del Mediterráneo y regiones africanas, que son anuales, herbáceas y grandes sembradas. Tres especies del Viejo Mundo (*L. Albus* L. (blanco), *L. angustifolius* L. (altramuz de hoja estrecha / lupino dulce australiano) y *L. luteus* L. (amarillo)) y una especie del Nuevo Mundo (*Lupinus mutabilis* (amargo)) se cultivan como cultivos para consumo humano (Islam y Ma, 2015).

2.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA.

El tarwi es importante por su rico contenido de proteína y aceite, lo coloca en un plano muy competitivo con la soya, por lo cual debería ser considerado en nuestra alimentación. Debido a su considerable contenido de proteína y aceite, el tarwi llega a ser muy competitivo con otros alimentos como el de la soya, debiendo ser considerado en nuestra alimentación, dichos componentes como el aceite y/o proteínas de esta semilla constituye más la mitad de su peso, un estudio hecho en 300 diferentes genotipos de semillas muestran que la proteína contenida varía de 41 a 51 %. En diferentes estudios se encuentra el contenido de proteínas similares dentro de los principales altramuces, pero Carvajal y Linnemann, (2016) considera en su manuscrito datos dentro de la especie por ejemplo que su proteína bruta varía entre 32,0 y 52,6 g/100 dw. Este rango varió de acuerdo a que el tarwi está asociado con factores genéticos y agronómicos. El aceite varió de 24 a 14 %. Al eliminar la cáscara de la semilla y moliendo el grano se obtiene una harina constituida por 50 % de proteínas. La proteína del tarwi contiene cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales de lisina y cistina, siendo baja en aminoácidos azufrados, como la metionina, en el proceso de desamargado se concentra todavía más el contenido proteico donde se encuentra valores de proteína que son mayores al 50 % del peso seco (Salvatierra Pajuelo y Azorza Richarte, 2017; Villacrés et al., 2010).

Dentro de los minerales que se pueden considerar como nutrientes indispensables se encuentra el contenido de fósforo y magnesio. El tarwi como semilla representa una valiosa fuente de calcio y potasio, el primer elemento se encuentra en la cáscara, y el fósforo en el núcleo, por lo que hay que tener en cuenta que después de la etapa de descascarado se altera la relación Calcio y Fósforo. Dentro de su composición fisicoquímica del tarwi se halla que se asemeja a los valores de otras leguminosas por su contenido de tiamina, riboflavina y niacina (Salvatierra y Azorza, 2017). En la siguiente Tabla se describe la composición nutricional del tarwi.

Tabla 3: Valor nutricional de tarwi.

Valor de composición nutricional (en 100 g)			
	Tarwi seco	Tarwi cocido con cáscara	Tarwi en harina
Energía (Kcal)	277	151	458
Energía (KJ)	1159	632	1916
Agua (g)	46,3	69,7	7
Proteína (g)	17,3	11,6	49,6
Grasa (g)	17,5	8,6	27,9
Carbohidratos(g)	17,3	9,5	12,9
Fibra cruda (g)	3,8	5,3	7,9
Ceniza (g)	1,6	0,6	2,6
Calcio (mg)	54	30	93
Fósforo (mg)	262	123	440
Zinc (mg)	4,75	1,38	0
Hierro (mg)	2,3	1,4	1,38
Tiamina (mg)	0,6	0,01	0
Riboflavina (mg)	0,44	0,34	0
Niacina (mg)	2,1	0,95	0
Vitamina c (mg)	4,6	0	0

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2012).

2.4.1. Características generales del aceite de tarwi

Además, presenta una alta calidad de grasa, con 30 % de ácidos grasos esenciales de la cantidad total de grasa; por lo que el aumento en el consumo de tarwi podría conducir a una mejora de la salud y nutrición de las personas, los ácidos grasos como omega-3 y omega-6 juegan papeles fundamentales en la estructura de la membrana y como precursores icosanoides, son un grupo de moléculas de carácter lipídico

producidas de la oxidación de los ácidos grasos esenciales. El aceite también presenta 1172,8 ppm de γ -tocoferol, lo suficiente para estabilizar los ácidos grasos insaturados, actuando, así como antioxidante brindando estabilidad contra la oxidación. Es por eso que se puede aprovechar el tarwi para mejorar la salud y nutrición de las personas (Villacrés et al., 2010).

2.4.2. Importancia de los ácidos grasos en el aceite de tarwi.

El tarwi tiene 18 - 25 % de contenido de grasa lo que puede ser aprovechado para usos en diferentes industrias. Los lípidos están constituidos de ácidos grasos insaturados (mono y poliinsaturados), aproximadamente la mitad constan de ácido oleico (35,1 - 54,6 %), existiendo 22,3 - 43,9 % de ácido linoleico y el 2,1 - 2,7 %, le corresponde al ácido linolénico. El porcentaje de ácido linolénico es bajo comparado con el de soya, característica que favorece la conservación del aceite originando una oxidación rápida y puede originar cambios indeseables en el sabor, sin embargo, es considerable e importante para la alimentación ya que sus dos compuestos luchan por las mismas enzimas, pero tienen roles biológicos diferentes (Salvatierra y Azorza, 2017; Sven-E. y Mujica, 2006).

Tabla 4: Composición de ácidos grasos del tarwi desamargado.

ÁCIDOS GRASOS	TARWI DESAMARGADO	MANÍ	SOYA
Mirístico	Trazas	0,1	11
Palmítico	11,28	11	11
Palmitoleico	0,16	-	-
Estearico	7,3	3	4
Oleico	52,53	55	22
Linoleico	28,4	28	55
Linolénico	2,98	1	8
Araquidónico	-	1,5	0,4
Behénico	-	3,5	0,3

FUENTE: Navarrete, (2010)

Los ácidos grasos son muy variados y son agrupados en dos grupos:

- Ácidos grasos saturados: las grasas que contienen ácidos grasos son sólidas a temperatura ambiente y normalmente son de origen animal, poseen enlaces simples

entre los átomos de carbono y su fórmula general es $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-COOH}$ (Navarrete, 2010).

- Ácidos grasos insaturados: están presentes en los alimentos tienen entre 1 a 6 insaturaciones de dobles enlaces no conjugados, donde se encuentra separado por un grupo metileno ($-\text{CH}_2-$), los dobles enlaces de los ácidos grasos naturales vienen hacer de configuración cis, posteriormente por tratamiento tecnológico o culinario pueden insonorizarse a trans. Existen dos nomenclaturas de los ácidos grasos en lo que se refiere a la posición del primer doble enlace (Kuklinski, 2003).

2.4.3. Reacción de autooxidación

Se indica por reacción de autooxidación a la reacción directa del oxígeno molecular con compuestos orgánicos bajo ciertas condiciones, la producción excesiva de radicales de oxígeno, específicamente radicales hidroxilos, puede afectar a las membranas de las células lipídicas para producir peróxidos y especies de oxígeno reactivo (Mozo y Vida de Ardiles, 2017)

En el mecanismo de oxidación de los lípidos se pueden diferenciar tres etapas:

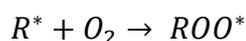
En la etapa de iniciación el oxígeno está en dos estados, el estado más estable es el triplete (3O_2), donde se tiene dos electrones sin aparear con el mismo sentido de espín; y el oxígeno singlete (1O_2), que es un estado excitado y más reactivo, con los electrones sin aparear con sentidos opuestos de espín. El oxígeno en estado fundamental, no puede llevar a cabo esta reacción, sin embargo, por efecto de la radiación (luz), se puede transformar en singlete (Fereidoon y Wanasundara, 2017).

Ecuación 1.

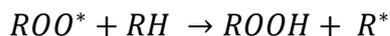


En la etapa de propagación los radicales alquilo (R^*) formados en la etapa de iniciación son reactivos con el oxígeno disponible, formando radicales peroxilo (ROO^*) a una alta velocidad de reacción demostrada en la ecuación 2. El radical peroxilo desaparece a una velocidad lenta formando un hidroperóxido (ROOH) y un nuevo radical libre y se propaga la reacción en cadena de la ecuación 3 (Fereidoon y Wanasundara, 2017).

Ecuación 2.



Ecuación 3.



Los hidroperóxidos (ROOH) también suelen descomponerse produciendo alcoholes, aldehídos, ácidos, cetonas, y otras sustancias menos reactivas. Finalmente en la etapa de terminación los ácidos grasos poliinsaturados (RH) son consumidos y tienden a dimerizar terminando el ciclo de auto oxidación lipídica (Fereidoon y Wanasundara, 2017).

2.4.4. Alteraciones de los lípidos.

En las semillas oleaginosas como el grano de tarwi existen enzimas como:

a) Lipasas y fosfolipasas: En las semillas oleaginosas crudas existe una cantidad de lipasas activas, y, al ser trituradas las semillas desencadenan la acción lipásica. Existe un gran número de lipasas, viniendo a ser muy variadas, respecto a los glicéridos con respecto a la posición que hidrolizan o al ácido que separan preferentemente. La velocidad de hidrólisis de los lípidos por acción de las lipasas es afectada por la temperatura, ya que este es un factor muy importante, las fosfolipasas pueden atacar a los fosfoglicéridos, separando los ácidos grasos de las posiciones 1 y 2, hidrolizando el enlace éster del fosfórico con la glicerina o el del fosfórico con la colina (García, 2009).

b) Lipoxidasas y peroxidasas: Los productos de oxidación son similares a los que se forman en el enranciamiento de las grasas, las lipoxidasas catalizan la peroxidación de los carbonos insaturados de los ácidos grasos. Los enlaces se mueven y quedan en forma conjugada, uno de ellos en forma trans. Las peroxidasas transfieren oxígeno de los peróxidos y estos son formados por las lipoxidasas que son buenos suministradores de oxígeno en las reacciones catalizadas por peroxidasas e incluso, para oxidar nuevas moléculas de ácidos grasos insaturados, siendo por tanto una nueva fuente de enranciamiento (García, 2009).

2.4.5. Lípidos

Los lípidos presentes en alimentos son un grupo de compuestos de estructura heterogénea entre ellos están los triglicéridos o ésteres derivados de la glicerina de los ácidos grasos, entre otros componentes cuya participación es mínima como los

fosfolípidos; alcoholes de cadena larga, esteroides, hidrocarburos, etc., que forman el residuo insaponificable (Ros, 2007).

Las grasas realizan diversas funciones en el organismo, como la función energética donde éstas producen calorías por cada gramo al metabolizarse en el organismo, son vehículos para las vitaminas liposolubles y aportan vitamina F como ácidos grasos no saturados, tales como el linoleico, linolénico y araquidónico (Navarrete, 2010).

2.4.6. Toxicidad.

Contenido de alcaloides.

El grano de tarwi, así como tiene sustancias nutritivas también contiene sustancias antinutritivas como los alcaloides que le dan el sabor amargo al grano, estos suelen ser de tipo quinolizidínico, es por eso que pueden llegar a ser tóxicas para la salud de los seres humanos, generalmente estos pueden ser extraídos con varios solventes. Los alcaloides más importantes reconocidos en el grano del tarwi son la lupanina y la esparteína, constituyendo un 2,5 % y un 0,32 % del grano crudo, respectivamente. Existen también en menor cantidad compuestos como la 3-βhidroxilupanina, 13-hidroxilupanina, y tetrahidrorombifolina (Carvajal-Larenas et al., 2016; Farinango y Quizhpi, 2015).

2.5. PRINCIPALES CENTROS DE CULTIVO DEL TARWI.

En las altitudes de 2500 y 3200 m.s.n.m. como Colombia Tulcán, Riobamba, Loja y Cuenca en Ecuador; Cajamarca, Chota, Huancayo, Cusco, Huaraz, y Yunguyo en Puno se encuentran los principales centros de cultivo de tarwi derivado de los valles interandinos y se ha recaudado durante 40 años en los germoplasmas de las colecciones de *Lupinus mutabilis* Sweet, siendo Yunguyo al sur del Lago Titicaca uno de los centros de cultivo que está a más de 3800 m.s.n.m. donde se cultiva los “tauris” más precoces (Tapia, 2015).

La superficie cosechada de tarwi a nivel nacional en el Perú creció un 14 % (2010/2017) con respecto al mismo período de la campaña previa; hasta el 2010 se venía cosechando 9 773 hectáreas al 2017 Has. aumentado considerablemente con 11 115 hectáreas (Latour, 2017).

2.6. USOS DEL TARWI.

2.6.1. Usos alimenticios.

Los granos de tarwi se utilizan como alimento para los seres humanos y como alimento para cerdos, ovejas, aves y rumiantes. El ser humano puede comerlo directamente como un melindre y se puede usar como ingrediente en muchos diferentes productos como ensaladas frescas, sopas, pasteles, meriendas, hamburguesas, galletas, pan, alimentos para bebés, incluido sustituyendo a la leche (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Para consumir el tarwi se debe eliminar primero el sabor amargo, para esto existen diversos métodos que garantizan su completa eliminación. Las formas de preparación varían según las regiones y ocasiones de consumo: Mote de tarwi, ensaladas, sopas, guisos, postres; industrialmente se ha estado trabajando para conseguir la harina de tarwi, usándose un 15 % en la panificación con excelentes resultados por el contenido en grasas. Se considera una mejora en el valor proteico y calórico como ventaja, permitiendo también una vida útil más prolongada del pan. Los alcaloides provenientes del grano tarwi como la esparteína, lupinina, lupinidina, son empleados para controlar o eliminar ectoparásitos y parásitos intestinales que se encuentran en el organismo de los animales domésticos. En ciertos lugares los agricultores utilizan el agua de cocción del tarwi como plaguicidas en las cosechas y laxantes (Sven-E. y Mujica, 2006).

2.7. USO DE ACEITE DE TARWI.

El tarwi se utiliza como alimento para seres humanos y también para el consumo animal, entre ellos están los cerdos, ovejas, aves y rumiantes. Se ha visto que industrialmente el tarwi puede ser consumido como snack como bien lo menciona (Villacrés et al., 2010), también puede ser utilizado como ingrediente en diferentes productos como ensaladas frescas, sopas, pasteles, snacks, hamburguesas, galletas, pan, alimentos para bebés como el caso de la harina de tarwi (Garay, 2015).

Si bien el aceite de tarwi no es utilizado por la poca información de este producto, se puede llegar a comparar con otros aceites vegetales.

Los aceites de origen vegetal son utilizados domésticamente (Durán et al., 2015), en diferentes industrias como alimenticia, farmacéutica, dermatología, y parasitología entre otros (Días, 2010).

El uso de aceite de tarwi hace referencias al uso que se da en el aceite de oliva donde se puede utilizar para fritura o en crudo como aliño. Dependiendo del tiempo de calentamiento repetido se pueden llegar a modificar sus características organolépticas como olor, sabor y textura; y químicas como producción de radicales libres e hidrocarburos (Ferrando, 2012).

2.8. ANTIOXIDANTES.

Los antioxidantes naturales son sustancias que previenen e inhiben el proceso de oxidación en el organismo, así como en los alimentos. Se llegan a encontrar en partes de la planta, una de sus funciones es que las protegen contra las lesiones del tejido, oxidándose y combinándolo con otros componentes. Las reacciones oxidativas que tienen lugar en los alimentos son la principal causa de su deterioro. Y estos son responsables de las pérdidas de valor nutricional, así como la degradación de aroma, sabor y textura. Los antioxidantes son las sustancias capaces de prevenir o inhibir los procesos de oxidación ya sea en nuestro organismo como en los productos alimenticios. Los antioxidantes naturales son una parte estable de la nutrición como ocurren en casi todos los productos vegetales comestibles, estando presente también en las frutas, las semillas leguminosas, los granos, los té, las hierbas, las especias y los vinos, constituyendo un grupo más numeroso de antioxidantes, llamados polifenoles (Anoop, 2013; Duda-Chodak y Tarko, 2007).

2.8.1. Extracto de té verde.

El té (*Camellia sinensis*), ha sido rigurosamente estudiado por sus propiedades fisicoquímicas, toxicológicas y biológicas debido a su buena fuente de flavonoides, así como sus efectos antioxidantes en diversas investigaciones (Carvente, 2014).

Se han determinado estudios científicos donde se demuestran que el té verde contiene polifenoles y dentro de ella flavonoides donde se encuentran las catequinas. El doctor Lester, comprueba que los polifenoles, compuestos con propiedades antioxidantes están presentes en el vino o la uva. Pese a que el té verde contiene también vitamina A, vitamina C y vitamina E, y junto a las catequinas estas ofrecen una alta protección contra los radicales libres (Balentine et al., 1997).

Las hojas del té se inactivan por exposición al calor del vapor de agua para evitar la oxidación enzimática, produciendo así el té verde. Las hojas frescas del árbol del té

contienen una gran cantidad de compuestos antioxidantes, a este grupo se le conoce como flavonoides, que incluyen catequinas y sus formas polimerizadas (Carvente, 2014)

2.8.2. Extracto de romero.

El extracto de romero es en la actualidad un aditivo que se usa por su potencial antioxidante para la industria. Más allá del uso de las hojas de romero (*Salvia rosmarinus*) como condimento, otros componentes de esta planta se han demostrado como potentes agentes antioxidantes, como los ácidos fenólicos, los flavonoides y los diterpenoides (Balentine et al., 1997).

El extracto de romero proviene de la extracción de hojas de *Rosmarinus officinalis* L. mediante el uso de un sistema de disolventes autorizados para uso en la industria alimentaria, debido a que alarga la vida útil de los alimentos (Dentone y Morales, 2017).

El contenido de flavonoides, ácidos fenólicos y principios amargos generan una acción tónica y estimulante en casi todo el organismo del cuerpo humano, debido a que el romero es una planta con principios activos, por tener un alto contenido en aceites esenciales. En cuanto a sus principios activos de diterpenos, tiene un efecto protector en las membranas celulares generando un resultado antioxidante y captador de radicales libres inhibiendo la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y el envejecimiento de la piel. Debido a esto en la actualidad se han desarrollado una gran cantidad de aportaciones científicas que brinda amplia información de las aplicaciones del romero en la industria farmacéutica, alimentaria (Avila-Sosa et al., 2010; Mejía, 2019).

El uso del romero en la industria alimentaria se ha estudiado ampliamente en pollo y carne como un antioxidante natural, también se probó al extracto de romero como un antioxidante natural en salchichas de cerdo precocidas y congeladas crudas, los resultados del estudio mostraron que el extracto de romero a 2500 ppm tuvo un efecto similar hacia antioxidantes sintéticos, gracias a este estudio se ha visto que el extracto de romero puede usarse como aditivos que son capaces de disminuir la oxidación de lípidos y aceites esenciales (Avila-Sosa et al., 2010).

2.9. ESTABILIDAD DE LA OXIDACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

La estabilidad oxidativa de las grasas y aceites es uno de los factores más significativos que determinan la vida útil de los alimentos. La oxidación de lípidos es

un proceso de degradación considerado como una causa importante de deterioro en la calidad de los productos grasos. La estabilidad se puede definir como la resistencia de un lípido a la oxidación y viene siendo de importante preocupación para la industria panadera o de fritura. La medición de la estabilidad oxidativa ha sido una tarea difícil porque la oxidación a temperatura ambiente o baja se da como proceso lento, y debido a que en la industria alimentaria el tiempo es crucial, es deseable medir la estabilidad del aceite rápidamente, y esto generalmente se logra empleando condiciones de temperatura acelerada (Anwar et al., 2003).

La estabilidad oxidativa es un parámetro importante para la evaluación de calidad de grasas tanto de origen animal como vegetal. El proceso de oxidación comienza por las reacciones de los radicales donde se implican los ácidos grasos insaturados. Lo que se forma primero en el proceso son los hidroperóxidos, que luego se rompen bajo una serie de reacciones complejas (Markus y Bruttel, 2014).

Se han utilizado métodos estáticos o dinámicos para controlar el estado oxidativo de los aceites, dentro de los primeros métodos de medición analítica del grado de oxidación se destaca el análisis del índice de peróxidos, mientras que los métodos dinámicos se obtienen medidas a la resistencia a la oxidación del aceite (Totosaus y Cabre, 1988).

Los métodos de estabilidad son particularmente valiosos en la investigación y evaluación de antioxidantes y sus efectos sobre la protección de los alimentos contra la oxidación de lípidos (Frankel, 2012b).

La calidad de los lípidos alimentarios es muy importante porque estos complejos implican la aceptabilidad del consumidor, se dispone de un amplio repertorio de métodos para determinar la oxidación de los lípidos alimentarios, donde se puede evaluar y medir sus propiedades químicas y físicas, la especificidad y precisión de los análisis y cómo se relacionan con el almacenamiento de productos alimenticios en la vida real (Frankel, 2012a).

2.10. ESTABILIDAD COMO PARÁMETRO DE CONTROL DE CALIDAD.

El deterioro u oxidación de los lípidos afectan el sabor y olor causando la disminución en la calidad de los alimentos. Existen pruebas de estabilidad oxidativa donde se intenta acelerar el proceso de oxidación normal para obtener resultados que pueden ser de utilidad para determinar los parámetros de calidad para diferentes lípidos alimentarios. Estos métodos de estabilidad, constituyen una importante herramienta de

control de calidad para predecir la vida útil de alimentos, además los métodos de estabilidad también son importantes para evaluar el efecto de los cambios en formulaciones de alimentos, parámetros de procesamiento y otros factores sobre la oxidación de lípidos (Frankel, 2012b).

2.11. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LOS ACEITES O GRASAS.

La estabilidad oxidativa de las grasas ha sido evaluada por una variedad de métodos que utilizan una amplia gama de condiciones y técnicas para medir oxidación. La elección de los métodos y condiciones de oxidación adecuados es crítica para la interpretación de los datos de estabilidad. Por lo tanto, la estabilidad oxidativa de los lípidos insaturados puede ser calculada determinando el grado de oxidación producida bajo varias condiciones estandarizadas. Los niveles de deterioro excesivo deben ser evitados debido a que los resultados de las mediciones de estabilidad son útiles para comparar la calidad de las materias primas en diversas aplicaciones alimentarias, pretendiendo pronosticar el rendimiento de calidad futuro de grasas que serán utilizadas como ingredientes alimenticios, comparando el rendimiento de antioxidantes y estabilizantes (Frankel, 2012b).

2.12. MÉTODO RANCIMAT.

La prueba de Rancimat, fue desarrollada por Hadorn y Zurcher (1974), convirtiéndose en el método estándar de AOCS Cd 12b-92 para que después sea estudiado por Jebe en 1991, Matlock y Sleeter (1993). Como resultado de este hecho y debido a su facilidad de uso y reproducibilidad, la prueba de Rancimat ha sido ampliamente utilizada en las últimas dos décadas. El método Rancimat se basa en los cambios de conductividad experimentado por el agua desionizada después de recoger los ácidos volátiles orgánicos, el tiempo requerido para producir un aumento repentino de la conductividad es la formación de ácidos volátiles, principalmente ácido fórmico, que determina el índice de estabilidad oxidativa (OSI). Asimismo, existen investigaciones anteriores donde se ha demostrado la correlación entre los datos de estabilidad obtenidos por la prueba de Rancimat y los determinados por otros métodos sensoriales y / o analíticos. La tasa de flujo de aire, el peso de la muestra de aceite y la

temperatura son los parámetros propios que se pueden ajustar fácilmente al método Rancimat (García et al., 2013).

El método Rancimat está dentro de los métodos dinámicos que están estandarizados como el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI), este método se realiza bajo condiciones aceleradas de almacenamiento a temperaturas elevadas, es ampliamente utilizado por ser un equipo que realiza análisis con resultados confiable, reproducible, no se usa muchos reactivos y las medidas pueden ser monitoreadas a través del tiempo en el computador. El tiempo de estabilidad oxidativa determinado por el método Rancimat a temperaturas elevadas para un aceite en particular, se puede extrapolar con temperaturas bajas como las empleadas en almacenamiento; el tiempo obtenido vendría a ser la “vida útil” en teoría a temperatura de almacenamiento (Rauen-Miguel et al., 1992).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.

El estudio de investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de Industrias Alimentarias en la universidad Peruana Unión para la extracción del aceite de tarwi y en el laboratorio de granos andinos en la sede de Ayabacas de la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca para la determinación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) mediante el método Rancimat y calidad del aceite de tarwi.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La muestra de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), variedad INIA 445 como objeto de este estudio se adquirió procedente de la provincia de Yunguyo del departamento de Puno.

3.3. ADITIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES.

3.3.1. Aditivos.

- Almidón.
- Extracto de té verde.
- Extracto de romero.

3.3.2. Reactivos.

- Éter de petróleo ((CH_3)₃COCH₃) Concentración 64,5%.
- Hexano (C₆H₁₄) Concentración. 98,5%.
- Éter etílico é o etanol.
- Agua destilada.
- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) 0,1N.
- Ácido clorhídrico (HCL) 0,5N; 0,1N.
- Hidróxido potásico (KOH) 0,1N; 0,5N; 2N
- Fenolftaleína concentración 95%.
- Ioduro Potásico (KI) 0,5N.
- Tiosulfato sódico 0,01N; 0,1N.

- Ioduro Potásico (KI) 0,5N.
- Cloroformo 0,1N.
- Ácido acético 0,1N.

3.3.3. Equipos.

- Prensa Expeller marca Piteba.
- Balanza digital.
- Bureta.
- Espectrofotómetro.
- Equipo Rancimat 892 Professional – Metrohm.
- Balanza Analítica.
- Picnómetro.
- Estufa.
- Viscosímetro Brookfield DVE.
- Termómetro digital.
- Refrigeradora.

3.3.4. Materiales.

- Lunas de reloj.
- Mortero de porcelana.
- Pinza.
- Espátula.
- Vaso Erlenmeyer.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

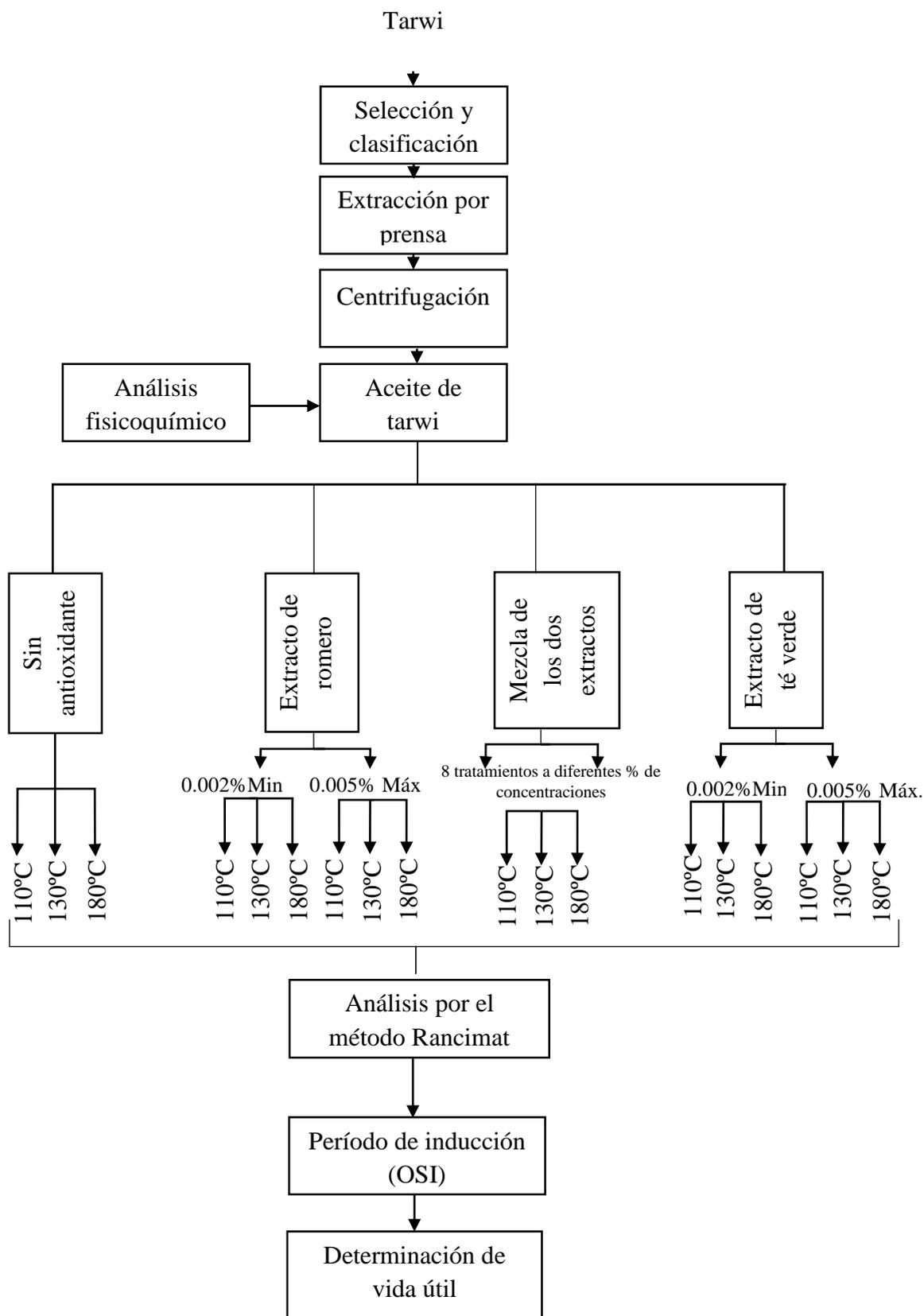


Figura 1: Diseño de la metodología experimental

3.5. MÉTODO PITEBA (PROCESO DE PENSADO EN FRÍO).

La metodología para la extracción de aceite de tarwi se siguió como se muestra a continuación:

El aceite de tarwi se extrajo en 4 pasadas mediante un expulsor de aceite de prensa de tornillo donde se hizo girar la manivela manual a escala de laboratorio. La capacidad de proceso de la prensa fue de 5 Kg/h.; luego el aceite se mantuvo a refrigeración durante 24 horas a 4°C y antes de extraer el aceite, se calentaron en condiciones ambientales a temperatura ambiente.

El aceite prensado salió turbio de la prensa, por eso se dejó reposar a temperatura ambiente para luego ser centrifugado y se sedimenten las partículas sólidas.

Para determinar los índices fisicoquímicos de calidad del aceite de tarwi con la adición de antioxidantes naturales, se realizó el siguiente procedimiento.

3.5.1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de tarwi.

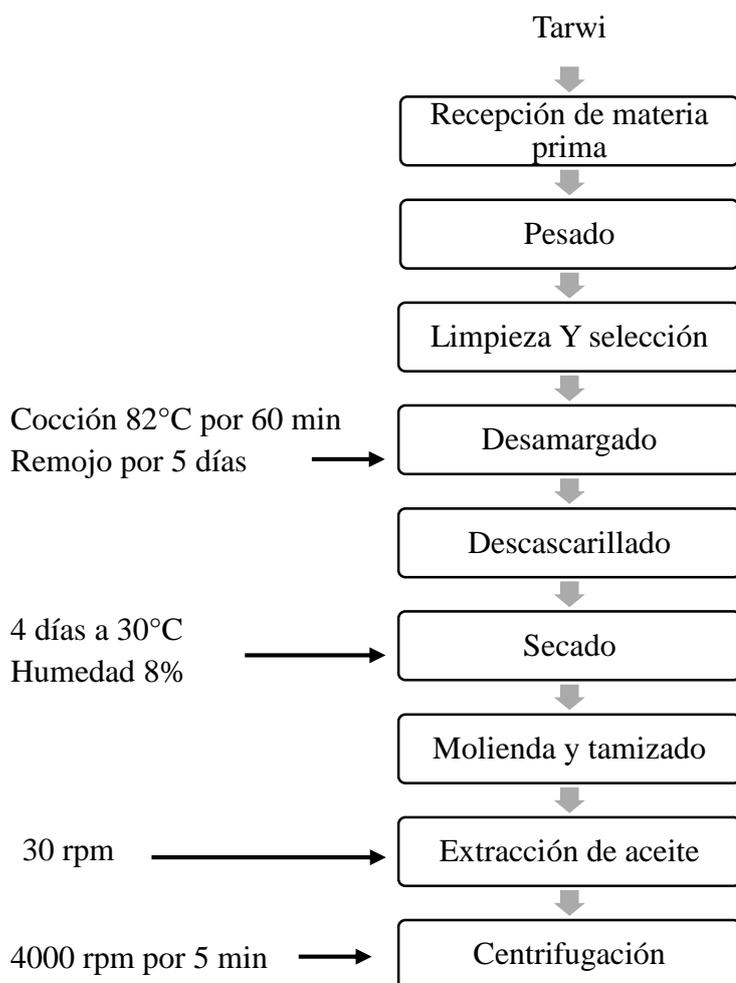


Figura 2: Diagrama del flujo del proceso de extracción de aceite de tarwi. Adaptado del flujo grama de Pascual Chagman, (2021).

3.5.2. Descripción del proceso de extracción del aceite de tarwi.

- Recepción de materia prima: Se adquirió la materia prima proveniente de la provincia de Yunguyo- Ilave. Teniendo en cuenta sus puntos de control como la variedad (*Lupinus mutabilis* Sweet), es decir una calidad óptima, evitando alguna alteración o contaminación, es importante para garantizar la inocuidad y la calidad del producto final.
- Pesado: En esta etapa se registra y se controla la cantidad de kilos que se necesitó para elaborar el aceite de tarwi, es necesario precisar los pesos con el objeto de determinar los rendimientos.
- Limpieza y selección: Siguiendo con el proceso, se eliminaron las impurezas de la materia prima, y se seleccionaron los granos más aptos, teniendo en cuenta que será utilizado para la extracción de aceite de tarwi.
- Desamargado: En esta etapa los granos son humedecidos durante 24 horas en agua; donde se permitió que los granos se hidraten e incrementen su tamaño inicial. Consiguientemente los granos ya hidratados se someten a una cocción de 80°C en una olla a presión por una hora aprox. Finalmente los granos cocidos fueron enjuagados con abundante agua a temperatura ambiente por 5 días.
- Descascarillado: En esta etapa los granos siendo humedecidos se les procedió a quitar la cáscara.
- Secado: Los granos des amargados, descascarados se secaron en la estufa eléctrica a una temperatura de 30°C por 4 días, se aplica este secado lento para que no se pierda las características organolépticas de la materia prima. Debido a que un secado rápido o brusco trae como consecuencia la formación de fisuras y quebrado en la manipulación del producto, hasta un porcentaje de humedad del 8 % para su mayor conservación, y luego se humedecen hasta un 11 %.
- Molienda y tamizado: Una vez secos los granos de tarwi fueron molidos y tamizados hasta un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm.
- Extracción de aceite: Siguiendo con el proceso, se pasó el tarwi por una prensa de aceite (PRENSA EXTRACTOR PITEBA DE ACEITE) a una velocidad de rotación del tornillo sin fin a 30 rpm.

Centrifugación: Posteriormente, se realizó una centrifugación a 4000 rpm. por 15 min, por medio de la centrífuga se realizó la separación y concentración de partículas suspendidas aprovechando la diferente velocidad de desplazamiento

según su forma, tamaño o peso, al ser sometido a la fuerza centrífuga, se acelera el proceso de sedimentación de partículas que tienen tendencia a hacerlo espontáneamente (densidad superior a la del líquido), o en aquellas que tienden a flotar (densidad inferior a la del líquido).

3.6. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO.

Los análisis fisicoquímicos como la densidad, acidez, humedad e impurezas, índice de yodo, índice de peróxido se realizaron en las instalaciones de laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca, mientras que el índice de viscosidad se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano. Para determinar los índices físico químicos del aceite de tarwi se determinó por los siguientes procedimientos:

3.6.1. Determinación de la densidad.

Para determinar la densidad relativa del aceite de tarwi, se pesó el picnómetro 10 mL vacío, luego con agua y finalmente se llenó con cada muestra de aceite en la balanza analítica ($\pm 0,0001$). El cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación y por triplicado.

$$pr\ de\ aceite = \frac{Wm}{Wa}$$

Dónde:

Pr de aceite: Densidad de la muestra kg/L.

Wm: Masa (kg).

Wa: Volumen (L).

3.6.2. Índice de acidez.

Se midió 10 mL de aceite de tarwi en un vaso de precipitado de 250 mL que contenía 50 mL de etanol caliente previamente neutralizado con unas 2 o 3 gotas de fenoltaleína, luego se tituló con hidróxido de sodio al 0,1 N hasta que indicó un color rosado persistente al menos por 30 segundos. Finalmente, se midió y se hicieron cálculos.

$$IA = \frac{V \times N \times 56,1}{W}$$

Dónde:

IA: Miligramo de hidróxido de sodio NaOH estimado para neutralizar los ácidos grasos libres de la muestra.

V: Volumen en mililitro de la solución valorada de NaOH.

N: Concentración normal de NaOH.

W: Peso en gramos de la muestra de aceite utilizada.

3.6.3. Índice de humedad e impurezas.

Se tomó 10 gr. de aceite de tarwi y se filtró en un embudo que lleva dentro un papel filtro previamente tarado, luego se esperó 10 a 20 minutos, se vertió Hexano a una temperatura de 40°C sobre el embudo con el filtro para arrastrar el aceite. Este lavado terminó cuando el color del residuo se volvió blanquecino, inmediatamente después se llevó el residuo a estufa junto con el papel de filtro a 80°C por 4 horas. Finalmente se pesó y se hicieron cálculos.

3.6.4. Índice de iodo.

Se pesó aproximadamente 4 gotas de aceite en una fiola de yodo de 500 mL o en frasco con tapón de vidrio. Se disolvió en un vaso precipitado 10 mL de cloroformo, con la pipeta volumétrica y se añadió 10 mL de la solución Hanus y se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad agitando ocasionalmente. Se añadió 5 mL de solución de KI al 15%, agitando vigorosamente y añadiendo 100 mL de agua recién hervida y enfriada, lavando cualquier cantidad de yodo libre de la tapa. Se tituló el yodo con tiosulfato 0,1 N añadiéndolo gradualmente, con agitación constante, hasta que el color amarillo de la solución casi desaparezca. Luego se añadió 1 mL del indicador para la titulación hasta que el color azul desaparezca completamente. Hacia el fin de la titulación, se tapó el Erlenmeyer y se agitó vigorosamente de manera que todo el yodo permaneció en la capa de cloroformo pase a la capa de yoduro de potasio. Finalmente se hizo cálculos.

$$I \text{ Iodo} = \frac{(B - M) \times 12,69}{W}$$

Donde:

I Iodo: El Índice de Iodo expresado en gramos de Iodo que reaccionan con 100 gramos de muestra.

B y M: Son los gastos en mililitro de la solución de tiosulfato de sodio en la titulación de la muestra patrón y la muestra de aceite.

N: Es la normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

W: Peso de la muestra en gramos.

3.6.5. Índice de peróxido.

Se pesó $5,00 \pm 0,05$ gr. de aceite en un Erlenmeyer de 250 mL de tapa de vidrio. Se añadió 30 mL de la solución HOAC- CHCl_3 y se agitó para disolver. Se añadió 0,5 mL de la solución saturada de KI, agitando vigorosamente y dejando reposar en la oscuridad durante 2 minutos añadiendo unos 30 mL de agua. Se realizó la titulación inmediatamente el yodo liberado con tiosulfato 0,1 N; agitando vigorosamente hasta que el color amarillo casi desaparezca. Se añadió alrededor 0,5 mL de solución de almidón al 1% y se continuó titulando hasta que el color azul desaparezca. Se restó al resultado obtenido al de la muestra. Posteriormente se hicieron cálculos.

3.6.6. Índice de p-anisidina.

La muestra pesó 0,5 gr. - 4,0 gr. de la muestra, al más cercano miligramo dentro de un matraz volumétrico de 25 mL. Se diluyó al volumen con iso octano. Midiendo la absorbancia (Ab) de la solución a 350 nm en una celda con el espectrofotómetro usando la celda de referencia llena con solvente, como muestra patrón o muestra de control. Se pipeteó exactamente 5 mL de la solución de tarwi dentro de un tubo de ensayo y exactamente 5 mL del solvente dentro de un segundo tubo de ensayo. Por medio de una pipeta automática se agregó exactamente 1 mL del reactivo de p-anisidina a cada tubo, se tapó y agitó muy bien con fuerza. Después de exactamente 10 minutos se midió la absorbancia (As) del solvente en el primer tubo de ensayo en una celda a 350 nm, se usó la solución del segundo tubo de ensayo como muestra de control en la celda de referencia.

$$I. A = 100 \times 25 \times 1,2 \times 0,01 \times \frac{(Abs2 - Abs1 - Abs0)}{\text{peso de la muestra}}$$

Dónde:

Abs0: Absorbancia 5 mL de N-hexano y 1 mL de solución de p-anisidina (muestra control).

Abs1: Absorbancia de la solución de la muestra con la solución de p-anisidina.

Abs2: Absorbancia de la solución de la muestra con ácido acético.

3.6.7. Índice de viscosidad.

Se montó el viscosímetro Brookfield LVTD, con su dispositivo de protección sobre su soporte. Se llenó un vaso con el aceite de tarwi, Se introdujo en el baño de agua a la temperatura del tubo de ensayo.

Se esperó que se equilibren las temperaturas, luego se sumergió el vástago en el líquido a medir hasta la marca que figura sobre el eje. Finalmente se bajó el viscosímetro sobre su soporte y fijó el vástago al eje. Se puso el motor en marcha. Ajustando a la velocidad deseada. Se bloqueó la aguja y se anotó la lectura. Después, se volvió a poner en marcha el motor y tomó otra lectura. Se continuó tomando lecturas hasta que 2 valores consecutivos que no difieran en $\pm 3 \%$. Y se tomó el valor medio de las dos últimas lecturas.

3.7. DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN:

Para determinar la energía de activación del aceite de tarwi se utilizó la ecuación de Arrhenius como modelo de regresión lineal entre las variables. Según las consideraciones de Blaine y Savage (1992) y García-Ochoa et al. (1989), se hace el uso de la ecuación:

$$\ln(OSI) = \ln\left(\frac{-\ln(1 - \alpha)}{z}\right) - \frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T}\right)$$

Donde la ecuación puede ser reescrita como:

$$\ln(K) = \ln(A) - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

Donde:

Ea: Energía de activación.

K: Constante de reacción.

T: Temperatura.

R: Constante de los gases ideales.

El gráfico de Arrhenius mostró el logaritmo de las constantes cinéticas $\ln(K)$ en el eje de las ordenadas en coordenadas cartesianas graficado con respecto al inverso de la temperatura $\left(\frac{1}{T}\right)$ en el eje de las abscisas. Los gráficos de Arrhenius se utilizaron para analizar el efecto de la temperatura en las tasas de rapidez de las reacciones químicas. Para un único proceso térmicamente activado de velocidad limitada, el

gráfico de Arrhenius da una línea recta, desde la cual se pudo determinar la energía de activación.

3.8. MÉTODO RANCIMAT (ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA (OSI)).

Ya obtenido el aceite de tarwi se homogeneizó con los antioxidantes, agitando por aproximadamente 5 minutos.

Se procedió a pesar $5,0 \pm 0,2$ del aceite de tarwi con extracto de romero y extracto de té verde para cada tubo de reacción.

Luego se preparó la muestra patrón y se analizó a temperaturas 110°C , 130°C y 180°C y posteriormente con la siguiente muestra con los antioxidantes añadidos.

El análisis se realizó por el método Rancimat a una temperatura de 110°C , 130°C y 180°C y a un flujo de aire de 20 L/h.

3.8.1. Adición de antioxidantes de origen natural.

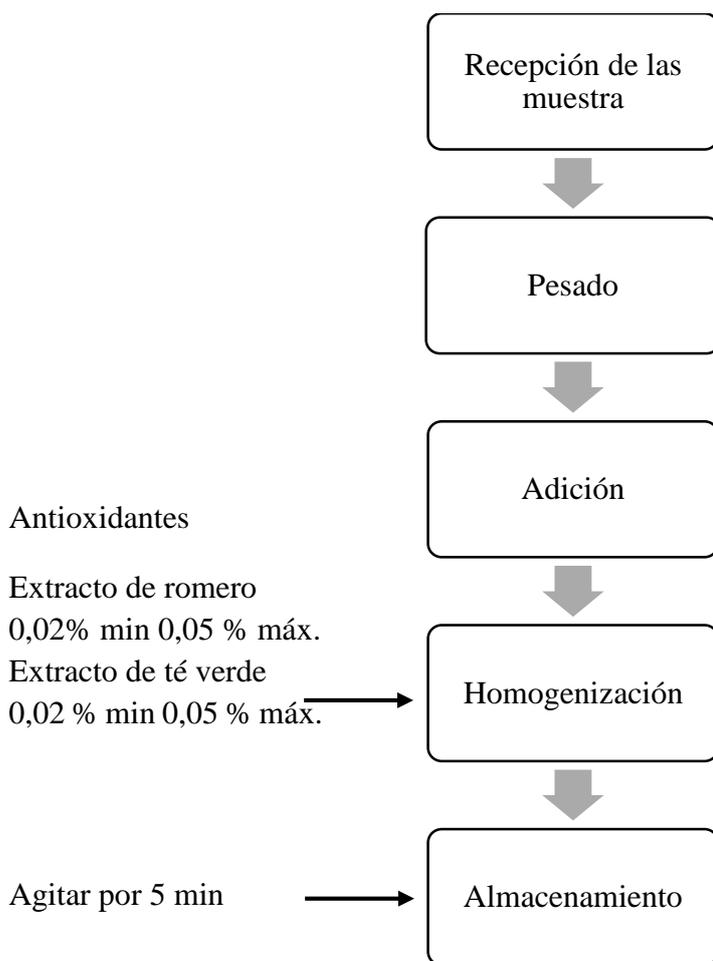


Figura 3: Diagrama de flujo de la adición de los antioxidantes.

3.8.2. Análisis en el equipo Rancimat del aceite de tarwi.

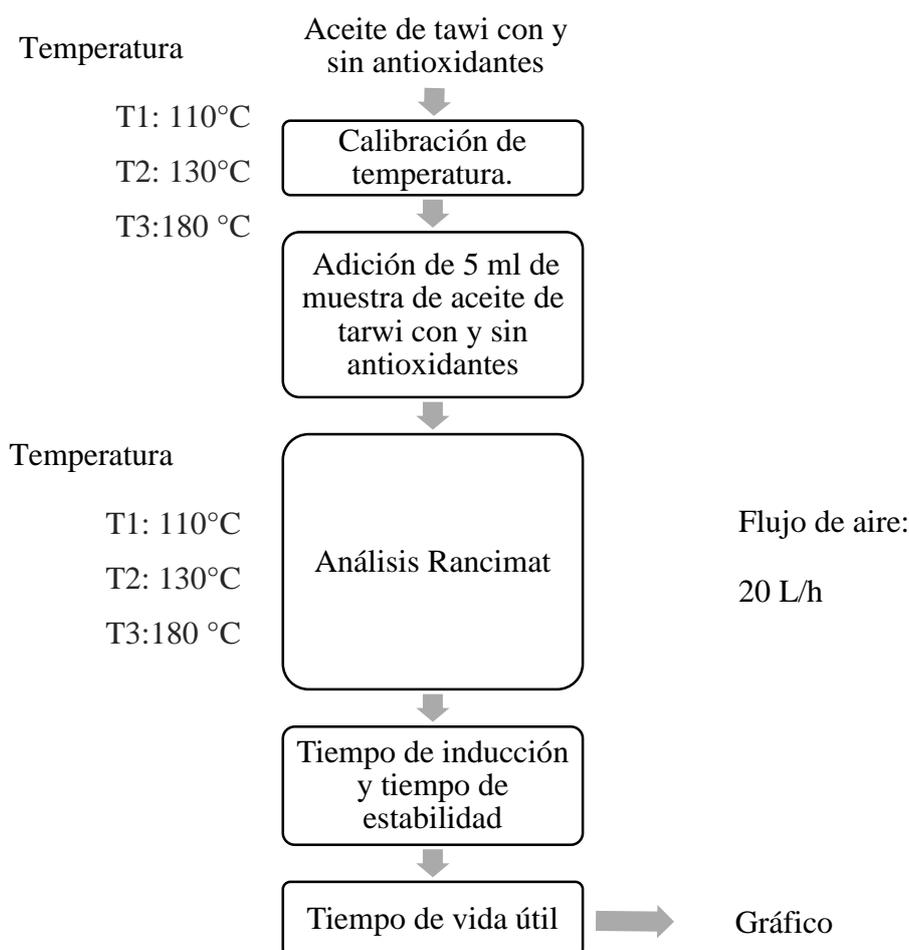


Figura 4: Diagrama de flujo del análisis en el equipo Rancimat.

Procedimiento:

- La muestra de aceite de tarwi y antioxidantes fueron almacenados en recipientes de vidrio ámbar, a temperaturas de refrigeración a 4 ± 1 °C.
- Calibración de temperatura: Primero se preparó la muestra patrón y se analizó a temperaturas 110°C, 130°C y 180 °C y seguidamente con las siguientes muestras a distintas concentraciones según las dosis permitidas, teniendo en cuenta la densidad del aceite de tarwi es 0,903 g/mL a 18°C.
- Adición de aceite de tarwi con y sin antioxidantes: Se procedió a llenar $5 \pm 0,5$ mL. del aceite de tarwi a diferentes concentraciones para cada tubo de reacción.
- Análisis en el equipo Rancimat: luego de que se hayan dado las correcciones de temperatura se procede a estandarizar a las temperaturas requeridas como 110°C, 130°C, 180°C y se procede a comenzar con el análisis.

- Tiempo de inducción y estabilidad: después de terminar los análisis el equipo Rancimat muestra el tiempo de inducción y tiempo de estabilidad, así como también las gráficas.

3.9. VARIABLES DE ESTUDIO.

a. Para el primer objetivo:

Determinación del tiempo de inducción del aceite de tarwi, a temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C mediante flujo de 20 L/h, añadiendo antioxidantes naturales.

Variable independiente:

- Temperatura. (T°)
- Tratamiento:
 - Sin antioxidante.
 - Extracto de romero 200 PPM.
 - Extracto de romero 500 PPM.
 - Extracto de té verde 500 PPM.
 - Extracto de té verde 200 PPM.
 - Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM.
 - Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM.
 - Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM.
 - Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM.
 - Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM.
 - Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM.
 - Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM.

Variable dependiente:

- Vida útil. (Tiempo).

b. Para el segundo objetivo:

Optimización de los índices fisicoquímicos de calidad del aceite de tarwi suplementando con antioxidantes naturales como el extracto de romero y extracto de té verde.

Variable independiente:

- Aceite de tarwi con extracto de romero (AER).
- Aceite de tarwi con extracto de té verde (AETV).
- Aceite de tarwi con extracto de romero y extracto de té verde (AEC).

Variable dependiente.

- Análisis fisicoquímico: índice de acidez, determinación de humedad e impurezas, densidad, índice de iodo, índice de peróxidos, índice de p-anisidina, índice de viscosidad.

c. Para el tercer objetivo:

Cálculo de la energía de activación (E_a) del aceite de tarwi utilizando las temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C por regresión lineal con la ecuación de Arrhenius.

Variable independiente.

- Tiempo de periodo de inducción.
- Temperatura.

Variable dependiente:

- Energía de activación (E_a).

3.9.1. Análisis estadístico:

Determinación del tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de tarwi se realizó con flujo de aire 20 L/h. empleando el diseño factorial ANOVA de un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial, obteniendo 13 tratamientos que fueron controlados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 5: Tratamiento para la concentración mínimo y máximo en ppm de antioxidante.

Antioxidante/ % de contenido	% Min	% Máx.
Extracto de té verde	0,002	0,005
Extracto de romero	0,002	0,005

Tabla 6: Tratamiento para la concentración en ppm de las mezclas de antioxidantes.

TRATAMIENTO	EXTRACTO DE ROMERO	EXTRACTO DE TÉ VERDE
1	400	400
2	500	400
3	400	500
4	500	500
5	350	350
6	200	500
7	500	200
8	500	300

Modelo matemático: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$

Donde:

- Y_{ijk} = Variable respuesta (vida útil del aceite de tarwi suplementado con antioxidantes naturales).
- μ = Media global.
- α_i = concentración de antioxidantes.
- i = Niveles de temperatura.
- β_j = Tiempo.
- j = Niveles del tiempo.
- E_{ijk} = Error experimental.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Interacción de los niveles del factor temperatura y cantidad de concentración del antioxidante.
- P = Antioxidante.
- R = Repetición.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) variedad INIA 445 Masancachino se adquirió de la provincia de Yunguyo departamento de Puno (Perú), para realizar el proceso de extracción de aceite de tarwi.

4.1. TIEMPOS DE INDUCCIÓN DEL ACEITE DE TARWI CON Y SIN ANTIOXIDANTES.

Para la determinación de los tiempos de inducción del aceite de tarwi se empleó el equipo Rancimat Metrohm. La muestra fue sometida a condiciones aceleradas como a diferentes temperaturas (110°C, 130°C y 180°C) y un flujo de aire constante de 20 L/h, con el fin de que se produzca la oxidación y se genere compuestos volátiles como peróxidos, aldehídos y acetonas.

Tabla 7: Tiempo de inducción del aceite de tarwi sin adición y con adición de antioxidantes naturales.

TRATAMIENTO	Temperatura		
	110	130	180
	Período de inducción (h)	Período de inducción (h)	Período de inducción (h)
T0 Sin antioxidante	9,72	2,37	0,06
T1 Extracto de romero 200 PPM	10,01	2,02	0,05
T2 Extracto de romero 500 PPM	10,85	2,56	0,06
T3 Extracto de té verde 200 PPM	10,72	2,24	0,07
T4 Extracto de té verde 500 PPM	11,5	2,43	0,07
T5 Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM	10,5	2,02	0,06
T6 Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM	10,76	2,43	0,06
T7 Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM	10,57	2,49	0,05
T8 Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM	11,58	2,52	0,04
T9 Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM	9,58	2,35	0,03
T10 Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM	10,7	2,32	0,03
T11 Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM	12,09	2,74	0,05
T12 Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM	11,69	1,86	0,05

En la Tabla 7 se observa los valores de tiempo de inducción determinados por el método Rancimat a diferentes temperaturas, para un flujo constante 20 L/h, a medida que va aumentando la temperatura los tiempos van reduciendo, como menciona Rodríguez et al., (2015) la velocidad de la reacción es una función de la temperatura. Por lo que se observa que el aceite de tarwi sometido a una oxidación acelerada muestra una mayor estabilidad oxidativa.

De la Tabla 7 se señala que el mejor tratamiento fue el T11 a 110°C con un periodo de inducción de 12,09 horas, comparado con el tratamiento de control T0 (sin antioxidante) de 9,72 horas. En un trabajo similar de Salvatierra Pajuelo & Azorza Richarte, (2017) se presentan el tiempo de inducción de 9,97 horas a una temperatura de

120°C con flujo de aire de 20 L/h, comparado con el aceite de chía que tiene un período de inducción de 0,40 horas a una temperatura de 120°C.

Los tratamientos T3 y T6 (Tabla 7) fueron significativamente iguales, debido a que en ambos se utilizan al té verde, siendo su período de inducción 10,72 horas y 10,76 horas respectivamente, así como también se encuentra una similitud en el T5 y T7 con un período de inducción de 10,5 horas y 10,57 horas.

También es necesario mencionar de la Tabla 7 que el T4 con un período de inducción de 11,5 horas es superior al T2 con 10,85 horas señalando que la capacidad antioxidante del té verde es superior al de extracto de romero en la concentración de 500 ppm. Sucede lo mismo con las concentraciones mínimas de 200 ppm en el T1 y el T3.

No se puede determinar un mejor tratamiento a temperaturas altas como 180°C porque todos los tratamientos son casi similares.

Cabe mencionar que no hay mucha investigación sobre periodos de inducción en el aceite de tarwi, sin embargo, hay estudios donde se ha evaluado la estabilidad del aceite a condiciones ambientales y almacenamiento acelerado a los 75 días de almacenamiento donde se presentó 6,0696 meq O₂/kg (Navarrete, 2010).

Los tiempos de inducción de los diferentes tratamientos con antioxidantes naturales resultan ser más positivos frente a aceites con adición de antioxidantes sintéticos, porque el nivel de peróxidos es más bajo (Mozo y Vida de Ardiles, 2017).

Resultados encontrados en estudios que adicionaron extracto de romero (1000 ppm) a aceite de sardina a 40°C mostraron una efectividad mayor con respecto al uso de BHT (antioxidantes sintéticos) (Pizzocaro et al. 1985).

4.1.1. ANOVA de los tiempos de inducción del aceite de tarwi con y sin antioxidantes naturales a diferentes temperaturas.

Los resultados del ANOVA presentados en la Tabla 8, muestra que el valor P de la prueba F es menor que 0,05; por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de TIEMPO DE INDUCCIÓN A 110°C, 130°C y 180°C entre un nivel de TRATAMIENTOS, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 8: ANOVA del tiempo de inducción a 110°C, 130°C y 180°C a los distintos tratamientos de antioxidantes.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	2519,81	38	66,31	153631,18	<0,0001
Tratamiento	8,93	12	0,74	1724,36	<0,0001
Temperatura	2496,61	2	1248,3	2892106,86	<0,0001
Tratamiento* Temperatura	14,28	24	0,59	1378,28	<0,0001
Error	0,03	78	4,30E-04		
Total	2519,85	116			

En investigaciones similares acerca de la influencia de los parámetros del Test Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa de aceite vegetales añadido con antioxidantes naturales, y temperaturas diferentes como (80, 100, 110°C) se concluyó mediante el análisis de varianza (ANOVA) el valor de OSI es altamente dependiente de los efectos lineales de temperatura y adición de antioxidantes, con probabilidades, $p < 0,05$; respectivamente (García et al., 2013).

Tabla 9: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95 % de TEMPERATURA DE 110°C.

T	T°	Medias	n	E.E.	
12	110	12,09	3	0,01	A
13	110	11,69	3	0,01	B
10	110	11,58	3	0,01	C
5	110	11,5	3	0,01	D
3	110	10,85	3	0,01	E
7	110	10,76	3	0,01	F
4	110	10,72	3	0,01	F
11	110	10,7	3	0,01	F
8	110	10,57	3	0,01	G
6	110	10,5	3	0,01	H
2	110	10,01	3	0,01	I
9	110	9,72	3	0,01	J
1	110	9,58	3	0,01	K

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 9 muestra los tiempos de inducción de aceite añadido con diferentes concentraciones de antioxidantes, se puede concluir que el tratamiento 12 con concentración de (extracto de té verde 500 ppm + extracto de romero 200 ppm) tuvo el mayor tiempo de inducción con 12,09 horas. Sin embargo, es importante mencionar que el T7 conducía a un tiempo de inducción estadísticamente similar a los tratamientos T4 y T9, así como adicionalmente, el tratamiento donde se obtuvo un menor rendimiento fue el T1 con un tiempo de inducción de 9,58 horas debido a que este tratamiento no tiene antioxidantes añadidos. Esto permite concluir que la adición de antioxidante al aceite de tarwi es un factor muy importante, dado que al trabajar con las diferentes concentraciones el período de inducción fue de hasta un 26 % mayor.

Tabla 10: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95 % de TEMPERATURA DE 130°C.

T	T°	Medias	n	E.E.						
12	130	2,74	3	0,01	L					
3	130	2,56	3	0,01		M				
10	130	2,52	3	0,01		M	N			
8	130	2,49	3	0,01			N			
7	130	2,43	3	0,01				O		
5	130	2,43	3	0,01				O	P	
1	130	2,36	3	0,01				O	P	Q
9	130	2,35	3	0,01					P	Q
11	130	2,32	3	0,01						Q
4	130	2,24	3	0,01						R
6	130	2,02	3	0,01						S
2	130	2,02	3	0,01						S
13	130	1,86	3	0,01						T

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey que se muestran en la Tabla 10 los tiempos de inducción de los tratamientos T7 y T5 tienen grupos de medias iguales debido a que las concentraciones de antioxidantes son casi similares, lo mismo sucede con los tratamientos T1, T9 y T11, así mismo el T6 y T2 que son significativamente iguales, pasa lo contrario con los T12, T4 y T13 tienen grupos medias diferentes.

El ANOVA presentado en la Tabla 10, muestra que el valor P es menor que 0,05; por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de TIEMPO

DE INDUCCIÓN A 130°C entre un nivel de TRATAMIENTOS y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Tabla 11: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95 % de TEMPERATURA DE 180°C.

TRATAMIENTO	TEMPERATURA	Medias	n	E.E.	
13	130	1,86	3	0,01	U
5	180	0,07	3	0,01	U
4	180	0,07	3	0,01	U
3	180	0,06	3	0,01	U
6	180	0,06	3	0,01	U
1	180	0,06	3	0,01	U
7	180	0,06	3	0,01	U
2	180	0,05	3	0,01	U
12	180	0,05	3	0,01	U
13	180	0,05	3	0,01	U
8	180	0,05	3	0,01	U
10	180	0,04	3	0,01	U
9	180	0,03	3	0,01	U
11	180	0,03	3	0,01	U

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey en la Tabla 11, los tiempos de inducción a temperatura de 180°C no existen diferencias significativas con los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13. Debido a que se muestran valores insignificantes y variables, demostrando que el aceite de tarwi no es estable a temperaturas iguales o mayores a 180°C con o sin antioxidantes.

Tabla 12: La prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey al 95 % de TEMPERATURAS.

TEMPERATURA	Medias	n	E.E.	
110,00	10,79	39	3,30E-03	A
130,00	2,33	39	3,30E-03	B
180,00	0,05	39	3,30E-03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey que se muestran en la Tabla 12, la temperatura de 110°C, 130°C y 180°C para los diferentes tratamientos de los tratamientos tiene grupos de medias diferentes, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de TEMPERATURAS entre un nivel de los TRATAMIENTOS y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

4.2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE DE TARWI CON Y SIN ANTIOXIDANTES.

4.2.1. Análisis fisicoquímico del aceite tarwi sin antioxidante

Según los resultados que se muestran en la Tabla 13 se hace referencia a los análisis fisicoquímicos del aceite de tarwi antes de iniciar las pruebas de oxidación acelerada por el método Rancimat, los valores de índice acidez y humedad e impurezas son 0,4 % y 3,01 mg KOH/gr. respectivamente.

El índice de acidez del aceite que se obtuvo presentó un valor de 3,01 mg KOH/gr. comparando con el trabajo de investigación de Pascual Chagman et al., (2021) se encuentra una aproximación a 3,2 mg KOH/g. Siendo este valor levemente inferior al límite máximo indicado en la norma para “grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales” como indica en el Codex alimentarius. (4,0 mg KOH/g). (Mussardo, 2019). Al comparar estos resultados podemos notar que este aceite tiene un bajo grado de descomposición lipolítica.

El índice de yodo se constituye por ser una medida del grado de insaturación del aceite, el índice de yodo en el aceite de tarwi desamargado fue de 92 mg de I₂/gr. Este valor es superior al encontrado por Quispe Condori, (2012) que indica 78 mg I₂/gr. y al de Pascual Chagman et al., (2021) que indica 68 mg I₂/g., e inferior al trabajo de investigación de Villacrés, E Navarrete, M Lucero, O Espin, S Peralta, (2010), que indica 115,1 mg I₂/gr. comparándolo como índice menor comparado con los aceites de girasol y oliva, esta varianza va a depender de los ácidos grasos en el aceite, como también de su naturaleza y composición.

Estos valores permiten clasificar al aceite de tarwi como un aceite semisecante, prediciendo una mayor estabilidad al ser almacenados, estos valores también demuestran ser inferiores a otros aceites refinados como el de soya por el rango que se establece en la norma del Codex (120 – 143 gr. I₂/100 gr.), pero se encuentran dentro de la normativa establecida para los aceites de oliva virgen con valores inferiores a 120 gr I₂/100 gr. (Villacrés et al., 2010).

El índice de peróxido mide la oxidación del aceite fresco o el grado de rancidez en el momento de la prueba y puede variar con el grado de maduración del grano, su calidad, el tiempo transcurrido entre la recolección y el inicio de proceso (Sven-E. & Mujica, 2006); se considera que los productos que coincida superior a 2 meq de O₂/Kg son altamente proclives a mostrar rancidez, en la presente investigación el aceite presentó un

valor de índice de peróxido de 3,7 meq O₂/kg. Este valor es muy inferior al límite máximo establecido por la norma indicada anteriormente (15 meq O₂/kg) (Mussardo, 2019), Así como también muy diferente a los valores presentados para aceite de tarwi en la bibliografía de Quispe, (2012) que indican 5,1 meq O₂/kg y Villacrés, Navarrete, Lucero, Espin, Peralta, (2010) donde se indica 2,59 meq O₂/kg en aceite de tarwi refinado y desamargado.

En este informe de investigación el valor del índice de anisidina fue de 2,4; donde se indica que el aceite obtenido no presenta productos secundarios de oxidación. El valor del índice de anisidina en un aceite puede cambiar con la oxidación debido al aire o la luz, o al estado de materia prima (Pascual-Chagman et al., 2021).

El valor del índice de viscosidad del aceite de tarwi desamargado presentaron valores de viscosidad de 62,40 cp, mientras que los aceites de girasol y oliva mostraron valores menores, (46,9 cp). Los valores determinados son similares a los reportados por Alvarado (1996) y muestran que el aceite de chocho, independientemente de su condición (crudo, refinado, amargo, des amargado), viene a ser más consistente y requiere una energía mayor para iniciar el flujo, al contrario de los aceites de soya, girasol y oliva (Acuña, 2007).

El valor de densidad a 18°C (0,921 gr/mL) fue similar a otros valores encontrados en la bibliografía, teniendo en cuenta que se determinaron a 20°C 0,916 gr/mL y 0,919 gr/mL (Chirinos-Arias, 2015; Quispe, 2012) respectivamente donde se indica que es muy importante que los aceites comestibles presenten una densidad menor a uno.

Tabla 13: Calidad fisicoquímica del aceite de tarwi.

Parámetros fisicoquímicos	Aceite de tarwi.
Humedad	0,4 (% m/m)
Índice de acidez	3,01 (mgKOH/gr)
Índice de peróxido	3,7 (meq O ₂ /kg)
Índice de <i>p</i>- anisidina	2,4 anisidina
Índice de yodo	92 (mg de I ₂ /gr)
Viscosidad	62,40 (cp)
Densidad a 18°C	0,921 (gr/mL)

4.2.2. Análisis fisicoquímico del aceite tarwi con antioxidante

Al adicionar antioxidantes del extracto de té verde y extracto de romero se obtuvieron mejoras en cuanto a los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 14: Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO					
	TRATAMIENTO	Índice de acidez (mg KOH/g)	Humedad (% m/m)	Índice de p-anisidina	Índice de peróxido (meq O ₂ /kg)
T0	Sin antioxidante	3,01	0,4	2,4	3,7
T1	Extracto de romero 200 PPM	2,47	0,18	2,13	3,58
T2	Extracto de romero 500 PPM	2,59	0,16	2,01	3,53
T3	Extracto de té verde 200 PPM	2,54	0,14	1,92	3,49
T4	Extracto de té verde 500 PPM	2,65	0,15	2,01	3,37
T5	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM	2,35	0,16	1,29	3,32
T6	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM	2,41	0,24	1,63	3,3
T7	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM	2,46	0,27	1,74	3,27
T8	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM	2,49	0,29	1,31	3,26
T9	Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM	2,54	0,14	1,48	3,25
T10	Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM	2,46	0,18	1,59	3,39
T11	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM	2,51	0,18	1,37	3,31
T12	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM	2,53	0,17	1,41	3,28

En la Tabla 14 se muestran los valores de acidez %, índice de anisidina y peróxido han sufrido una reducción del % de acidez de 3,01 % a 2,35 %, índice de anisidina de 2,4 a 1,29 y el índice de peróxido de 3,7 a 3,25 lo que indica el poder antioxidante de cada tratamiento llegando a estabilizar.

Se debe aplicar la adición de antioxidantes para aumentar la estabilidad en aceites que no alcancen metas propuestas y resulten ineficientes, teniendo en cuenta que un aceite adicionado con antioxidantes no mejorará las características organolépticas como sabor

y olor o aumentará su calidad. Un antioxidante no mejorará el sabor de aceites o grasas de baja calidad, no optimizará un aceite rancio, solo aumentará su vida útil (Barrera-Arellano, 1998).

4.2.3. Determinación de la vida útil

La Tabla 15, muestra los valores de la extrapolación de la vida útil a temperatura de 13°C (T° ambiente) en la región de Puno la cual señala una fuerte influencia de los flujos de aire sobre la extrapolación del OSI de aceite de tarwi.

Tabla 15: Valores de la extrapolación a 13°C.

	TRATAMIENTO	A	B	R²	Tiempo (h)	Tiempo (años)
T0	Sin antioxidante	30557	-0,07302	0,99991	11826	1,35
T1	Extracto de romero 200 PPM	37546	-0,07421	0,99991	13451	1,54
T2	Extracto de romero 500 PPM	40070	-0,07450	0,99992	15212	1,73
T3	Extracto de té verde 200 PPM	33287	-0,07314	0,99941	13123	1,5
T4	Extracto de té verde 500 PPM	35104	-0,07328	0,99969	13540	1,54
T5	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM	112546	-0,08007	0,99975	33421	3,82
T6	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM	112982	-0,08019	0,99953	32956	3,76
T7	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM	113587	-0,08156	0,99991	35784	4,08
T8	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM	113910	-0,08307	0,99944	38688	4,41
T9	Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM	105648	-0,08154	0,99954	31521	3,61
T10	Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM	110459	-0,08003	0,99921	30869	3,52
T11	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM	108541	-0,07957	0,99994	32486	3,71
T12	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM	109457	-0,08018	0,09992	32782	3,74

La vida útil de las grasas y aceites comestibles en condiciones ambientales se estima mediante el trazado del logaritmo de los resultados de la estabilidad a la oxidación frente a altas temperaturas y extrapolando a la temperatura ambiente de 13°C en el equipo Rancimat (Kaya et al., 1993).

De la tabla 15 se menciona que el T8, tiene un valor de vida útil que sería de 4,41 años, esta estabilidad supera a la vida útil estimada a la misma temperatura para otros aceites como el de girasol (1,7 años), sésamo (0,5 años), y uva (0,2 años). La elevada estabilidad con antioxidantes naturales en las condiciones del equipo Rancimat puede estar relacionada principalmente con el elevado contenido de ácido oleico (Pascual-Chagman et al., 2021).

Cabe mencionar que la muestra control tiene 1,35 años de vida útil y comparada con el T8 adicionada con 500 ppm de extracto de té verde y 500 ppm de extracto de romero con 4,41 años de vida útil, este valor se ha triplicado.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.

En la Tabla 16 podemos apreciar la energía de activación de los diferentes tratamientos los cuales varían desde 104,00 kJ/mol a 122,89 kJ/mol.

Tabla 16: Energía de activación E_a para los diferentes tratamientos.

	Tratamiento	Pendiente	R²	E_a J/mol	E_a kJ/mol
T0	Sin antioxidante	12745,00	0,998	105967,03	105,97
T1	Extracto de romero 200 PPM	13202,00	1,000	109766,71	109,77
T2	Extracto de romero 500 PPM	13019,00	0,998	108245,17	108,25
T3	Extracto de té verde 200 PPM	12508,00	1,000	103996,52	104,00
T4	Extracto de té verde 500 PPM	12701,00	1,000	105601,19	105,60
T5	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM	12816,00	1,000	106557,35	106,56
T6	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM	12972,00	0,999	107854,40	107,85
T7	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM	13434,00	0,997	111695,65	111,70
T8	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM	14227,00	0,997	118288,97	118,29
T9	Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM	14556,00	0,993	121024,41	121,02
T10	Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM	14780,00	0,996	122886,83	122,89
T11	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM	13770,00	0,997	114489,29	114,49
T12	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM	13480,00	1,000	112078,11	112,08

La Energía de activación del T0 (105,97 kJ/mol) obtenida sin antioxidante muestran un alta E_a , a pesar que los aceites vegetales son más inestables ante la oxidación acelerada, se demostró la frescura del aceite en cuestión. También, se muestra en la Tabla 16 que, la mayor E_a , fue de (122,89 kJ/mol) corresponde a la mezcla de extracto de té verde a 200 ppm con extracto de romero a 500 ppm, que, en primera instancia, su actividad antioxidante muestra una barrera energética que retarda la difusión del oxígeno, lográndose una mejor estabilidad.

La energía de activación en diferentes materiales oleaginosos destinados a la obtención de biodiesel; por ejemplo, el aceite de girasol donde se determinó su $E_a= 90$ kJ/mol o aceites utilizados en frituras con una energía de activación de 106,4 kJ/mol, el oleato de metilo puro (biodiesel) tuvo un valor igual a 82 kJ/mol (Dunn, 2008).

Para los 40 aceites esenciales que fueron estudiados para hallar sus propiedades térmicas se determinó un E_a máximo de 111,24 kJ/mol en el caso del aceite esencial de albahaca, (Calvachea et al., 2018), comparado con los de este estudio son parecidos. De igual forma el aceite de coco atomizado resultó en un intervalo (108,27- 113,51 kJ/mol), sin embargo, el aceite de semilla de uva resultó ser más inestable ante la oxidación acelerada es justificable desde un punto de vista termodinámico por que la E_a de este aceite fue la más baja (84,5 a 86 kJ/mol) (Navas, 2010).

Estos resultados son similares a los obtenidos en la muestra con adición de antioxidante, lo que comprueba la gran efectividad de estos tratamientos a pesar que dicho aceite de tarwi contiene antioxidantes propios.

Por otro lado, el aceite de sacha inchi muestra una superioridad a los aceites vegetales poliinsaturados, debido a que se debe que las semillas de sacha inchi contienen compuestos de actividad antioxidante, elevando así su resistencia a la oxidación con valores obtenidos de E_a fueron de 137,90 kJ/mol (Rodríguez et al., 2015).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Se determinó los tiempos de inducción de 9,72; 2,37 y 0,06 horas a las temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C respectivamente para el aceite de tarwi sin antioxidante con un flujo de aire de 20 L/h, así como también a los tratamientos con antioxidantes naturales los cuales generaron mayor tiempo de inducción, siendo el mayor tiempo de inducción del tratamiento 11 (extracto de té verde a 500 ppm + extracto de romero a 200 PPM) de 12,09; 2,74 y 0,05 horas a las temperaturas de 110°C, 130°C y 180°C respectivamente, comprobando que cuanto más largo es el tiempo de inducción, la muestra manifiesta una mayor estabilidad.
- Se evaluó las características fisicoquímicas del aceite de tarwi tales como: acidez 3,01 % (mg KOH/g); 0,4 % m/m de humedad e impurezas, densidad 0,921 g/mL, Índice de yodo de 92 (mg de I₂/gr), índice de peróxido 3,7 (meq O₂/Kg), índice de anisidina 2,4; donde mostraron estados de deterioro aceptables y dentro de los parámetros de calidad permitidos para una comercialización. Consiguientemente también se evaluó las características fisicoquímicas de las muestras añadidos con antioxidantes demostrando una reducción en los valores de acidez de 3,01 % a 2,35 % (mg KOH/gr), índice de anisidina de 2,4 a 1,29 y el índice de peróxido de 3,7 a 3,25 (meq O₂/kg) mostrando mejoras debido a la capacidad antioxidante de cada tratamiento.
- Se determinó la energía de activación ($E_a = 105,97$ KJ/mol) para el aceite de tarwi sin adición de antioxidantes y para el mejor tratamiento T8 fue 118,29 KJ/mol, concluyendo que a mayor eficiencia del antioxidante mayor es la energía de activación.
- Se determinó el tiempo de vida útil mediante uso del equipo Rancimat del aceite de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), así como también de los tratamientos con adición de antioxidante de extracto de té verde y extracto de romero resultando el mejor

tratamiento el T8 (Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM) con una vida útil de 4,41 años.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que se realicen estudios de aceite de tarwi a temperaturas de 80°C, 100°C, 120°C para que se muestren datos más exactos.
- Se recomienda determinar la acción de estos antioxidantes naturales como sintéticos en aceites comerciales que presentan inestabilidad a altas temperaturas, tales como el aceite de Chía, Sacha Inchi, linaza entre otros.
- Se recomienda que se realicen estudios que puedan eliminar el olor y sabor poco agradable característico del aceite de tarwi.
- Finalmente se pueden realizar estudios de vida útil a aceites utilizando enzimas que aportan resistencia a la oxidación lipídica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anoop, A. S. (2013). Vegetables as Sources of Antioxidants. *Journal of Food & Nutritional Disorders*, 02(01). <https://doi.org/10.4172/2324-9323.1000104>
- Anwar, F., Bhangar, M. I., & Kazi, T. G. (2003). Relationship Between Rancimat and Active Oxygen Method Values at Varying Temperatures. *Measurement*, 80(2).
- Avila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A. R., Vera-López, O., Dávila-Márquez, R. M., Melgoza-Palma, N., & Meza-Pluma, R. (2010). Romero (*Rosmarinus officinalis* L.): una revisión de sus usos no culinarios Raúl. *Ciencia y Mar*, 106(1), 23–36.
- Balentine, D. A., Wiseman, S. A., & Bouwens, L. C. M. (1997). The chemistry of tea flavonoids Critical Reviews in Food Science and Nutrition. In *The chemistry of tea flavonoids* (Vol. 37, Issue 8, pp. 693–704). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408399709527797>
- Barrera-Arellano, D. (1998). Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. *Grasas y Aceites*, 49(1), 55–63. <https://doi.org/10.3989/gya.1998.v49.i1.709>
- Bruno, L. (2017). Agrario. In *COMPEDIO ESTADISICO PERU* (Issue 9, pp. 951–1037). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Calvachea, E., Rodríguez, R., & Troyaa, J. (2018). Determinación de propiedades térmicas de aceites esenciales. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1), 205–207. <https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.736>
- Carvajal-Larenas, F. E., Linnemann, A. R., Nout, M. K., & Van Boekel, M. A. J. S. (2016). *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology, and Debittering. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(9), 1454–1487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772089>
- Carvente Juárez, M. 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). In *Facultad de Estudios Superiores Zaragoza*.
- Chirinos-Arias, M. C. (2015). Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) a plant with nutraceutical and medicinal potential. *Revista Bio Ciencias*, 3(3), 163–172. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.03.03>
- Dentone, S., & Morales Cauti, S. (2017). Determinación in vitro de la Actividad Antimicótica del Aceite de Romero (*Rosmarinus officinalis*) sobre *Microsporum canis*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 28(1), 56–61. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i1.12932>

- Días Gómez, M. F. (2010). Usos y propiedades de los aceites vegetales ozonizados . La experiencia cubana Ozonized vegetables oil its uses and properties . The cuban experience. *Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad*, 41, 1–12.
- Duda-Chodak, A., & Tarko, T. (2007). Antioxidant properties of different fruit seeds and peels. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*, 6(3), 29–36.
- Dunn, R. O. (2008). Effect of temperature on the oil stability index (OSI) of biodiesel. *Energy and Fuels*, 22(1), 657–662. <https://doi.org/10.1021/ef700412c>
- Durán Agüero, S., Torres García, J., & Sanhueza Catalán, J. (2015). Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutricion Hospitalaria*, 32(1), 11–19. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8874>
- Farinango Matute, A. R., & Quizhpi Mogrovejo, J. D. (2015). “PREPARACIÓN DE UN SUPLEMENTO PROTEICO ELABORADO A PARTIR DE *Lupinus mutabilis* ‘CHOCHO’ Y SU VALORACIÓN BROMATOLÓGICA.”
- Fereidoon, S., & Wanasundara, U. N. (2017). Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. In *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology, Fourth Edition* (Issue 1, pp. 519–542). <https://doi.org/10.1201/9781315151854>
- Ferrando, J. S. (2012). *Ficha Técnica “ACEITE DE OLIVA VIRGEN EXTRA.”* 9–12.
- Frankel, E. N. (2012a). Methods to determine extent of oxidation. *Lipid Oxidation, Chapter 5*, 99–127. <https://doi.org/10.1533/9780857097927.99>
- Frankel, E. N. (2012b). Stability methods. *Lipid Oxidation*, 165–186. <https://doi.org/10.1533/9780857097927.165>
- Garay Canales, O. B. (2015). *El tarwi alternativa para la lucha contra la desnutrición infantil* (Vol. 1). file:///C:/Users/W7/Downloads/Garay-El_tarwi_alternativa...contra_la_desnutricion_infantil.pdf
- García Carballo, B. M. (2009). Productos Agrícolas. In *Bioquímica de productos agrícolas* (pp. 626–629).
- García Moreno, P. J., Pérez-Gálvez, R., Guadix, A., & 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 - Food Science and Technology*, 51(1), 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.002>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2012). *Nueva tabla de composición de alimentos*. https://www.inei.gob.pe/media/cifras_de_pobreza/nota02.pdf
- Islam, S., & Ma, W. (2015). Lupine. In *Encyclopedia of Food and Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00432-3>

- Kuklinski Koepl, C. (2003). *Nutricion Y Bromatologia*.
- Markus, W. L., & Bruttel, P. A. (2014). *Determination of the Oxidative Stability of Fats and Oils : Comparison between the Active Oxygen Method (AOCS Cd 12-57) and the Rancimat •, Determination of the Oxidative Stability of Fats and Oils : Comparison between the Active Oxygen Method (AOCS Cd. June 1986, 792–795. <https://doi.org/10.1007/BF02541966>*
- Mejía Calle, P. E. (2019). *Evaluación de la capacidad antioxidante de extractos alcohólico y acuoso de romero (Rosmarinus officinalis), frente a un compuesto sintético. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17965>*
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Analisis de mercado- Tarwi 2021* (p. 33).
- Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Prural. (2006). *Informe estadístico del tarwi*.
- Mozo Malca, V. J. ., & Vida de Ardiles Falcón, N. E. (2017). “*DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL ACEITE CRUDO DE PESCADO USANDO ANTIOXIDANTES SINTÉTICOS Y NATURALES MEDIANTE USO DEL RANCIMAT.*”
- Mussardo, G. (2019). Codex Alimentario. *Statistical Field Theor*, 53(9), 1689–1699. <file:///C:/Users/Gaby/Downloads/SEGURIDAD ALIMENTARIA 01.pdf>
- Navarrete Parra, M. V. (2010). “Extracción , Refinación , y Caracterización Fisico Quimica y Nutraceutica del Aceite de Chocho (Lupinus mutabilis sweet).” In *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO*.
- Navas H., P. B. (2010). Caracterización físico-química del aceite de semillas de uva extraído con solvente en frío. *Revista de La Facultad de Agronomia*, 27(2), 270–288.
- Ortega Romero, E. C. (2015). *Obtención del aceite vegetal de Euterpe precatoria Mart . (Asaí) por diferentes métodos de extracción : evaluación del rendimiento y calidad (características físico-químicas , actividad antioxidante y estabilidad)*.
- Pascual-Chagman, G., Santa-Cruz-Olivos, J., Hidalgo, A., Benavente, F., Pérez-Camino, M. C., Sotelo-Mendez, A., Paucar-Menacho, L. M., & Encina-Zelada, C. R. (2021). Lupinus mutabilis oil obtained by expeller press: Yield, physicochemical characterization, antioxidant capacity, fatty acids and oxidative stability analyses. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 219–227. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.025>
- Piedrahita Correa, A. M. (2015). *Estabilidad oxidativa y vida útil del aceite de choibá (Dipteryx oleifera benth) suplementado con extracto de romero (Rosmarinus officinalis*

L.).

- Quispe Condori, R. Y. (2012). "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet)." *Revista Tecnológica ESPOL*, 23, 57–62. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rauen-Miguel, A. M. O., Esteves, W., & Barrera-Arellano, D. (1992). *Determinación del período de inducción de aceite de soja - Correlación entre el Rancimat y otros índices*. 43(3), 119–122. <https://doi.org/10.3989/gya.1992.v43.i3.1162>
- Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P., & Baquerizo, M. (2015). Oxidative stability and estimate of the shelf life of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Scientia Agropecuaria*, 6(3), 155–163. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.02>
- Ros, E. (2007). Consenso sobre las Grasas y Aceites en la Alimentación. In *Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética* (p. 80). http://www.fesnad.org/pdf/Consenso_sobre_las_grasas_y_aceites_2015.pdf
- Salvatierra Pajuelo, Y. M., & Azorza Richarte, M. S. (2017). *TESIS "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE GALLETAS ENRIQUECIDAS CON CHÍA (salvia hispánica) Y ACEITE EXTRAÍDO DE TARWI (Lupinus Mutabilis)"*.
- Schoeneberger, H., Gross, R., Cremer, H. D., & Elmadfa, I. (1982). Composition and Protein Quality of *Lupinus Mutabilis*. *The Journal of Nutrition*, 112(1), 70–76. <https://doi.org/10.1093/jn/112.1.70>
- Sven-E., J., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botanica Economica de Los Andes Centrales*, 458–482.
- Tapia Nuñez, M. E. (2015). *El Tarwi, Lupino Andino*. <http://fadvamerica.org/wp-content/uploads/2017/04/TARWI-espanol.pdf>
- Totosaus Papaseit, J., & Cabre Cabre, P. (1988). Relación entre las características de calidad y las medidas de estabilidad rancimat en aceites de oliva. *ARXIVUS de l'Ecuola Superior de Agricultura de Barcelona*, 11, 33–41.
- Villacrés, E., Navarrete, M., Lucero, O., Espin, S., & Peralta, E. (2010). Evaluación del Rendimiento, Características Físico-Químicas y Nutraceuticas del Aceite de Chocho (*Lupinus mutabilis* sweet) E. *Revista Tecnológica ESPOL*, 23, 57–62. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del extracto de té verde.



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

CÓDIGO: 4076H
REVISIÓN: 0
FECHA DE EMISIÓN: 10/09/2021
FECHA DE REVISIÓN: 10/09/2024

De acuerdo con la norma NOM-018-STPS-2015, ISO 11014:2009 (E), Reglamento (CE) No. 1272/2008, ABNT NBR 14725-2, 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) y NMX-R-019-SCFI-2011

Página 1 de 10

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA.

1.1 Identificador del producto

Código	4076H
Denominación	TE VERDE

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y restricciones de uso

Usos identificados: Materia prima para uso en aplicaciones imperibles.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa: Extractos de Sigma SA de CV * Av. Manuel Gómez Morín No 25, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. *Tél/Fax: +55 2620-0055, +55 2620-3490, +55 5872-8085. *www.extractosigma.com.mx

1.4 Teléfono de emergencia

Tél: + 55 5676 2767 Instituto Nacional de Toxicología *Ciudad de México*.

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

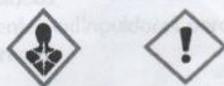
2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Esta sustancia es clasificada como peligrosa según la legislación de la Unión Europea ABNT NBR 14725-2, 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) y NOM-018-STPS-2015.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015, Reglamento (CE) No. 1272/2008, ABNT NBR 14725-2, y 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) y NMX-R-019-SCFI-2011.

Pictograma:



Palabra de Advertencia:

PELIGRO

Indicaciones de Peligro: H304: Puede ser mortal en caso de

Categoría 1

www.extractosigma.com.mx

La Calidad es Extractos Sigma®

Av. Manuel Gómez Morín, No. 25, Col. Ejido El Socorro, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740.

Tels: (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55)26203490
www.extractosigma.com.mx

inpestión y penetración de vías respiratorias.
H320: Provoca irritación ocular graves /irritación ocular **Categoría 2B**
Consejos de prudencia: **P273:** No dispensar en el medio ambiente.
P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTION: Enjuagar la boca. NO Provocar el vómito.
P305 + P351 + P338 En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar los lentes de contacto cuanto estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P280: Usar guantes / Ropa de protección equipo de protección para la cara /los ojos.
P405: Guardar bajo llave.
P501: Eliminar el contenido / Recipiente conforme a la reglamentación nacional /internacional

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

El producto necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea o las respectivas leyes nacionales.

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Naturaleza química Producto natural de composición variable.

3.1 Sustancia

No aplica

3.2 Mezcla

Descripción: Extracto oleoso de: Té verde.

Componentes

			Concentración
Aceite vegetal	INCI: Canola oil	CAS: 120962-03-0	82.0 - 80.0 %
Té verde	INCI: Camellia sinensis leaf extract.	CAS: 84650-60-2	18.0 - 20.0 %

Nombre científico: Camellia sinensis.

Parte usada: Hoja.

www.extractosigma.com.mx

La Calidad es Extractos Sigma®

Av. Manuel Gómez Morán, No. 25, Col. Ejido El Socorro,
Cuauhtlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740.

Tels: (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55)26203490
www.extractosigma.com.mx

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físico-químicas básicas

Aspecto (estado físico, forma)	Líquido ligeramente turbio.
Color	Amarillo.
Olor	Característico.
pH	No existe información disponible.
Punto de fusión	No existe información disponible.
Punto de ebullición	No existe información disponible.
Punto de inflamación	No existe información disponible.
Tasa de evaporación	No existe información disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	No existe información disponible.
Límite inferior/superior de explosividad	No existe información disponible.
Presión de vapor	No existe información disponible.
Densidad relativa de vapor	No existe información disponible.
Densidad relativa	No existe información disponible.
Solubilidad	Agua: insolubles Alcoholes: insolubles Glicoles: insolubles Aceites: 100%.
Coefficiente de partición n-octanol/agua	No existe información disponible.
Temperatura de ignición espontánea	No existe información disponible.
Temperatura de descomposición	No existe información disponible.
Viscosidad	No existe información disponible.

9.2 Otros datos

Índice de refracción (20° C)	1.4558 - 1.4804
Densidad (20° C)	0.850 - 0.950 g/ml
Densidad aparente	No existe información disponible.
Sólidos totales	No existe información disponible.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

Ver sección 10.3.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable durante un año bajo condiciones ambientales estándar (temperatura ambiente).

www.extractosigma.com.mx

Av. Manuel Gómez Morán, No. 25, Col. Ejido El Socorro,
Cuauhtlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740.

La Calidad es Extractos Sigma®

Tels. (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55)26203490
www.extractosigma.com.mx

Anexo 2: Ficha técnica del extracto de romero.

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	CÓDIGO: 400III
		REVISIÓN: 0
		FECHA DE EMISIÓN: 10/09/2021
		FECHA DE REVISIÓN: 10/09/2024

De acuerdo con la norma NOM-018-STPS-2015, ISO 11014:2009 (E), Reglamento (CE) No. 1272/2008, ABNT NBR 14725-2, 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) NMX-R-019-SCFI-2011 Página 1 de 10

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA.

1.1 Identificador del producto

Código	400III
Denominación	ROMERO

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y restricciones de uso

Usos identificados Materia prima para uso en aplicaciones imperibles.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa: Extractos de Sigma SA de CV * Av. Manuel Gómez Morín No 25, Cuauhtlán Izcalli, Estado de México. *Tél/Fax: +55 2620-0055, +55 2620-3490, +55 5872-8085. *www.extractosigma.com.mx

1.4 Teléfono de emergencia

Tél: + 55 5676 2767 Instituto Nacional de Toxicología *Ciudad de México*.

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Esta sustancia es clasificada como peligrosa según la legislación de la Unión Europea ABNT NBR 14725-2, 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) y NOM-018-STPS-2015.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015, Reglamento (CE) No. 1272/2008, ABNT NBR 14725-2, y 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.122) NMX-R-019-SCFI-2011.

Pictograma:  

Palabra de Advertencia: PELIGRO

Indicaciones de Peligro: H304: Puede ser mortal en caso de Categoría I

www.extractosigma.com.mx **La Calidad es Extractos Sigma**

Av. Manuel Gómez Morín, No. 25, Col. Ejido El Sacorro, Cuauhtlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740. Tels. (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55)26203490
www.extractosigma.com.mx

inpestión y penetración de vías respiratorias.

H320: Provoca irritación ocular graves /irritación ocular **Categoría 2B**

Consejos de prudencia:

P273: No dispensar en el medio ambiente.

P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTION: Enjuagar la boca. NO Provocar el vómito.

P305 + P351 + P338 En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos.

Quitar los lentes de contacto cuanto estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

P280: Usar guantes / Ropa de protección equipo de protección para la cara /los ojos.

P405: Guardar bajo llave.

P501: Eliminar el contenido / Recipiente conforme a la reglamentación nacional /internacional

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

El producto necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea o las respectivas leyes nacionales.

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Naturaleza química Producto natural de composición variable.

3.1 Sustancia

No aplica

3.2 Mezcla

Descripción: Extracto oleoso de: Romero

Componentes

			Concentración
Aceite vegetal	INCI: Canola oil	CAS: 120962-03-0	82.0 - 80.0 %
Romero.	INCI: Rosmarinus Officinalis Extract..	CAS: 84604-14-8	18.0 - 20.0 %

Nombre científico: *Rosmarinus officinalis*

Parte usada: Sumidad florida (tallos, hojas).

www.extractosipma.com.mx

La Calidad es Extractos Sipma®

Av. Manuel Gómez Florín, No. 25, Col. Ejido El Socorro,
Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740.

Tels. (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55) 26203490
www.extractosipma.com.mx

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físico-químicas básicas

Aspecto (estado físico, forma)	Líquido ligeramente turbio.
Color	Amarillo.
Olor	Característico.
pH	No existe información disponible.
Punto de fusión	No existe información disponible.
Punto de ebullición	No existe información disponible.
Punto de inflamación	No existe información disponible.
Tasa de evaporación	No existe información disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	No existe información disponible.
Límite inferior/superior de explosividad	No existe información disponible.
Presión de vapor	No existe información disponible.
Densidad relativa de vapor	No existe información disponible.
Densidad relativa	No existe información disponible.
Solubilidad	Aqua: insolubles Alcoholes: insolubles Glicoles: insolubles Aceites: 100%.
Coefficiente de partición n-octanol/agua	No existe información disponible.
Temperatura de ignición espontánea	No existe información disponible.
Temperatura de descomposición	No existe información disponible.
Viscosidad	No existe información disponible.

9.2 Otros datos

Índice de refracción (20° C)	1.4558 - 1.4804
Densidad (20° c)	0.850 - 0.950 g/ml
Densidad aparente	No existe información disponible.
Sólidos totales	No existe información disponible.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

Ver sección 10.3.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable durante un año bajo condiciones ambientales estándar (temperatura ambiente).

www.extractosigma.com.mx

La Calidad es Extractos Sigma®

Av. Manuel Gómez Morán, No. 25, Col. Ejido El Socorro,
Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, C.P. 54740.

Tels: (55) 26200055 / (55) 58728085 Fax: (55)26203490
www.extractosigma.com.mx

Anexo 3: Extracción del aceite de tarwi.



Figura 5: Proceso de secado del grano de tarwi.

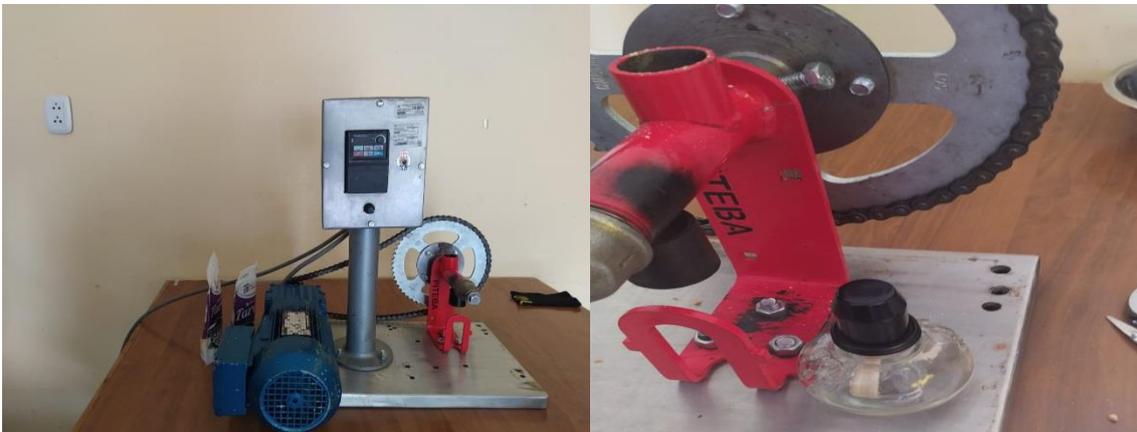


Figura 6: Prensa de tornillo simple PITEBA.

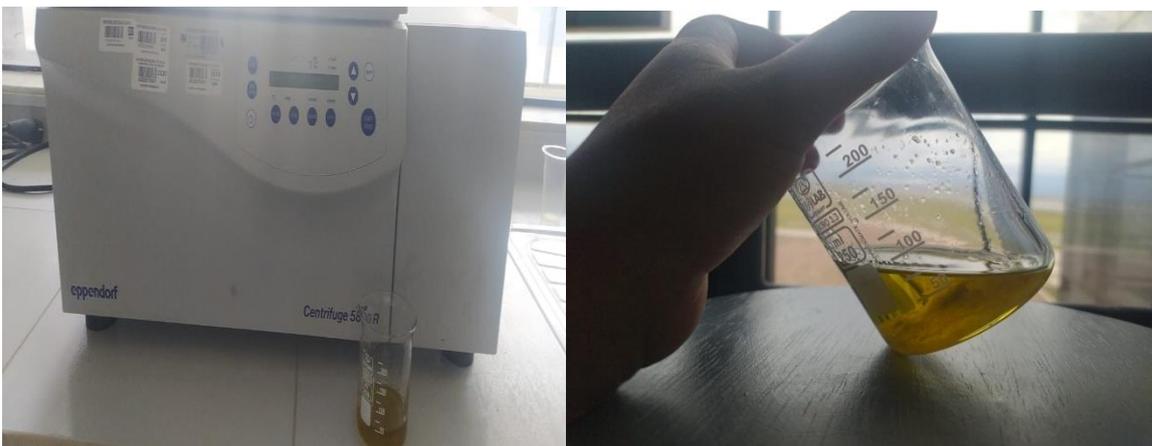


Figura 7: Centrifugación del aceite de tarwi.

Anexo 4: Aceite de tarwi.



Figura 8: Aceite de tarwi.

Anexo 5: Antioxidantes.



Figura 9: Extracto oleoso de romero.

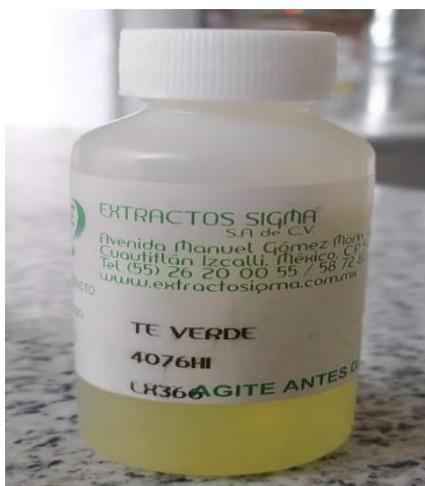


Figura 10: Extracto oleoso de té verde.

Anexo 6: Equipo Rancimat.



Figura 11: Análisis en el equipo Rancimat.



Figura 12: Dosificación de agua destilada en la probeta.



Figura 13: Adición de agua destilada en el vaso de polipropileno.



Figura 14: Comprobando de que el equipo funcione adecuadamente.



Figura 15: Conexión adecuada de los tubos hacia los respectivos recipientes.



Figura 16: Aceite de tarwi en el tubo de reacción.

Anexo 7: Análisis en el equipo Rancimat.



Figura 17: Adición de aceite de tarwi a los tubos de reacción.



Figura 18: Adición de aceite de tarwi para los diferentes tratamiento en tubos de reaccion.



Figura 19: Adición de los antioxidantes naturales en tubos de reacción con aceite de tarwi.



Figura 20: Adición de extracto de romero a diferentes concentraciones.



Figura 21: Adición de extracto de té verde a diferentes concentraciones.

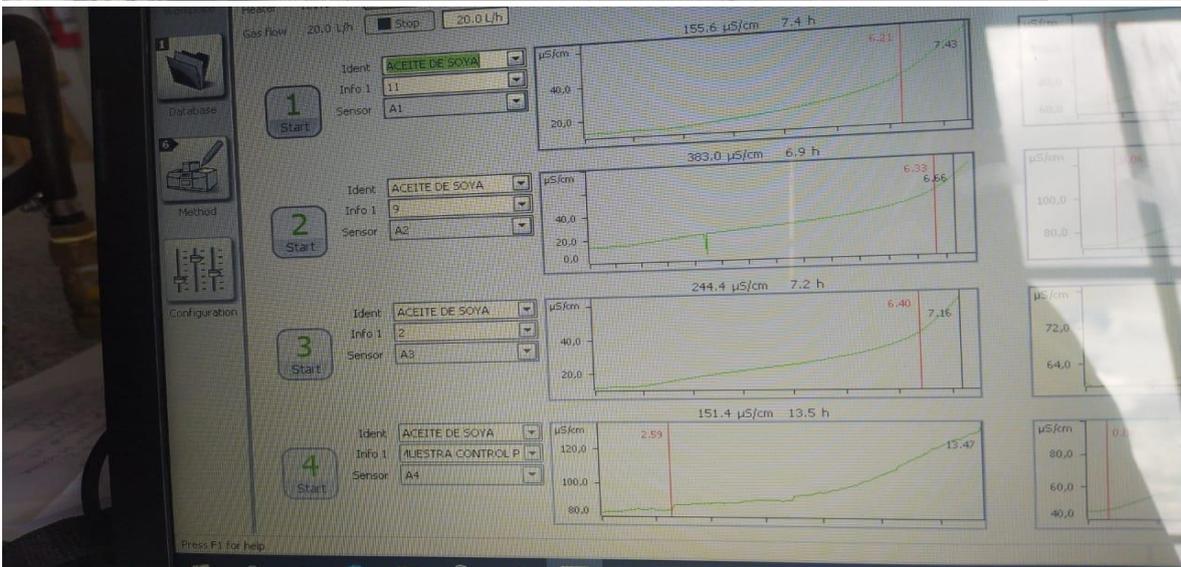


Figura 22: Muestras de aceite de tarwi listas para la evaluación de estabilidad oxidativa en el equipo Rancimat.

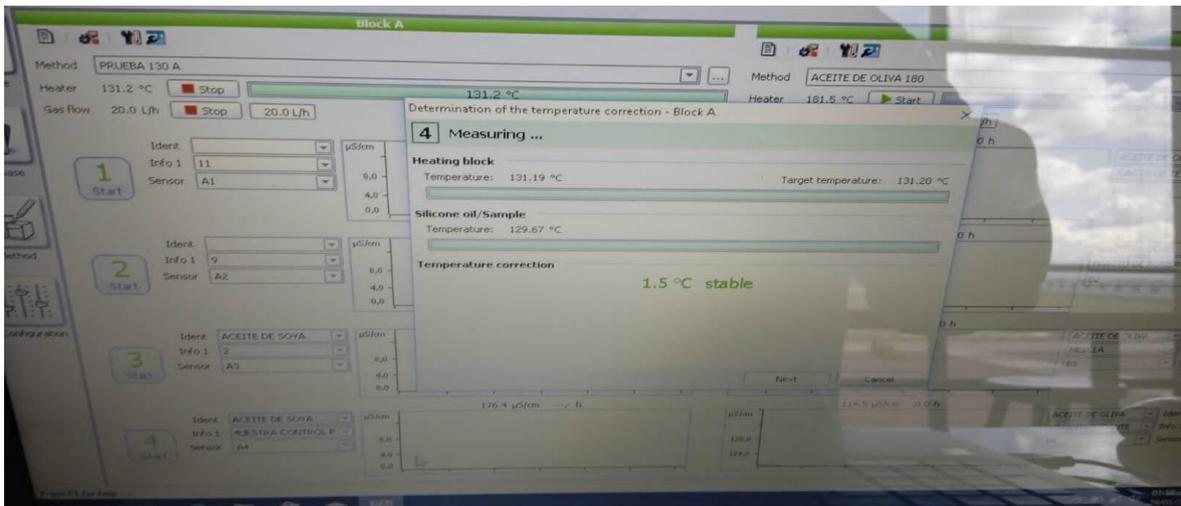


Figura 23: Corrección de la temperatura en el equipo Rancimat.

Anexo 8: Reactivos que se utilizaron.



Figura 24: Agua destilada y tamis molecular para los gases.



Figura 25: Aceite de silicona (patron para hacer la correccion de temperatura).

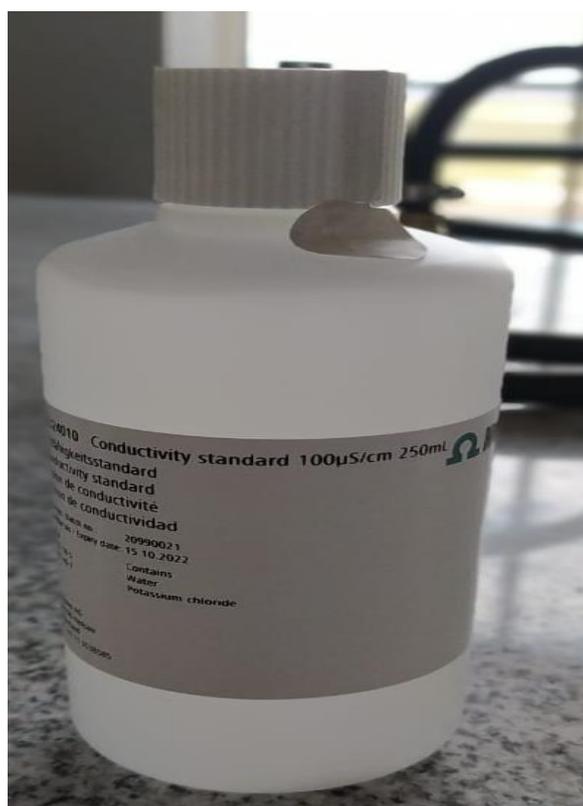


Figura 26: Agua de conductividad estándar (patron para hacer la correccion de conductividad del agua).

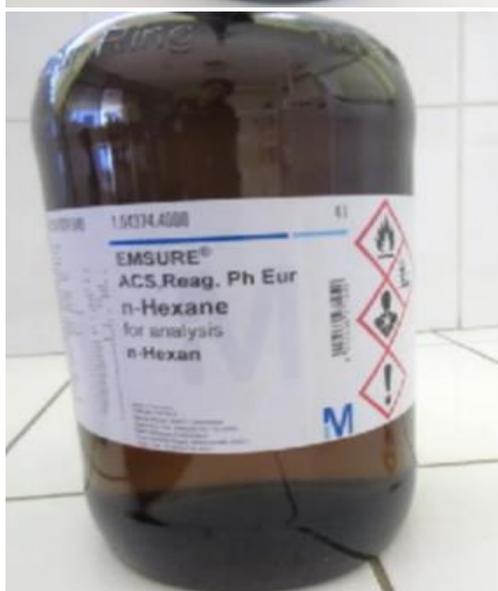
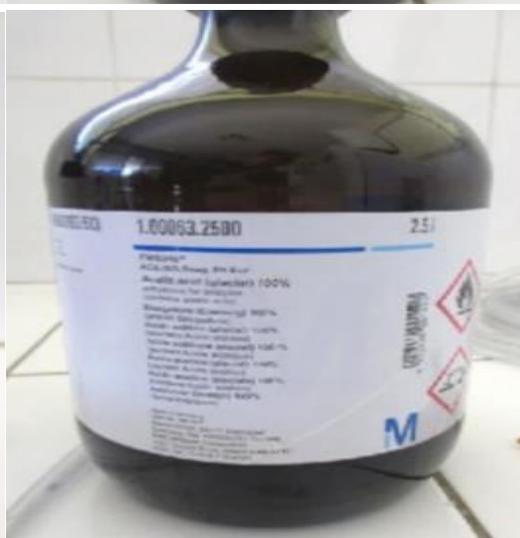
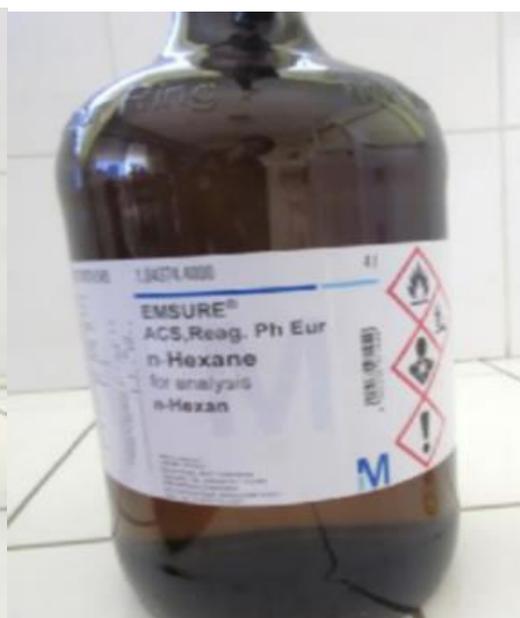




Figura 27: Reactivos para analizar los parámetros fisicoquímicos del aceite de tarwi.

Anexo 9: Descripción del proceso de extracción de aceite de tarwi.

La extracción se realizó por el método piteba, prensado en frío, primeramente, se recolecto viendo su estado de cosecha, luego se pesaron 30 Kg de materia prima para la elaboración del aceite de tarwi, se realizó la limpieza, selección, el des amargado se realizó tal y como lo describe Jacobsen & Mujica, (2006), prosiguiendo con el proceso el tarwi humedecido fue descascarillado debido a su mayor manipulación hidratación.

El secado se realizó en la estufa eléctrica en los laboratorios de Ayabacas por 4 días a una temperatura de 30°C hasta que llego a alcanzar la humedad de 8 % para luego ser humedecidos en temperatura ambiente hasta llegar a 11 %.

Posteriormente fueron secados triturados y tamizados hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm finalmente se pasaron por la prensa de tornillo simple, la velocidad del tornillo sin fin fue de 30 rpm.

Finalmente se realizó la centrifugación a 4000 rpm por 15 min, logrando separar los residuos del aceite.

Comparando el rendimiento del aceite de tarwi variedad INIA 445 donde se obtuvo 0,73%, con el trabajo de investigación de Pascual Chagman et al., (2021) el rendimiento fue mayor de 18,4% de la variedad COM, existe una diferencia significativa debido a los diferentes métodos de extracción de aceite como también la variedad.

Balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de tarwi. Adaptada del flujo grama de Jacobsen & Mujica, (2006)

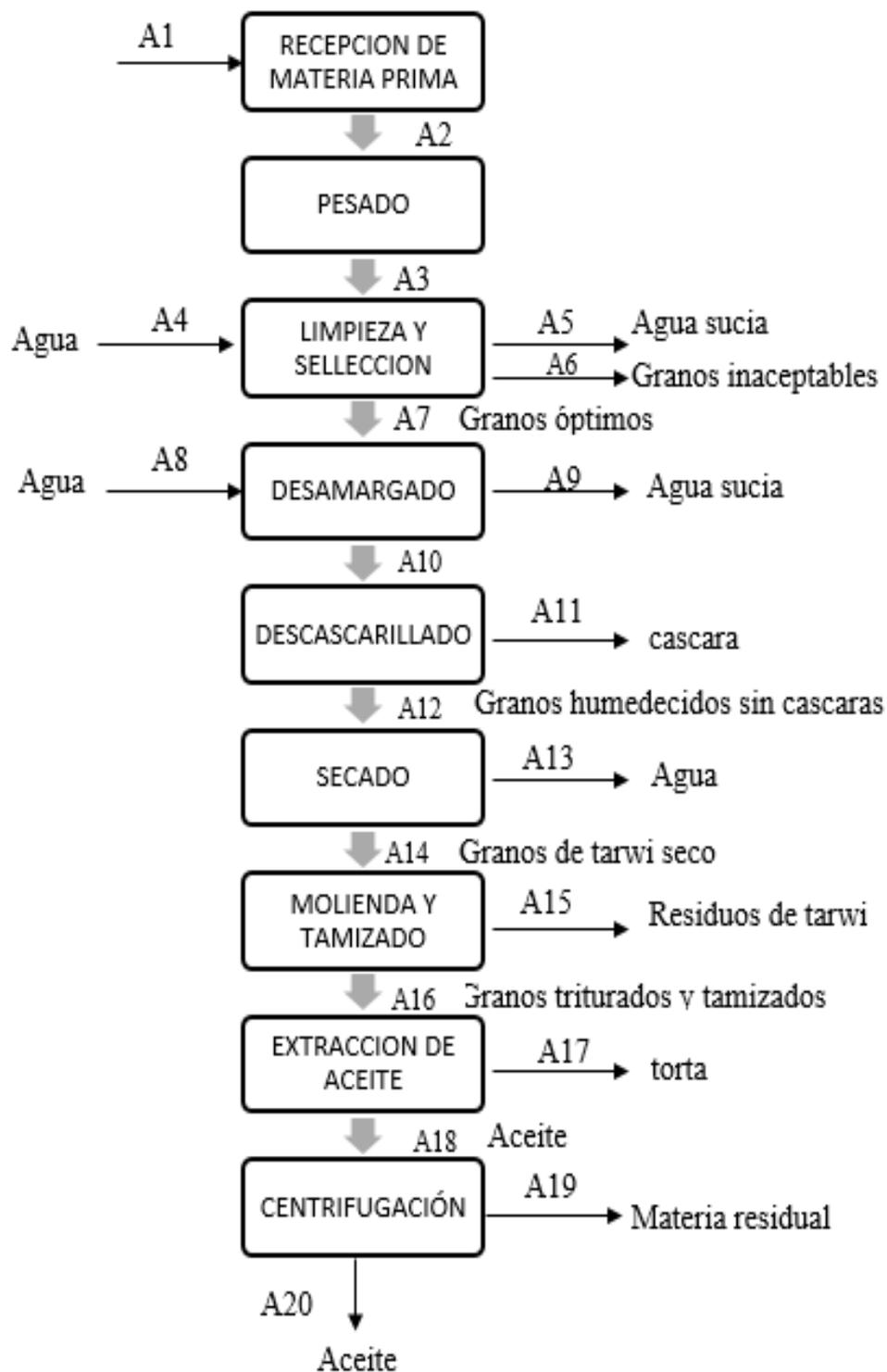


Figura 28: Diagrama de flujo de balance de materia de extracción de aceite.

Tabla 17: Balance de masa de componentes durante el proceso de extracción de aceite en base a 30 Kg.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ACEITE	4,95	4,95	4,95	0	0	0	4,95	0	0	2,58
SÓLIDOS	10,1	10,1	10,1	0	0	0	10,1	0	0	10,1
OTROS	1,1	1,1	1,1	0	0	1,1	0	0	0	0
AGUA	13,9	13,9	13,9	10	10	10	13,9	20	13	20,9

	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
ACEITE	0	2,58	0	1,38	0,48	0,9	0,64	0,26	0	0,22
SÓLIDOS	2,4	10,1	0	10,1	0,54	9,56	9,52	0,04	0,04	0
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGUA	0	20,9	9,8	11,1	0,6	10,5	10,5	0	0	0

Anexo 10: Índice de Estabilidad Oxidativa en Aceite de tarwi.

Los resultados de la Tabla 18, muestra que todos los tratamientos tienden a un ligero aumento de los valores de OSI como respuesta al incremento de temperatura.

Tabla 18: Índices de Estabilidad Oxidativa del aceite de tarwi.

		Temperatura					
		110°C		130°C		180°C	
TRATAMIENTO		Periodo de inducción	Tiempo de estabilidad	Periodo de inducción	Tiempo de estabilidad	Periodo de inducción	Tiempo de estabilidad
T0	Sin antioxidante	9,71	12,74	2,39	3,41	0,05	1,14
		9,74	12,71	2,34	3,45	0,06	1,17
		9,7	12,79	2,36	3,44	0,06	1,16
		9,72	12,75	2,36	3,43	0,06	1,16
T1	Extracto de romero 200 PPM	9,98	10,57	1,99	2,84	0,05	0,59
		10,1	10,53	2,02	2,86	0,05	0,68
		9,96	10,63	2,04	2,94	0,06	0,62
		10,01	10,58	2,02	2,88	0,05	0,63
T2	Extracto de romero 500 PPM	10,91	11,89	2,6	3,28	0,06	0,75
		10,79	11,95	2,56	3,33	0,06	0,77
		10,86	11,94	2,53	3,3	0,06	0,74
		10,85	11,93	2,56	3,30	0,06	0,75
T3	Extracto de té verde 200 PPM	10,68	11,94	2,25	3,21	0,06	0,72
		10,73	12,02	2,23	3,24	0,07	0,71
		10,74	12,01	2,24	3,23	0,07	0,74

		10,72	11,99	2,24	3,23	0,07	0,72
		11,48	12,36	2,41	3,45	0,07	0,89
T4	Extracto de té verde 500 PPM	11,52	12,31	2,44	3,44	0,07	0,85
		11,51	12,32	2,43	3,41	0,07	0,84
		11,50	12,33	2,43	3,43	0,07	0,86
		10,51	11,33	2,02	3,14	0,06	0,63
T5	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM	10,49	11,32	2,04	3,12	0,06	0,62
		10,5	11,32	2,01	3,13	0,06	0,61
		10,50	11,32	2,02	3,13	0,06	0,62
		10,75	11,27	2,43	3,26	0,06	0,6
T6	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM	10,76	11,28	2,43	3,24	0,05	0,58
		10,76	11,26	2,43	3,26	0,06	0,58
		10,76	11,27	2,43	3,25	0,06	0,59
		10,57	11,02	2,5	3,15	0,05	0,43
T7	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM	10,59	11,04	2,49	3,14	0,05	0,43
		10,56	11,01	2,48	3,14	0,05	0,43
		10,57	11,02	2,49	3,14	0,05	0,43
		9,6	10,78	2,37	3,09	0,03	0,58
T8	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM	9,57	10,75	2,34	3,12	0,03	0,58
		9,58	10,76	2,35	3,1	0,04	0,58
		9,58	10,76	2,35	3,10	0,03	0,58
		11,6	12,35	2,5	3,33	0,04	0,75
T9	Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM	11,58	12,33	2,53	3,33	0,04	0,73
		11,57	12,32	2,54	3,33	0,04	0,74
		11,58	12,33	2,52	3,33	0,04	0,74
		10,69	10,86	2,33	2,99	0,04	0,59
T10	Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM	10,72	10,86	2,33	2,96	0,03	0,58
		10,7	10,86	2,31	2,97	0,03	0,56
		10,70	10,86	2,32	2,97	0,03	0,58
		12,11	12,57	2,74	3,58	0,05	0,97
T11	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM	12,09	12,58	2,74	3,63	0,05	0,95
		12,08	12,6	2,74	3,62	0,05	0,94
		12,09	12,58	2,74	3,61	0,05	0,95
		11,69	11,76	1,85	2,9	0,05	0,7
T12	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM	11,69	11,74	1,86	2,87	0,05	0,67
		11,69	11,73	1,87	2,89	0,05	0,69
		11,69	11,74	1,86	2,89	0,05	0,69

Anexo 11: Determinación de la vida útil del aceite de tarwi a 13°C.

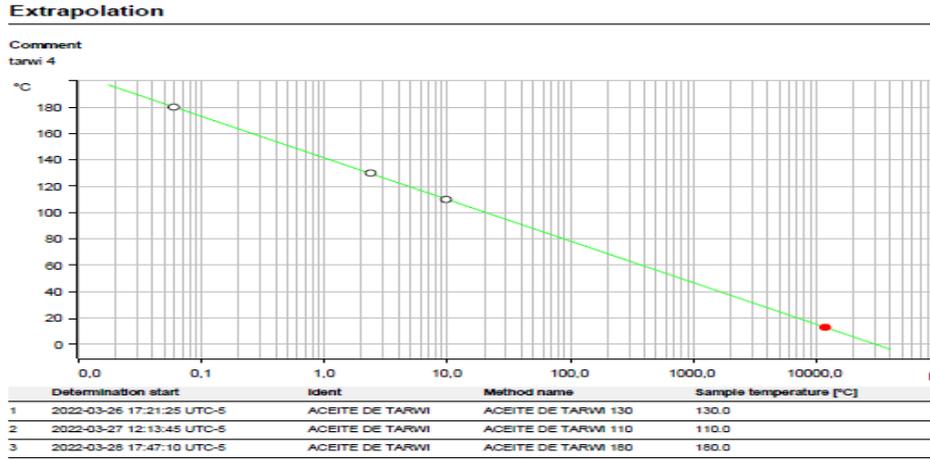


Figura 29: Determinación del tiempo de vida útil por extrapolación del OSI a 13°C del tratamiento T0.

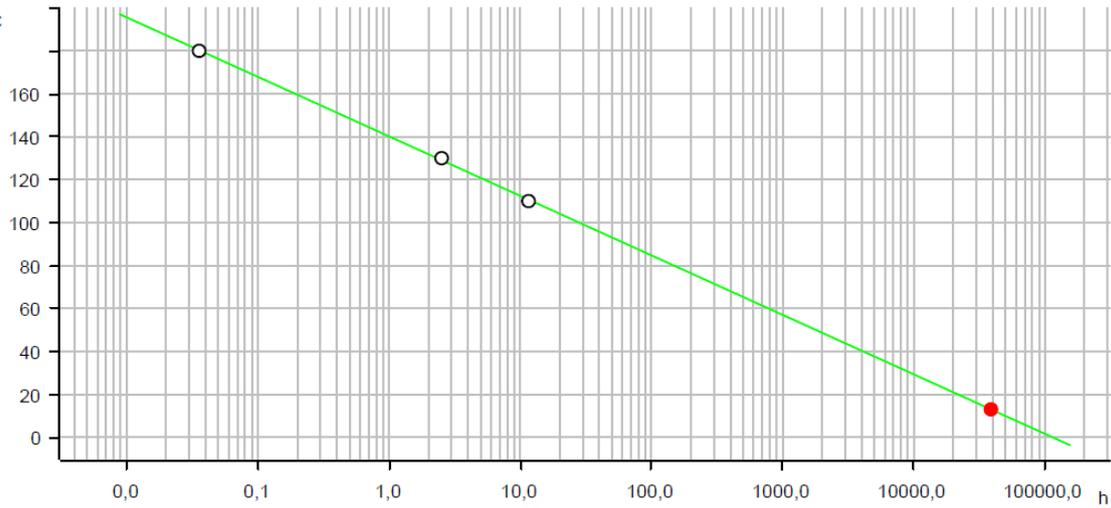


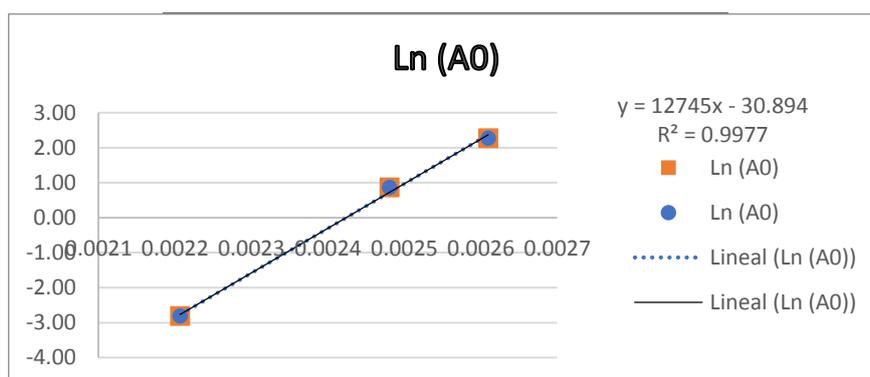
Figura 30: Determinación del tiempo de vida útil por extrapolación del OSI a 13°C el tratamiento T8.

Anexo 12: Determinación de la energía de activación a partir de la ecuación de Arrhenius.

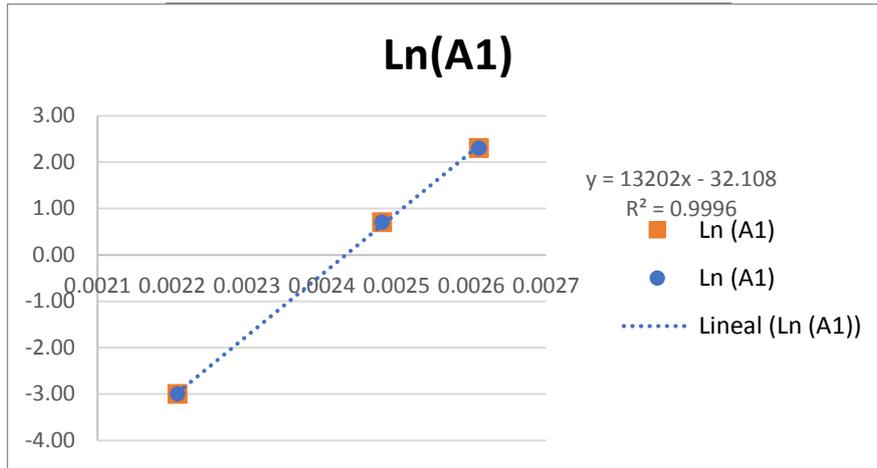
Tabla 19: Tratamientos.

TRATAMIENTO	
T0	Sin antioxidante
T1	Extracto de romero 200 PPM
T2	Extracto de romero 500 PPM
T3	Extracto de té verde 200 PPM
T4	Extracto de té verde 500 PPM
T5	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 400 PPM
T6	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 400 PPM
T7	Extracto de té verde 400 PPM + extracto de romero 500 PPM
T8	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 500 PPM
T9	Extracto de té verde 350 PPM + extracto de romero 350 PPM
T10	Extracto de té verde 200 PPM + extracto de romero 500 PPM
T11	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 200 PPM
T12	Extracto de té verde 500 PPM + extracto de romero 300 PPM

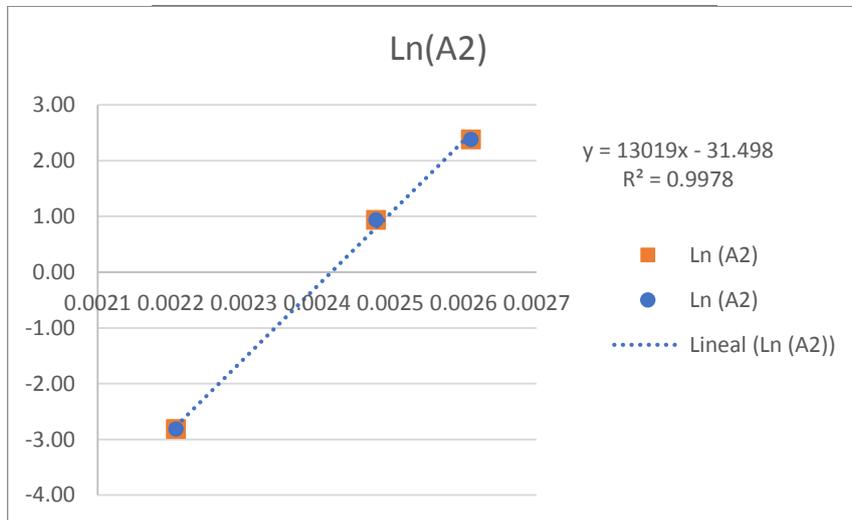
T0 SIN ANTIOXIDANTE.



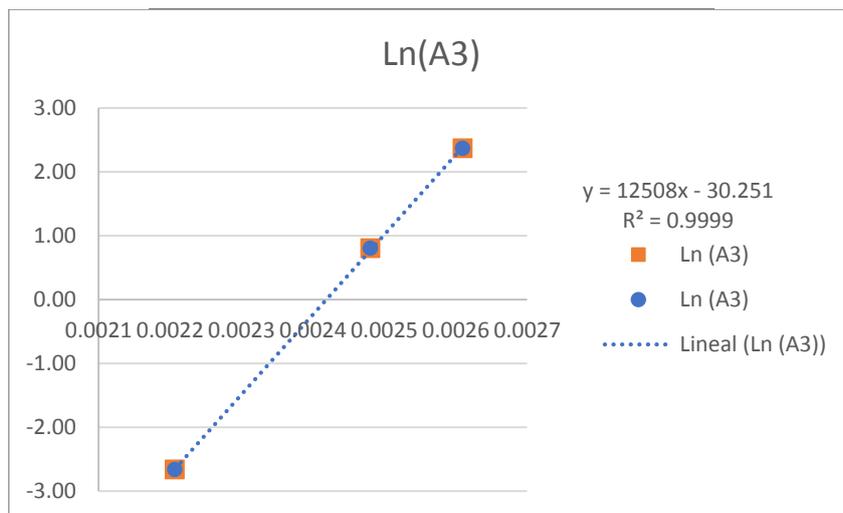
T1 EXTRACTO DE ROMERO 200 PPM.



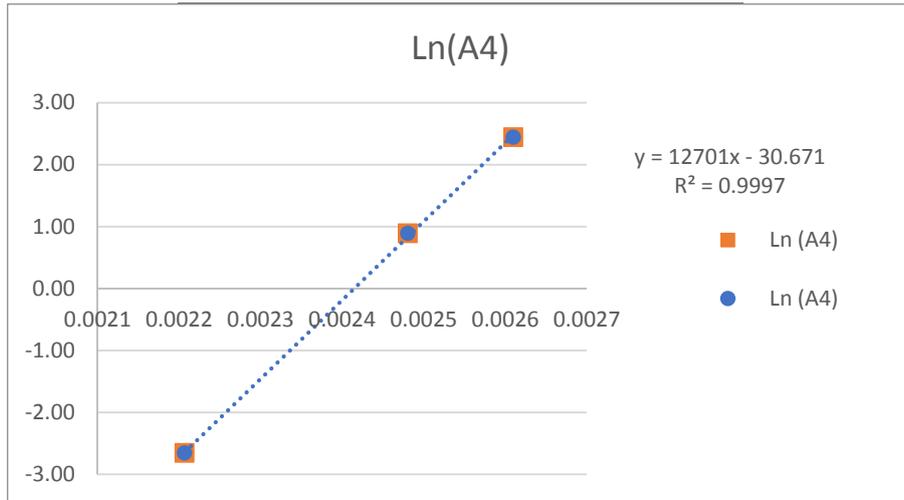
T2 EXTRACTO DE ROMERO 500 PPM.



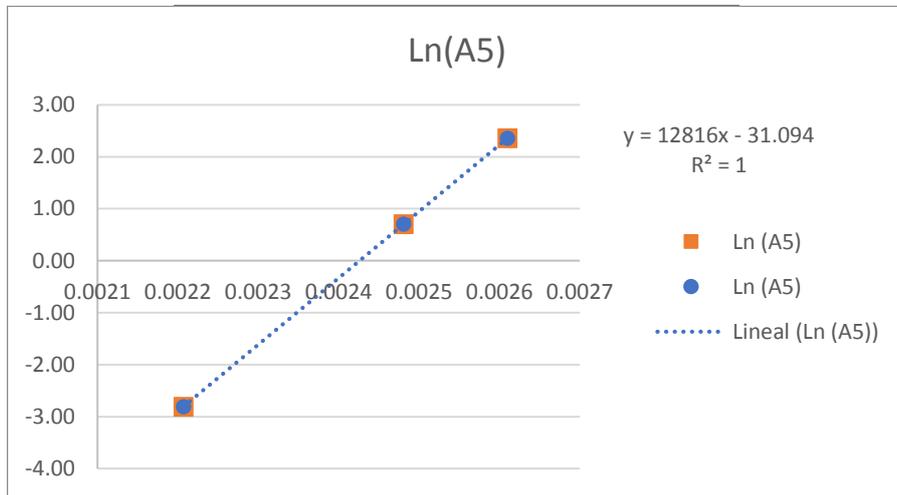
T3 EXTRACTO DE TÉ VERDE 200 PPM.



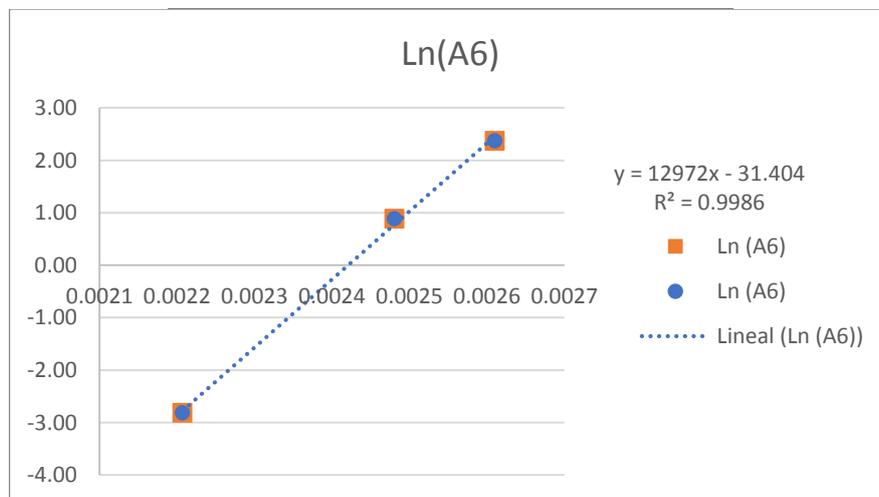
T4 EXTRACTO DE TÉ VERDE 500 PPM.



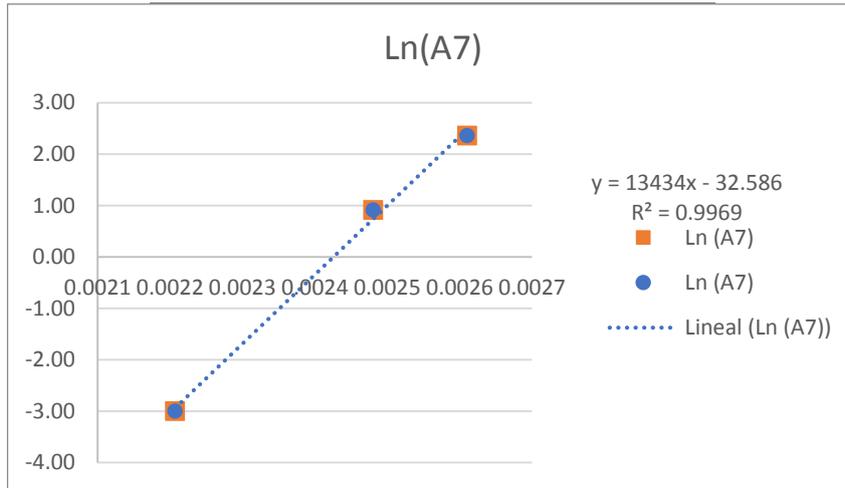
**T5 EXTRACTO DE TÉ VERDE 400 PPM
+EXTRACTO DE ROMERO 400 PPM.**



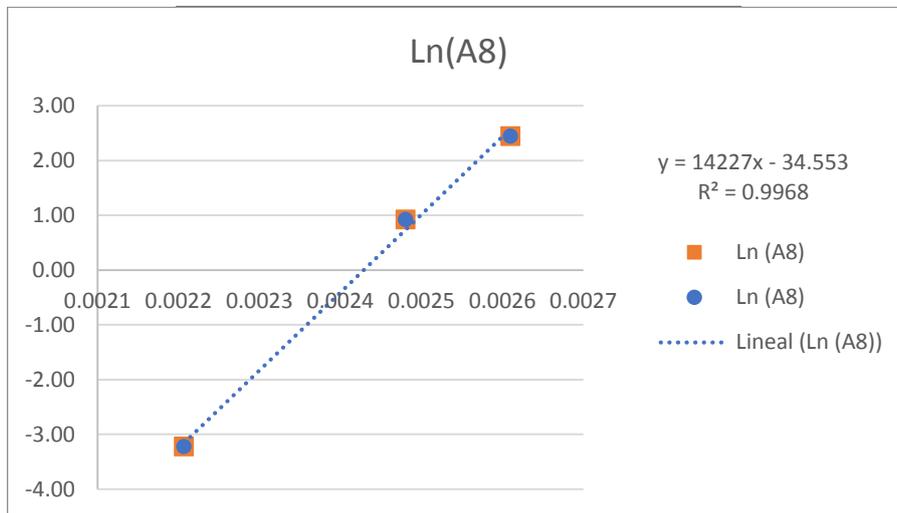
**T6 EXTRACTO DE TÉ VERDE 500 PPM
+EXTRACTO DE ROMERO 400 PPM.**



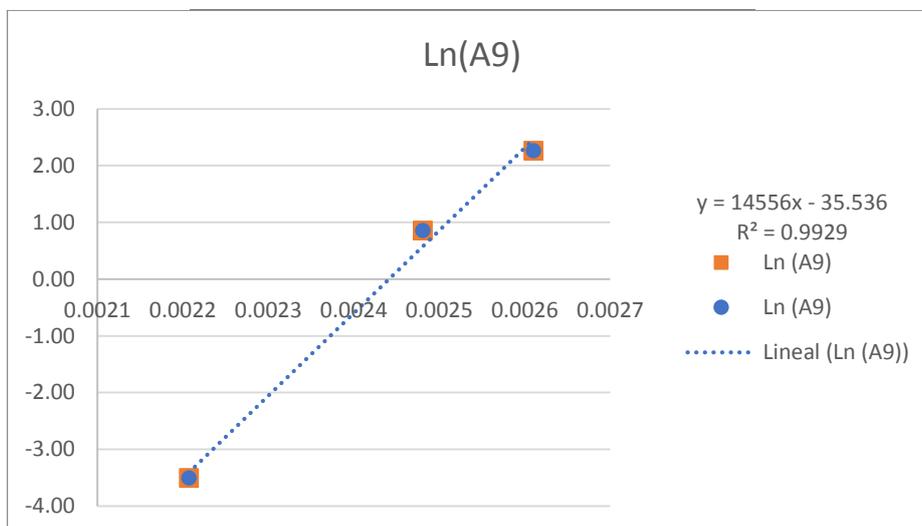
T7 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 400 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 500 PPM.



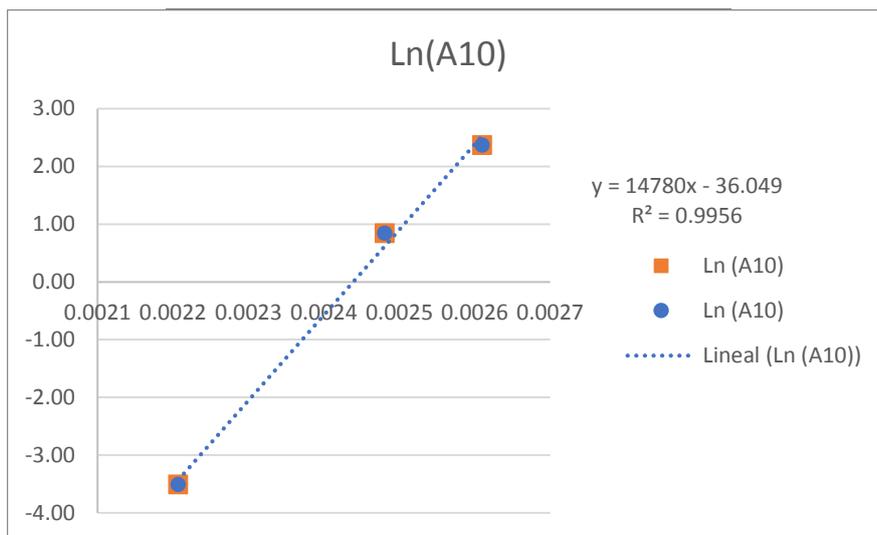
T8 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 500 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 500 PPM.



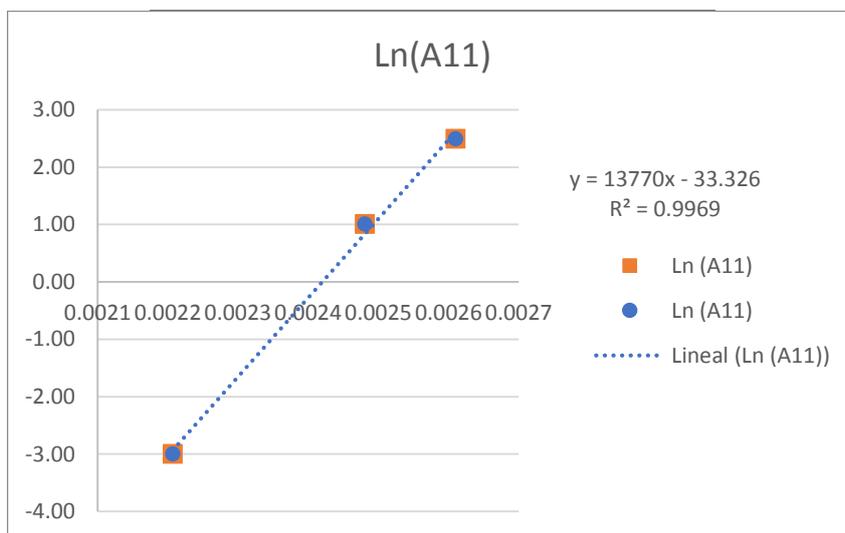
T9 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 350 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 350 PPM.



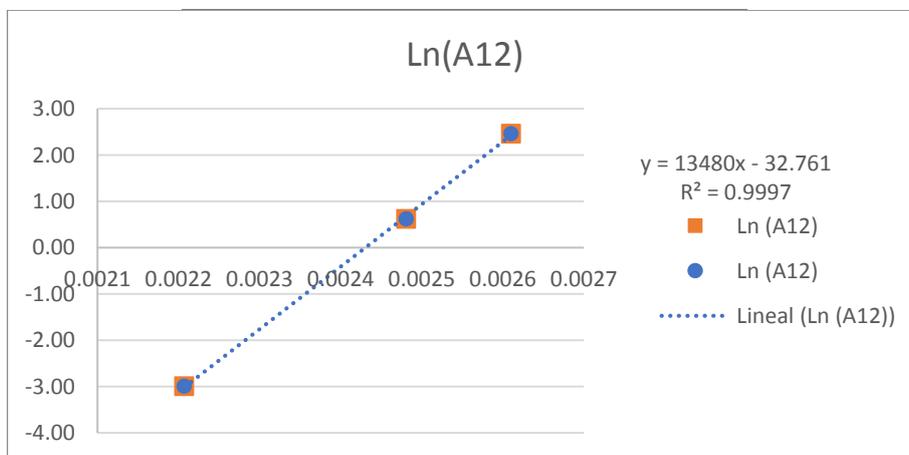
T10 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 200 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 500 PPM.



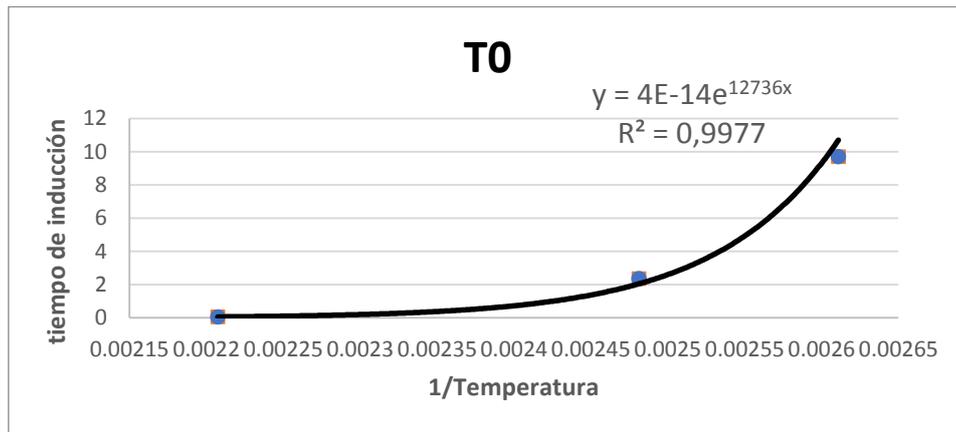
T11 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 500 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 200 PPM.



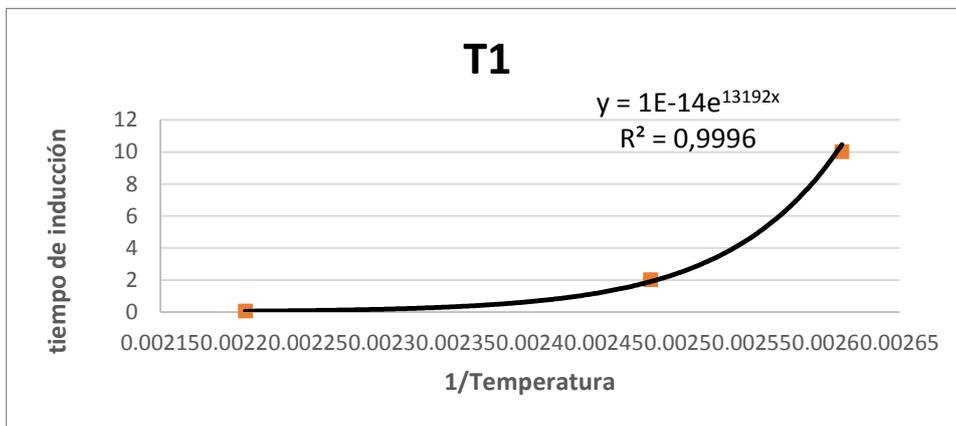
T12 **EXTRACTO DE TÉ VERDE 500 PPM**
+EXTRACTO DE ROMERO 300 PPM.



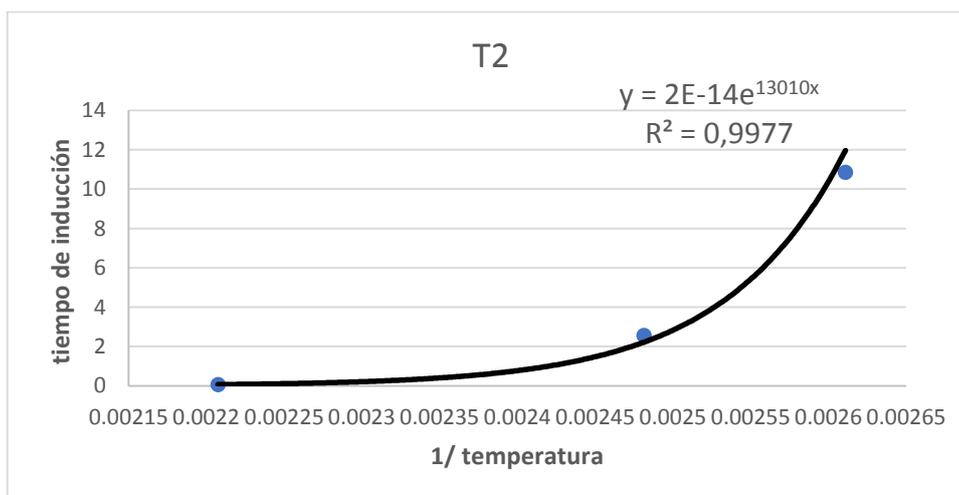
Anexo 13: Tiempo de inducción del aceite de tarwi a una temperatura de 13°C (temperatura ambiente), utilizando la ecuación de Arrhenius.



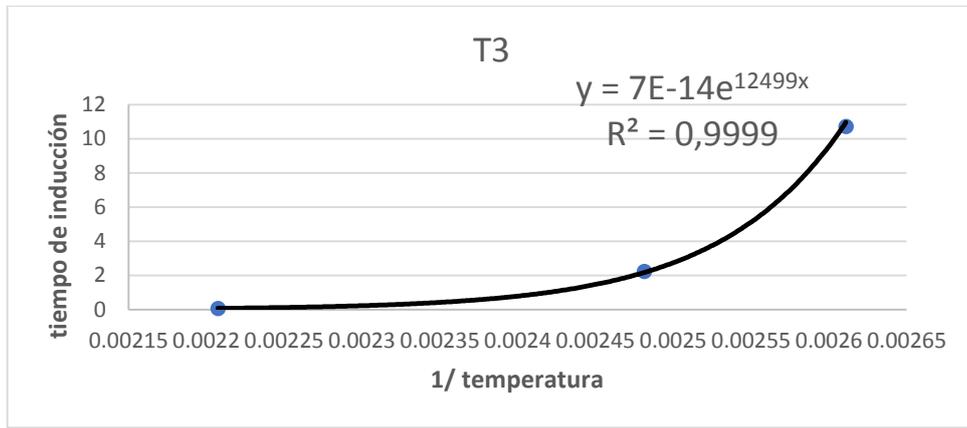
$$t = 4E - 14e^{12736\left(\frac{1}{T}\right)} = 4x10^{-14}x e^{12736\left(\frac{1}{286}\right)} = 11826 = 1.35 \text{ años}$$



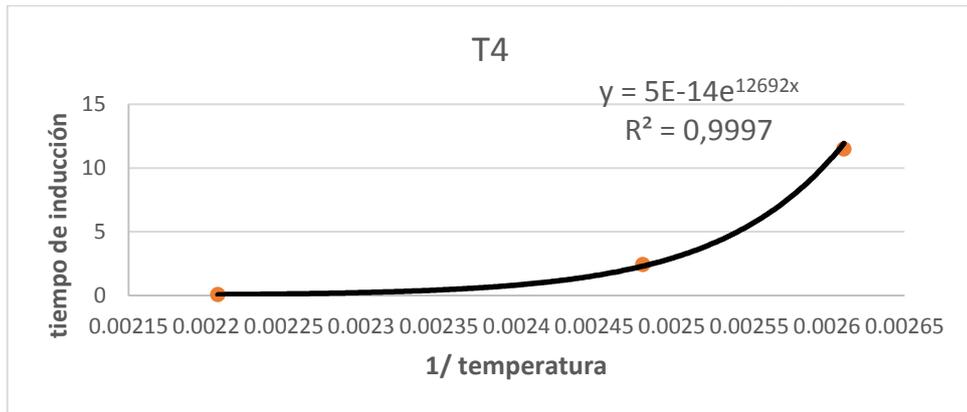
$$t = 1E - 14e^{13192\left(\frac{1}{T}\right)} = 1x10^{-14}x e^{13192\left(\frac{1}{286}\right)} = 13451 = 1.54 \text{ años}$$



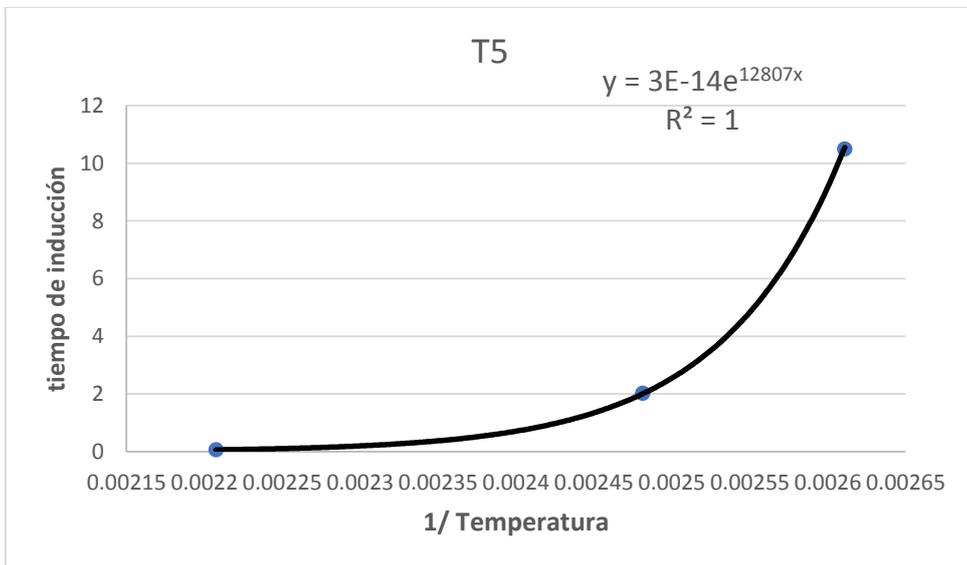
$$t = 2E - 14e^{13010\left(\frac{1}{T}\right)} = 2x10^{-14}x e^{13010\left(\frac{1}{286}\right)} = 15212 = 1.73 \text{ años}$$



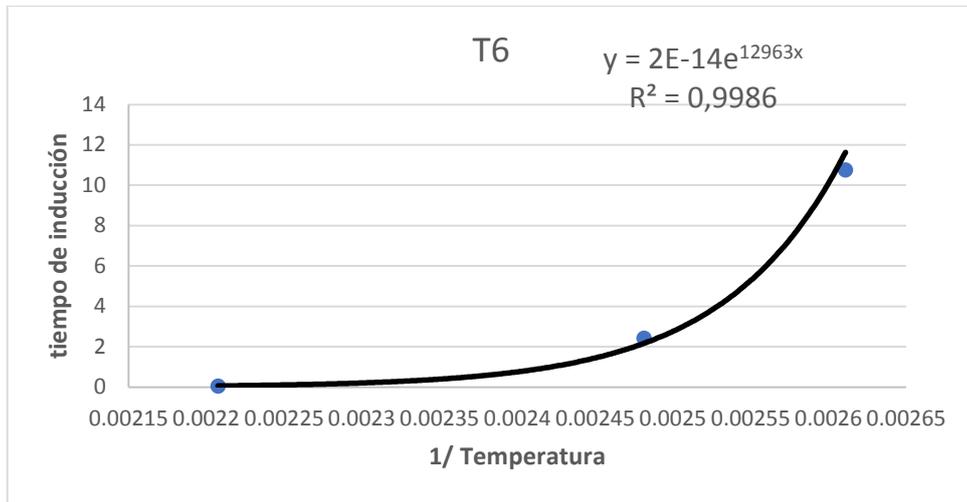
$$t = 7E - 14e^{12499\left(\frac{1}{T}\right)} = 7 \times 10^{-14} \times e^{12499\left(\frac{1}{286}\right)} = 13123 = 1.5 \text{ años}$$



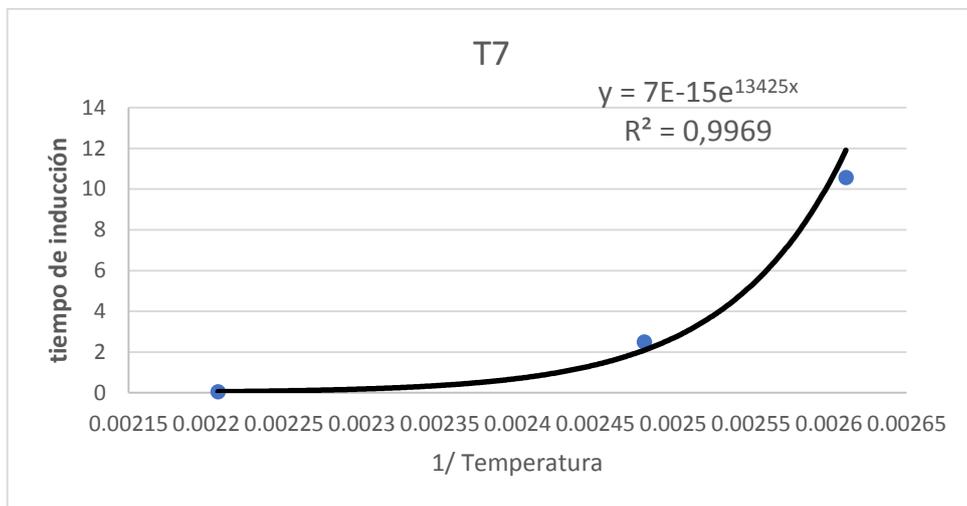
$$t = 5E - 14e^{12692\left(\frac{1}{T}\right)} = 5 \times 10^{-14} \times e^{12692\left(\frac{1}{286}\right)} = 13540 = 1.54 \text{ años}$$



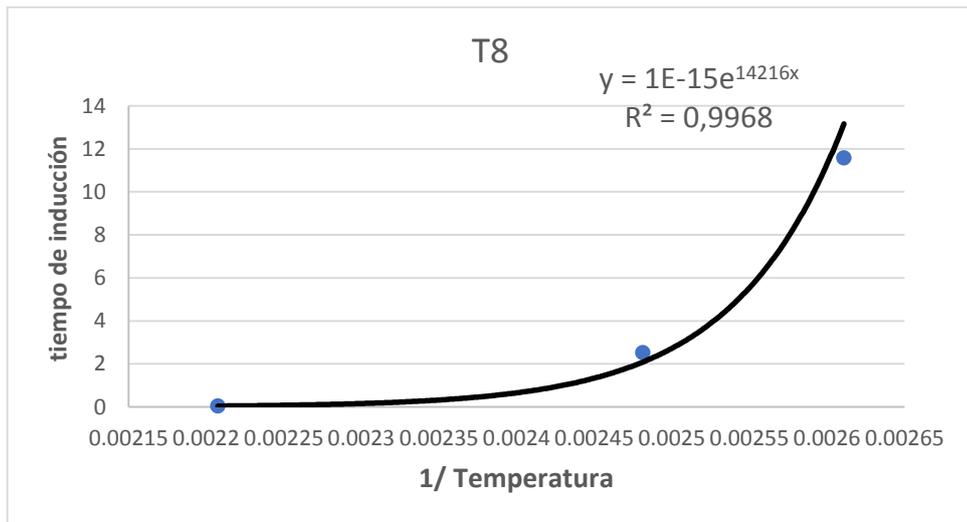
$$t = 3E - 14e^{12807\left(\frac{1}{T}\right)} = 3 \times 10^{-14} \times e^{12807\left(\frac{1}{286}\right)} = 33421 = 3,82 \text{ años}$$



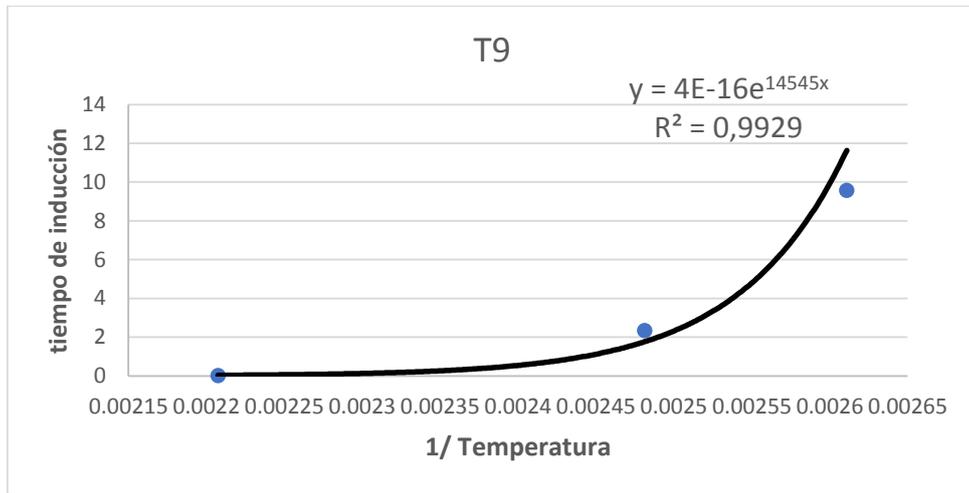
$$t = 2E - 14e^{12963\left(\frac{1}{T}\right)} = 2 \times 10^{-14} x e^{12963\left(\frac{1}{286}\right)} = 32956 = 3,76 \text{ años}$$



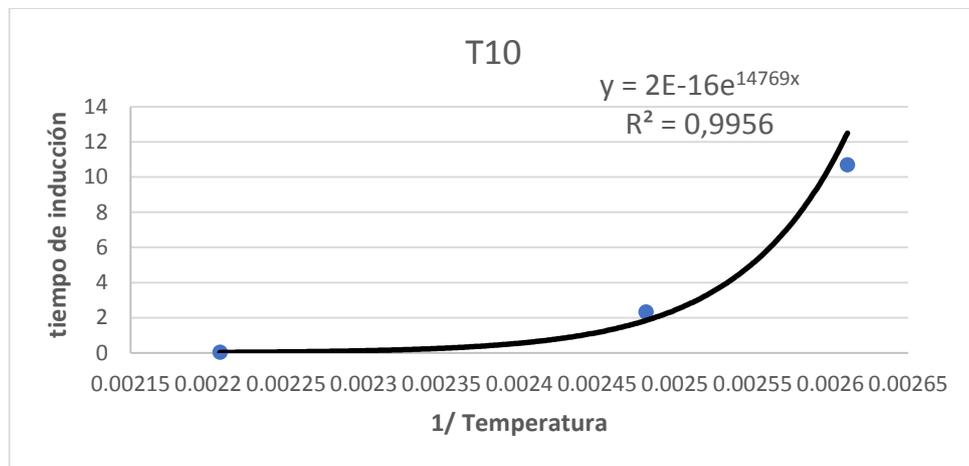
$$t = 7E - 15e^{13425\left(\frac{1}{T}\right)} = 7 \times 10^{-15} x e^{13425\left(\frac{1}{286}\right)} = 35784 = 4,08 \text{ años}$$



$$t = 1E - 15e^{14216\left(\frac{1}{T}\right)} = 1 \times 10^{-15} x e^{14216\left(\frac{1}{286}\right)} = 38688 = 4.41 \text{ años}$$

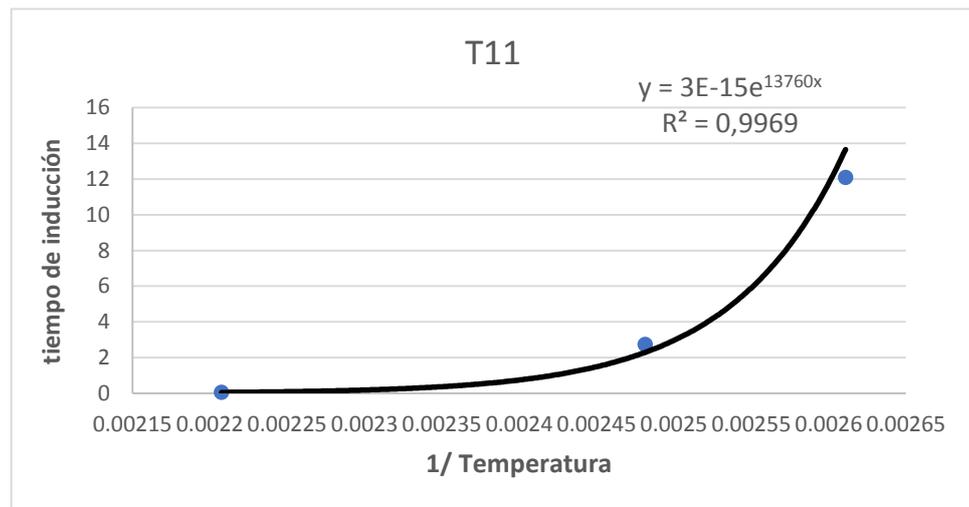


$$t = 4E - 16e^{14545\left(\frac{1}{T}\right)} = 4 \times 10^{-16} x e^{14545\left(\frac{1}{286}\right)} = 31521 = 3,61 \text{ años}$$

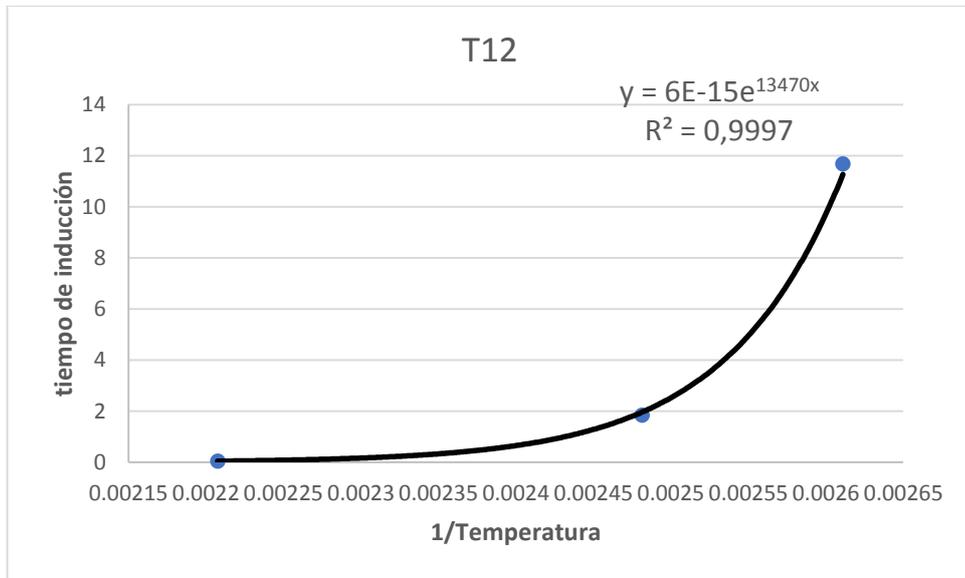


$$t = 2E - 16e^{14769\left(\frac{1}{T}\right)} = 2 \times 10^{-16} x e^{14769\left(\frac{1}{286}\right)} = 30869 = 3.52 \text{ años}$$

tiempo de Inducción



$$t = 3E - 15e^{13760\left(\frac{1}{T}\right)} = 3 \times 10^{-15} x e^{13760\left(\frac{1}{286}\right)} = 32486 = 3,71 \text{ años}$$



$$t = 6E - 15e^{13470\left(\frac{1}{T}\right)} = 6x10^{-15}xe^{13470\left(\frac{1}{286}\right)} = 32782 = 3.74 \text{ años}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"