

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA**



***DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS VEGETALES***  
***ENDÉMICOS DE BAJA CALIFORNIA***

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA

PRESENTA

ANDREA URBANO NILA

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ RAMÓN AYALA BAUTISTA

CODIRECTOR DE TESIS

DR. CARLOS ALFONSO SAGASTE BERNAL

Mexicali, Baja California, junio 2024

# Contenido

ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IV
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTOS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	10
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	11
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	11
1.3 HIPÓTESIS .....	11
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 QUÍMICA DE LÍPIDOS .....	12
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN .....	12
2.2.1 <i>Grasas</i> .....	13
2.2.2 <i>Aceite vegetal</i> .....	13
2.3 PROCESO DE OXIDACIÓN.....	14
2.3.1 <i>Efecto de los antioxidantes en la estabilidad oxidativa</i> .....	15
2.4 EXTRACTOS Y ACEITES ESENCIALES.....	18
2.4.1 <i>Principales métodos y técnicas: extractos y aceites esenciales</i> .....	19
2.5 MEDICIÓN DEL EFECTO ANTIOXIDANTE.....	21
2.5.1 <i>Determinación de la capacidad antioxidante</i> .....	22
2.5.2 <i>Métodos HAT</i> .....	23
2.5.3 <i>Métodos SET</i> .....	23
2.6 ESPECTROSCOPÍA .....	25
2.6.1 <i>Espectrometría de absorción</i> .....	26
2.7 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE ABSORCIÓN MOLECULAR DE ULTRAVIOLETA-VISIBLE.....	28
2.7.1 <i>Fotómetro de filtro</i> .....	28
2.7.2 <i>Espectrofotómetro</i> .....	30
2.7.3 <i>Espectrofotómetro UV-VIS</i> .....	33
2.8 ZONA GEOGRÁFICA.....	36
2.8.1 <i>Clima de Baja California</i> .....	36

2.8.2	<i>Flora y fauna</i> .....	37
2.9	MATERIAL VEGETAL .....	37
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO <i>PLUCHEA SERICEA</i> .....	41
3.1.1	<i>Análisis proximal</i> .....	41
3.1.2	<i>Análisis químico</i> .....	42
3.2	PRUEBAS EXPLORATORIAS PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS .....	44
3.3	PURIFICACIÓN DEL EXTRACTO .....	45
3.4	PRUEBAS EXPLORATORIAS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	46
3.5	DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE) DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	47
3.5.1	<i>Obtención de extractos</i> .....	47
3.5.2	<i>Fenoles totales</i> .....	47
3.5.3	<i>Reducción férrica de plasma (FRAP)</i> .....	48
3.5.4	<i>Determinación de análisis de ABTS</i> .....	49
3.5.5	<i>Determinación de análisis de DPPH (secuestro de radicales)</i> .....	49
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>51</b>
4.1	OBTENCIÓN DE EXTRACTOS .....	51
4.2	PRUEBAS EXPLORATORIAS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	52
4.3	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO .....	53
4.3.1	<i>Análisis proximal</i> .....	53
4.3.2	<i>Análisis de composición química</i> .....	54
4.4	DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE) DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	55
4.5	ANOVA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE .....	56
4.5.1	<i>Gráficas DOE</i> .....	58
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>72</b>
7.2	RECOMENDACIONES .....	72
7.2.1	<i>El uso de extractos como antioxidantes en biodiésel</i> .....	72
7.2.2	<i>Índice de estabilidad oxidativa (OSI)</i> .....	74
7.2.3	<i>Preparación de biodiésel</i> .....	75
7.2.4	<i>Obtención de biodiésel</i> .....	76
7.3	OTROS PRODUCTOS ACADÉMICOS .....	77

## Índice de tablas

TABLA 1. NOMBRE PARA CADA TIPO DE EXTRACTO .....	51
TABLA 2. RENDIMIENTOS DE DIFERENTES TIPOS DE EXTRACTOS.....	51
TABLA 3. DENSIDAD DE EXTRACTOS OBTENIDOS .....	52
TABLA 4. PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL RADICAL DPPH DE LOS EXTRACTOS.....	53
TABLA 5. ANÁLISIS PROXIMAL DE <i>P. SERICEA</i> .....	54
TABLA 6. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE <i>P. SERICEA</i> .....	55
TABLA 7. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS TIPO 1 Y 2 .....	56
TABLA 8. ANÁLISIS DE VARIANZA DE FENOLES TOTALES .....	56
TABLA 9. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANÁLISIS FRAP .....	57
TABLA 10. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANÁLISIS ABTS % .....	57
TABLA 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANÁLISIS DPPH % .....	57
TABLA 12. RENDIMIENTO DE BIODIÉSEL A PARTIR DE ACEITE DE CANOLA “CANOIL”.....	76
TABLA 13. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS DEL LBB .....	76

## Índice de Figuras

FIGURA 1. PORCENTAJE DE GRASAS DE ACEITES COMUNES .....	14
FIGURA 2. PROCESO DE OXIDACIÓN DE UN ÁCIDO GRASO.....	15
FIGURA 3. PROCESO DE OXIDACIÓN DE UN ACEITE VEGETAL: INTERVENCIÓN DEL ANTIOXIDANTE.....	16
FIGURA 4. PROPAGACIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA .....	25
FIGURA 5. PARTES DE UNA ONDA EN EL CAMPO ELÉCTRICO.....	26
FIGURA 6. REGIONES DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO .....	26
FIGURA 7. FOTÓMETRO DE FILTRO MACHERE-NAGEL .....	28
FIGURA 8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN FOTÓMETRO DE FILTRO.....	29
FIGURA 9. COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO .....	30
FIGURA 10. TIPOS DE MONOCROMADORES .....	32
FIGURA 11. SUPERFICIE DE BAJA CALIFORNIA .....	36
FIGURA 12. LARREA TRIDENTATA .....	38
FIGURA 13. PLUCHEA SERICEA .....	39
FIGURA 14. PARTES IMPORTANTES DEL FRUTO CÍTRICO DE LA NARANJA .....	40
FIGURA 15. FRUTO DE EUCALIPTO ROJO.....	40
FIGURA 16. ANÁLISIS PROXIMAL DE <i>P. SERICEA</i> .....	41
FIGURA 17. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE <i>P. SERICEA</i> .....	44
FIGURA 18. PROCESO DE OBTENCIÓN DE EXTRACTO DE <i>P. SERICEA</i> Y <i>L. TRIDENTATA</i> .....	45
FIGURA 19. PROCESO DE RECUPERACIÓN DE METANOL DEL EXTRACTO DE <i>P. SERICEA</i> .....	45
FIGURA 20. PUNTOS DE PARA CURVA DE ÁCIDO ASCÓRBICO .....	46
FIGURA 21. PRUEBAS EXPLORATORIAS DEL ANÁLISIS DE DPPH.....	46
FIGURA 22. ESPECTROFOTÓMETRO DE HAZ ÚNICO UV-3100PC VWR .....	47

FIGURA 23. DIFERENTES DILUCIONES DE MUESTRAS CON REACTIVO FOLIN-CIOCALTEU.....	48
FIGURA 24. MUESTRAS DEL ANÁLISIS DE FENOLES TOTALES .....	48
FIGURA 25. DIFERENTES DILUCIONES DE MUESTRAS CON REACTIVO FRAP .....	49
FIGURA 26. MUESTRAS DEL ANÁLISIS ABTS .....	49
FIGURA 27. DIFERENTES DILUCIONES DE MUESTRAS CON REACTIVO DPPH.....	50
FIGURA 28. MUESTRAS DEL ANÁLISIS DE DPPH.....	50
FIGURA 29. MUESTRA ANTES Y DESPUÉS DEL SECUESTRO DE RADICALES.....	50
FIGURA 30. GRÁFICA DE CONTORNO “TIPO-TEMPERATURA”.....	58
FIGURA 31. GRÁFICA DE CONTORNO “TIPO-TIEMPO” .....	59
FIGURA 32. GRÁFICAS FACTORIALES DE CADA ANÁLISIS .....	60
FIGURA 33. ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL.....	75

## **Dedicatoria**

A mi padre, que me impulsó siempre a superarme y luchar por lo que no se me es dado. Apoyándome siempre en mi educación y crecimiento profesional. Sé lo orgulloso que estaría por tan increíble logro.

### **EN MEMORIA**

*Ernesto Urbano Pulido*

*(10 marzo 1965-18 septiembre 2019)*

El mayor ejemplo que tengo de un  
hombre de bien, trabajador,  
comprometido y dedicado.

## Agradecimientos

El mayor de los agradecimientos es para Dios, que ilumina mi camino en cada momento, gracias por poner a cada persona en mi vida en el momento indicado. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi camino durante esta etapa de mi vida. Sin su apoyo, no habría llegado hasta aquí.

A mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y mi guía constante. En especial a mi madre su amor incondicional y su sacrificio ha sido la base de mi crecimiento personal y académico. Gracias por siempre estar ahí para mí, porque sin ella nada de esto sería posible. A mi hija, por sus gestos de ternura, por ser mi motor y mi motivación en cada paso que doy.

A mis amigos y familia, quienes han compartido risas, alegrías y momentos inolvidables, su compañía ha hecho que cada día sea especial.

A mi director de tesis y compañeros de trabajo gracias por ser mi red de apoyo y por creer en mí, que sin ustedes no podría trabajar en mi mejor versión.

A mis profesores y mentores, quienes me han brindado conocimientos, consejos y oportunidades para crecer. Su dedicación y pasión por enseñar han dejado una huella imborrable en mi formación.

A toda esa gente anónima, cuyos gestos amables y palabras de aliento han marcado la diferencia en mi vida. En resumen, mi gratitud se extiende a todos aquellos que han sido parte de mi viaje. Sin ustedes, este logro no sería posible.

¡Gracias por todo!

## Resumen

La transformación de la biomasa en componentes valiosos para productos de diversas industrias o generación de energía es un área de investigación de gran importancia debido a los problemas de contaminación ambiental. Tales componentes biomásicos tienen el potencial de ser un sustituto de las materias primas derivadas del petróleo. El objetivo principal fue desarrollar una mezcla de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) y cachanilla (*Pluchea sericea*) para determinar su capacidad antioxidante mediante diferentes técnicas como fenoles totales, FRAP, ABTS y DPPH, los últimos dos se presentan en porcentaje de inhibición (%Inh), los resultados se analizaron mediante en un diseño de experimentos.

Otro de los objetivos fue generar una ruta de revalorización con base en el análisis fisicoquímico de *P. sericea* realizado en el Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos del Instituto de Ingeniería campus Mexicali. La cachanilla es una planta silvestre mexicana, muy común en Baja California, especialmente en el valle de Mexicali.

Las pruebas que conforman el análisis proximal son humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo, los resultados obtenidos fueron de 56.56%, 33.59%, 4.46% y 5.39% respectivamente. De igual manera, el análisis de composición química está conformado por extraíbles en acetona, extraíbles en agua, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa, los resultados de los análisis fueron 12.37%, 26.45%, 56.09%, 43.89%, 19.28% y 24.61% respectivamente.

Los resultados obtenidos del diseño de experimentos determinaron que la mezcla de extractos tiene menor capacidad antioxidante comparado con extractos de gobernadora.

## Abstract

The transformation of biomass into valuable components for various industries or energy generation is an area of significant research importance due to environmental pollution issues. These biomass components have the potential to serve as substitutes for petroleum-derived raw materials. The main objective was to develop a mixture of extracts from creosote bush (*Larrea tridentata*) and cachanilla (*Pluchea sericea*) to determine their antioxidant capacity using different techniques such as total phenols, FRAP, ABTS, and DPPH. The latter two are presented as inhibition percentages (%Inh), and the results were analyzed through experimental design.

Another goal was to create a revalorization pathway based on the physicochemical analysis of *P. sericea* conducted at the Biomass and Bioenergetics Laboratory of the Institute of Engineering, Mexicali campus. Cachanilla is a wild Mexican plant, commonly found in Baja California, especially in the Mexicali Valley.

The proximate analysis included tests for moisture, volatile matter, ash, and fixed carbon. The obtained results were 56.56%, 33.59%, 4.46%, and 5.39%, respectively. Similarly, the chemical composition analysis covered acetone extractables, water extractables, lignin, holocellulose, cellulose, and hemicellulose. The analysis yielded results of 12.37%, 26.45%, 56.09%, 43.89%, 19.28%, and 24.61%, respectively.

The experimental design results indicated that the extract mixture has lower antioxidant capacity compared to creosote bush extracts.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema y justificación

La oxidación es la principal causa de deterioro de aceites vegetales, afectando su calidad y valor nutrimental, incluso produciendo toxinas que son contraproducentes para la salud (Esquivel *et al.*, 2014). La oxidación se promueve a través de factores externos como el calor, la luz, el refinamiento y la exposición al ambiente. Consta de tres fases, iniciación, propagación y terminación. Primero, ocurre la descomposición o extracción de un átomo de hidrógeno formando radicales libres de alquilo. Después, estos radicales se propagan reaccionando con el oxígeno para formar radicales peróxidos (ROO). Extraen otro átomo de hidrógeno, creando radicales hidroperóxidos (ROOH). Finalmente, los radicales se combinan en productos estables (Agarwal, *et al.*, 2018).

La incorporación de antioxidantes ayuda a retrasar la oxidación de los lípidos y prolonga la vida útil de los aceites vegetales y grasas comestibles. Aunque es común añadir antioxidantes sintéticos a estos aceites para prevenir la oxidación durante el almacenamiento y la fritura, son cada vez más las personas que rechazan el uso de antioxidantes sintéticos en aceites vegetales. Debido a la demanda de los consumidores de productos sin aditivos sintéticos, la industria alimentaria busca alternativas de fuentes antioxidantes de origen natural (Senanayake, 2018).

Estudios han demostrado que antioxidantes de diferentes fuentes de origen vegetal compiten con antioxidantes de origen sintético, algunos de ellos son, extractos de bagazo residual de orégano (Cuevas *et al.*, 2023), extractos de romero (Senanayake, 2018), extractos de ajo (Gómez *et al.*, 2007), extractos de semillas de cebada (Anwar *et al.*, 2010), extractos de semilla de uva (Mira *et al.*, 2019) y extracto de microalgas (Guevara *et al.*, 2019).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Evaluar la actividad antioxidante de una mezcla de extractos vegetales de *Pluchea sericea* y *Larrea tridentata* mediante un diseño de experimentos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- \* Investigar métodos de obtención de extractos y técnicas de actividad antioxidantes a través del estado del arte
- \* Realizar una ruta de revalorización del material vegetal mediante un análisis fisicoquímico.
- \* Obtener extractos hidroalcohólicos de *P. sericea* y *L. tridentata* por maceración en frío.
- \* Evaluar la actividad antioxidante de extractos vegetales.
- \* Preparar extractos y mezcla de extractos para evaluar la actividad antioxidante mediante los análisis correspondientes (fenoles, FRAP, ABTS y DPPH) con fines a utilizarse en procesos de biocombustibles.
- \* Evaluar el efecto sinérgico antioxidante de mezclas de extractos vegetales a través de un diseño factorial.
- \* Seleccionar el extracto vegetal para su aplicación antioxidante.

## 1.3 Hipótesis

El extracto de *L. tridentata* tiene poder antioxidante significativo al mezclarse con *P. sericea* y que además favorece parámetros tales como el olor, color y movilidad.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Química de lípidos

La química orgánica define los lípidos como un grupo de compuestos con semejanza en sus estructuras, más específicamente en los grupos no polares de su composición. Los lípidos dependen de la solubilidad y pueden ser clasificados en dos grandes grupos, el primer grupo pertenece a los ácidos grasos (triacilgliceroles, esfingolípidos, fosfoacilgliceroles, y glucolípidos). El segundo grupo son compuestos formados por anillos fusionados y corresponde a los esteroides (Campbell *et al.*, 2016). En general, son compuestos comunes en la naturaleza que se encuentran en todo tipo de sitios como en el día a día al cocinar o en nuestro sistema nervioso. Los lípidos se caracterizan por su solubilidad en solventes orgánicos como el cloroformo, acetona y metanol (Wade *et al.*, 2012).

### 2.2 Clasificación de los lípidos según su composición

En los organismos los ácidos grasos suelen tener pares de átomos de carbono y su cadena normalmente no está dividida, son ácidos carboxílicos con grupos laterales de hidrocarburos de cadena larga (Voet *et al.*, 2013). Si el compuesto presenta dobles enlaces (carbono) en la cadena el ácido graso es insaturado y se puede representar por niveles o grados, pero si solo hay enlaces sencillos es saturado. El grado de insaturación se refiere al número de dobles enlaces, por ejemplo, los ácidos grasos monoinsaturados solo presentan una sola insaturación (un doble enlace) en su cadena carbonada, en cambio, los poliinsaturados presentan más de una insaturación. Los ácidos grasos insaturados presentan un punto de fusión más bajo que los saturados (Campbell *et al.*, 2016).

### **2.2.1 Grasas**

Existen diferentes tipos de grasas, pero las principales son las saturadas e insaturadas. Las grasas saturadas son aquellas que se encuentran de manera sólida a temperatura ambiente, las cuales mayormente son de origen animal (CDC, 2024). Son indispensables en la dieta diaria del ser humano, así como usos culinarios, cosmética, energía, entre otros. Sin embargo, al ser de origen natural son más susceptibles al deterioro.

### **2.2.2 Aceite vegetal**

Las grasas insaturadas se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente siendo en su mayoría aceites vegetales (Vela, 2018). Los aceites vegetales son productos formados a partir de fuentes vegetales (maíz, soya, oliva, aguacate, canola, entre otros) compuestos por glicéridos de ácidos grasos en pocas palabras, triglicéridos. Son insolubles en agua y su viscosidad es mayor en comparación (Vela, 2018), las temperaturas máximas de dichos aceites radican entre 150°C y 250°C dependiendo de la fuente (Llorca, 2016).

Existe una clasificación entre aceites vegetales la cual depende del tipo de grasa en su composición, grasas saturadas y grasas insaturadas (monoinsaturadas, poliinsaturadas). Los perfiles de ácidos grasos que componen a cada aceite (en porcentaje) se muestran en la [Figura 1](#) a continuación.

### Grasa Dietética

Aceite de canola	7		21	11					61	
Aceite de cártamo	8	14	1						77	
Aceite de lino	9		16				57		18	
Aceite de girasol		12					71	1	16	
Aceite de maíz		13				57	1		29	
Aceite de oliva			15	9	1				75	
Aceite de soya			15				54	8	23	
Aceite de cacahuete				19		33 *			48	
Aceite de algodón (semilla)					27			54 *	19	
Manteca de cerdo					43	9	1		47	
Aceite de palma						51	10 *		39	
Manteca							68	3	1	28
Aceite de coco								91	2	7

Grasas Saturadas	Grasas Poliinsaturadas	Grasas Monoinsaturadas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ácido linoleico (ácido graso omega-6)</li> <li>Ácido <math>\alpha</math>-linolénico (ácido graso omega-3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ácido oleico (ácido graso omega-9)</li> <li>Contenido de ácido graso normalizado al 100%</li> </ul>
	*Mínimo	

Figura 1. Porcentaje de grasas de aceites comunes (Pilot Plant Corp., 2015)

### 2.3 Proceso de oxidación

El proceso de oxidación como se muestra en la Figura 2, ocurre por el aumento de temperatura, la luz o especies metálicas reactivas, consta de tres fases: iniciación, propagación y terminación. En la primera fase por presencia de calor la cadena de ácido graso sufre descomposición o bien un átomo de hidrógeno es extraído por especies reactivas para formar radicales libres de alquilo. En la fase de propagación, estos radicales libres reaccionan muy rápido con el oxígeno formando radicales peróxidos (ROO). Al reaccionar con otra cadena de ácido graso extraen otro átomo de hidrógeno formando radicales hidroperóxidos (ROOH). Estos radicales hidroperóxidos a altas temperaturas producen radicales alcoxi, los cuales pueden atacar otro ácido graso insaturado para seguir con la fase de propagación (Agarwal, *et al.*, 2018). Cuando los radicales mencionados anteriormente reaccionan entre sí se convierten en productos estables, a esto se le denomina fase de terminación. El resultado es una oxidación secundaria

donde esos productos degradados pueden oxidarse hasta producir ácidos grasos de cadena corta, aldehídos y cetonas (Sagaste, *et al.*, 2019).

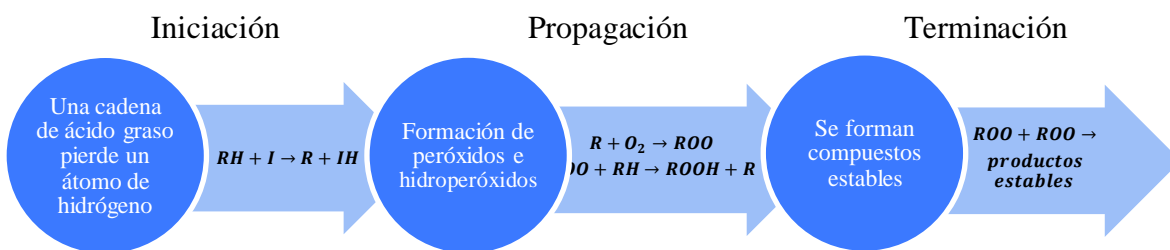


Figura 2. Proceso de oxidación de un ácido graso

### 2.3.1 Efecto de los antioxidantes en la estabilidad oxidativa

La baja estabilidad oxidativa de aceites es un problema el cual afecta gravemente su calidad. Por lo que se utilizan aditivos antioxidantes para retardar el proceso de oxidación. Los antioxidantes son sustancias que, a bajas concentraciones, previenen o retardan la oxidación de biomoléculas oxidables, dicho de otra manera, sustancias que contrarrestan los radicales libres, evitando así el daño oxidativo. Se reconocen dos principales grupos de antioxidantes: enzimáticos y no enzimáticos. Los antioxidantes enzimáticos incluyen enzimas primarias (superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa) y enzimas secundarias (glutatión reductasa y glucosa-6-fosfato deshidrogenasa). Los antioxidantes no enzimáticos son solubles en agua (vitamina C y compuestos fenólicos) o biomoléculas liposolubles (vitamina E o tocoferoles en aceites y carotenoides) (Ndhlala, *et al.*, 2010).

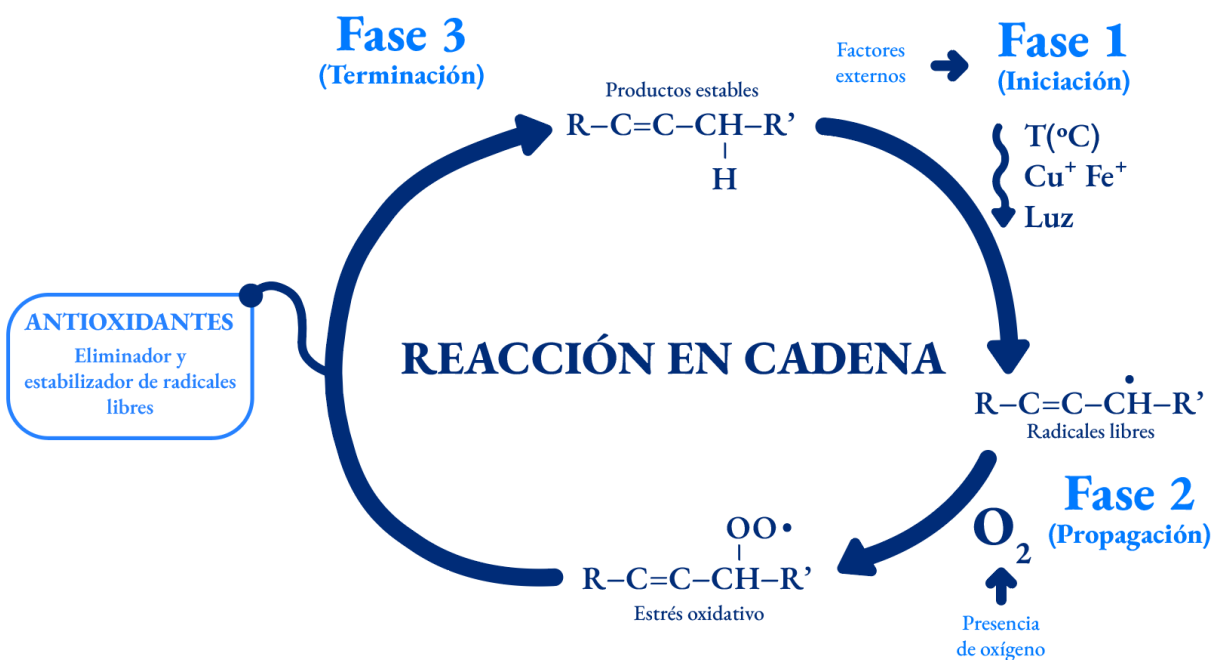


Figura 3. Proceso de oxidación de un aceite vegetal: intervención del antioxidante

Los radicales libres formados por factores externos pueden ser eliminados por antioxidantes para evitar la propagación de las reacciones de oxidación. Existen dos tipos, primarios y secundarios (Figura 3), los antioxidantes primarios actúan de forma vital eliminando los radicales libres en las primeras dos fases otorgando átomos de hidrógeno para detener la reacción en cadena. Los antioxidantes secundarios actúan en la segunda fase y son estabilizadores de los radicales hidropéroxidos convirtiéndolos en compuestos estables no reactivos. La eficacia e intervención de cada antioxidante dependerá de su estructura, del cuidado y las condiciones a las que el aceite se encuentre expuesto (Abasolo, 2019).

Un estudio en 2019 analizó la capacidad antioxidante de extractos naturales contra antioxidantes artificiales en diferentes aceites vegetales (girasol, semilla de uva, pescado). Se realizaron pruebas de estabilidad oxidativa por medio de Rancimat y análisis de capacidad antioxidante a cinco extractos diferentes de romero (RE), extracto de aceite de oliva (OE) y extracto de semilla de uva (GSE). Los resultados obtenidos indicaron que los cinco RE, junto

con los extractos vegetales GSE y OE, muestran mejor capacidad antioxidante que los antioxidantes sintéticos como el butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propilo (PG), terc-butilhidroquinona (TBHQ) y el extracto natural de tocoferoles (TOC). Sin embargo, el TBHQ fue el de mayor capacidad antioxidante. El extracto natural TOC obtuvo resultados similares al RE y muestra la menor capacidad antioxidante frente a DPPH (Mira *et al.*, 2019).

En 2019, un estudio utilizó extracto de microalgas cultivadas (*Dunaliella salina*) en aceite vegetal comestible, en este caso el proceso de maceración se realizó en conjunto con el aceite vegetal (una forma poco convencional). Las mediciones se realizaron a diferentes muestras, un aceite testigo y una muestra referencial (con antioxidante sintético), los resultados arrojaron que en cuestión de actividad antioxidante el aceite enriquecido obtuvo un 45.6% con respecto al aceite testigo. Se midió el compuesto de  $\beta$ -caroteno en la muestra con extracto de *Dunaliella salina* por medio de un espectrofotómetro Jenway (modelo 6104) y comprobaron que el compuesto produce mayor actividad antioxidante, por lo que sugieren el uso de este extracto para mejorar la vida útil de aceites vegetales (Guevara, *et al.*, 2019).

En 2023, Cuevas *et al.*, hicieron pruebas de actividad antioxidante en la biomasa del bagazo residual de orégano mexicano (*Lippia graveolens Kunth*). El proceso de obtención pasó por hidrodestilación para extraer el aceite esencial y desodorizar los residuos sólidos. Después el material vegetal seco se maceró con etanol-agua al 58% con el procedimiento optimizado de Flores-Martínez *et al.*, (2016) que consiste en agitación a 300 rpm y temperatura controlada de 68°C durante 1 h. En el estudio el compuesto antioxidante es la pinocembrina, sustancia que cumple varios roles en la industria alimentaria. Los resultados presentaron un grado de protección aceptable en el aceite de girasol, asimismo, la velocidad de formación de peróxidos disminuye conforme aumenta la concentración del extracto hidroalcohólico. Los resultados

también indicaron que el extracto hidroalcohólico aumentó 4 veces la vida útil del aceite enriquecido con respecto al aceite sin tratamiento.

## 2.4 Extractos y aceites esenciales

Extracto es definido como “producto sólido o espeso obtenido por evaporación de un zumo o de una disolución de sustancias vegetales o animales” (RAE, 2022). Son compuestos biológicos concentrados, los estados predominan entre sólidos, líquidos o intermedios. Se obtienen por maceración y purificación al evaporar parcial o completamente el disolvente formando el producto de interés (Carrión & García, 2010).

Los extractos a diferencia de los aceites esenciales es que estos se obtienen a partir del macerado de diferentes partes de la planta y su solvente puede ser diverso, tales como alcohol etílico, éter, cloroformo, acetona, propilenglicol, entre otros. En cambio, los aceites esenciales son elaborados mediante destilación por vapor con agua como solvente (Guerra, *et al.*, 2005). Una gran variedad de plantas contiene mezclas de monoterpenos y sesquiterpenos volátiles, llamados aceites esenciales, los cuales, emanan un olor intenso de sus hojas. En el área de alimentos, cosmética, entre otros, son importantes como aromas, industria de perfumes y propiedades repelentes de insectos (Taiz & Zeiger, 2006).

Los terpenos son compuestos orgánicos que se encuentran en plantas y desempeñan un importante papel defensivo. Actúan como toxinas y repelentes para insectos y mamíferos que se alimentan de plantas. Por ejemplo, muchas coníferas responden a plagas produciendo monoterpenos adicionales, los cuales son tóxicos para una amplia variedad de insectos. Además, los ésteres de monoterpenos, conocidos como piretroides, se encuentran en las hojas y flores de especies de *Chrysanthemum* (Taiz & Zeiger, 2006).

Asimismo, los aceites esenciales producidos por las plantas para combatir el ataque de los

agentes infecciosos presentan un vasto número de actividades biológicas y son también un objeto importante de estudio y desarrollo. Desde su uso en el antiguo Egipto se han reconocido sus amplias propiedades antimicrobianas, debido a la presencia de componentes mayoritarios como timol, carvacrol, linalool, entre otros, que poseen la capacidad de producir poros en las membranas celulares de los microorganismos e inducir la muerte celular por lisis osmótica. Esta cualidad los convierte en una fuente promisoría de nuevos agentes antimicrobianos para su uso en medicina y agricultura (Bueno, 2012).

#### ***2.4.1 Principales métodos y técnicas: extractos y aceites esenciales***

##### *Extractos*

- \* **Maceración:** el principio consiste en que el material vegetal, se pone en contacto duradero con el solvente. Durante el proceso se realiza de manera estática o con agitaciones frecuentes en un tiempo determinado lejos de la luz solar, tratando de favorecer el gradiente de concentración. Al principio de la extracción este gradiente está en el punto máximo, con el correr de los días, a pesar de la agitación, éste disminuye. Se separa el extracto del residuo con vegetal, se purifica el extracto y se lleva a resguardo (Guerra, *et al.*, 2005).
- \* **Turboextracción y digestión:** son procesos en los que se altera el tiempo de maceración. El tiempo se reduce debido al movimiento de agitación utilizado y a trabajar a temperaturas por encima de la temperatura ambiente. Sin embargo, este aumento de temperatura puede modificar los componentes bioactivos del extracto. Por otro lado, la digestión es una forma de maceración que se realiza a temperaturas elevadas, utilizando agua como líquido de extracción. La desventaja de la digestión es que, al enfriar, generalmente se producen precipitaciones. (Guerra, *et al.*, 2005).
- \* **Extracción por Soxhlet:** En este proceso, el disolvente líquido caliente y puro entra en

contacto con el material vegetal, mientras que otra parte del disolvente acumula los compuestos extraídos. Dentro de las ventajas incluyen su facilidad de manejo, su funcionamiento automático y la capacidad de obtener una gran cantidad de compuestos. Sin embargo, también presenta limitaciones, como el largo tiempo de operación y residencia del disolvente en el lecho de la materia prima, lo que restringe su uso a la obtención de aceites esenciales de alto valor. Además, se requiere una seguridad rigurosa para su operación y control debido al uso de disolventes orgánicos volátiles, que son inflamables y, en algunos casos, tóxicos o irritantes (Cerpa, *et al.*, 2007).

- \* Percolación o lixiviación: este proceso implica un flujo continuo de disolvente a través de un material vegetal. Aunque se realiza una maceración previa, el disolvente se renueva constantemente, lo que mantiene un gradiente de concentración alto. El disolvente fluye de arriba a abajo a través de la capa de material vegetal, y el disolvente puro desplaza al que ya contiene la sustancia extraída, sin necesidad de aplicar presión. La calidad del extracto depende de la finura del material vegetal, la velocidad de difusión de las sustancias activas y la rapidez con la que el disolvente pasa a través del sistema (Guerra, *et al.*, 2005).

### *Aceites esenciales*

- \* Destilación: es de los métodos más utilizados y el tipo de destilación se definirá dependiendo de cómo el agua está en contacto con la fuente vegetal. Cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado fuera del equipo principal, es llamado “destilación por arrastre de vapor”. Cuando se usa vapor saturado, pero la materia prima está en contacto íntimo con el agua generadora del vapor, se le llama “hidrodestilación”. Cuando se usa vapor saturado, pero la materia no está en contacto con el agua generadora, sino con un reflujo del condensado formado en el interior del destilador y se asumía que el agua era un agente extractor, se le

denominó “hidroextracción” (Cerpa, *et al.*, 2007).

- \* Extracción por solventes: la muestra vegetal se pone en contacto con solventes como el éter dietílico, hexano, ciclohexano, acetato de metilo, 1-butanol, 2-butanol, metil-etil-cetona, diclorometano y propanol. Gracias a los solventes se solubiliza la esencia, pero también componentes como grasas y ceras (Cedeño *et al.*, 2019).
- \* Extracción por fluidos supercríticos: el material vegetal es reducido de tamaño y se pone en contacto con un fluido supercrítico, por ejemplo, dióxido de carbono, actuando como agente extractor que se elimina por compresión progresiva hasta alcanzar temperatura y presión estándar y así obtener una esencia pura, todo el proceso ocurre en una cámara de acero inoxidable (Esquivel & Vargas, 2007).

## 2.5 Medición del efecto antioxidante

Se han desarrollado diversos métodos químicos *in vitro* para medir las capacidades antioxidantes de los productos vegetales, la mayoría dependen de la generación de radicales libres. Sin embargo, la falta de análisis estandarizados para comparar los resultados de diferentes grupos de investigación es una de las tareas más difíciles, ya que dependiendo el área de investigación y material biológico a analizar los procedimientos difieren entre sí. Se requiere un examen de varios análisis antioxidantes ya que, no existe un método universal único para la medición de capacidad antioxidante (Ndhlala, *et al.*, 2010). Sin embargo, los métodos se dividen en dos grandes grupos, métodos HAT y SET, y un tercero que es la combinación de ambos.

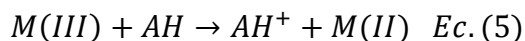
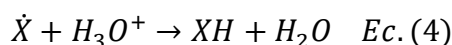
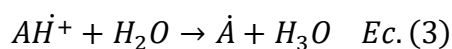
### 2.5.1 Determinación de la capacidad antioxidante

El método HAT (Transferencia de un Átomo de Hidrógeno) y método SET (Transferencia de un Solo Electrón) son pruebas *in vitro* que tienen el mismo objetivo, determinar la capacidad antioxidante, pero la energía cinética y potencial difieren al momento de la reacción. El mecanismo del método HAT se puede observar en la ecuación 1, donde un antioxidante actúa para atrapar radicales libres mediante la donación de un átomo de hidrógeno (Gutiérrez, 2017).



El método HAT se basa en reacciones de transferencia de hidrógeno, miden la cinética competitiva y están constituidos por tres componentes, un generador de radicales sintético, una sonda molecular oxidable y un compuesto antioxidante. Este método es bastante relevante para la capacidad antioxidante de romper la cadena de radicales debido a que la transferencia de átomos de hidrógeno es un paso importante para la generación de radicales libres (Ndhlala, *et al.*, 2010).

Por otro lado, los ensayos basados en SET implican una reacción redox en la que el oxidante es también controla la reacción. Se basan en la transferencia de un solo electrón que involucran dos componentes el antioxidante y el oxidante. El cambio de color se produce cuando elimina un electrón del antioxidante, siendo el cambio de color proporcional a la concentración de antioxidantes en la reacción, el punto final de la reacción se alcanza cuando se detiene el cambio de color (Ndhlala, *et al.*, 2010). El mecanismo SET (ecuaciones 2, 3, 4 y 5) transfiere un electrón y reduce compuestos como metales, carbonilos y radicales (Gutiérrez, 2017).



Donde

X= Radical Libre

AH= Donante de hidrógeno

M= Metales

### **2.5.2 Métodos HAT**

#### *ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno)*

Esta técnica determina la capacidad antioxidante mediante un método fluorimétrico. En primer lugar, mediante la descomposición térmica de un azoderivado 2,2'-azo-bis (2-amidino-propano) dihidrocloruro (AAPH) se genera un radical peróxilo. Este intenta oxidar un sensor/marcador oxidable y fluorescente (una proteína como la ficoeritrina o un sensor fluorescente como la fluoresceína) y por el contrario el antioxidante intenta evitar esta oxidación. A medida que el radical oxide el sensor fluorescente este irá perdiendo poco a poco su fluorescencia, dicha fluorescencia se registra con un fluorímetro (Huet, 2017).

### **2.5.3 Métodos SET**

#### *Folin-Ciocalteu (contenido de compuestos fenólicos totales en productos vegetales)*

El mecanismo de reacción es una reacción redox, por lo que se considera como un método de medida de la actividad antioxidante total. Este reactivo contiene una mezcla de wolfrato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido tungsto-fosfomolibdico (resultado de las dos sales en el medio ácido) de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso que presenta un máximo de absorción a 765 nm, y que se cuantifica por espectrofotometría con base a una recta patrón de ácido gálico (García, *et al.*, 2015).

### *FRAP (Capacidad Antioxidante para Reducir el ion Férrico)*

El ensayo FRAP también se trata de un método espectrofotométrico que mide la reducción de un complejo formado por un cromógeno, normalmente de TPTZ (2, 4, 6-tripiridil-s-triazina), y hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) incoloro a un complejo ferroso  $\text{Fe}^{2+}$  de un intenso color azul verdoso en presencia de antioxidantes en un medio ácido (Huet, 2017).

### *ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etiltiazolina-bencenosulfónico-6))*

Este análisis, mide la capacidad antioxidante al secuestrar el radical libre 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina)-6 sulfonato de amonio (ABTS), el cual reacciona y es oxidado con persulfato de potasio, dicha solución tiene un color azul/verde que al momento de reaccionar se convierte en una solución incolora. El procedimiento se basa en la decoloración de ABTS por compuestos antioxidantes, lo que refleja la cantidad de radicales ABTS en relación con la del ácido a utilizar. La mezcla de reacción se deja reposar a temperatura ambiente durante 12-24 h antes de usar. La solución concentrada de ABTS resultante se diluye con alcohol o solución salina tamponada con fosfato (pH 7.4) hasta una absorbancia final de 0.7 a 734 nm y la muestra o trolox (Ndhlala, *et al.*, 2010).

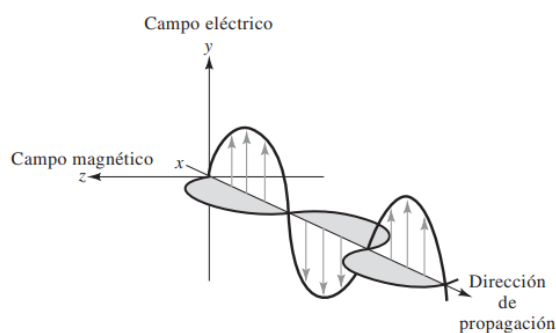
### *DPPH (Técnica 1,1-Difenil-2-Picrilhidrazilo)*

El ensayo DPPH es ampliamente utilizado para evaluar la actividad antioxidante en muestras de plantas. En este método, se utiliza el radical de nitrógeno orgánico libre DPPH, que es muy estable. Los antioxidantes presentes en la muestra reaccionan con el DPPH, reduciéndolo y decolorando la solución de metanol de DPPH (originalmente de color púrpura oscuro a un amarillo claro). El mecanismo de reacción se basa en transferencias de un solo electrón

(reacciones SET). Para medir la capacidad reductora de los antioxidantes, se utiliza un espectrofotómetro UV-Vis. Cuanto mayor sea la decoloración de la solución de metanol DPPH, mayor será la capacidad de captación de radicales libres por parte de los antioxidantes (Ndhala, *et al.*, 2010).

## 2.6 Espectroscopía

La espectroscopía es la ciencia que estudia la interacción entre la materia y diferentes tipos de radiación como la electromagnética, siendo la más popular. Hoy en día la radiación electromagnética se divide en otras formas de energía como la luz, el calor radiante, los rayos gamma y los rayos X, los rayos ultravioleta, microondas y la de radiofrecuencia. La radiación electromagnética, se genera a partir de ondas que se propagan debido a la presencia de un campo magnético y un campo eléctrico, en el cual el campo eléctrico oscila a lo largo del eje  $x$  perpendicular al campo magnético, dicho efecto se puede observar en la [Figura 4](#) (Skoog *et al.*, 2008).



*Figura 4. Propagación de una onda electromagnética*

De igual forma, es una propagación de energía radiante la cual su vibración es perpendicular a la dirección de su propagación y transmite radiación en forma de ondas transversales. Dicha propagación está compuesta por longitud de onda, amplitud y frecuencia. La longitud de onda es la distancia del punto máximo entre una onda a otra sucesiva, la amplitud de onda es la longitud del vector desde el plano hasta el punto máximo de la onda, tal como se muestra en la

Figura 5 (Skoog *et al.*, 2008). La frecuencia se define como la cantidad de ciclos que pasan por un punto determinado en unidad de tiempo (Gary, 2009).

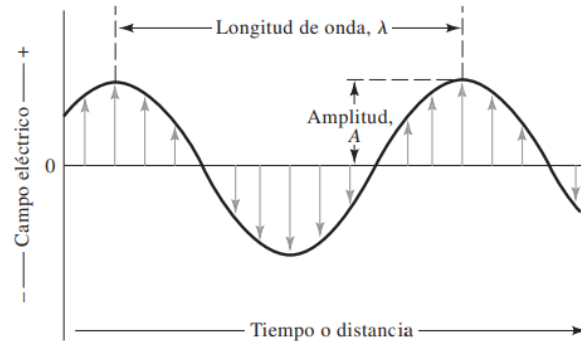


Figura 5. Partes de una onda en el campo eléctrico

La frecuencia y la longitud se relacionan mediante la ecuación 6

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde  $\lambda$  se refiere a la longitud de onda (cm),  $\nu$  es la frecuencia ( $s^{-1}$  o Hz) y  $c$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^{10}$  cm/s). Otra de las cosas que hay que tener en cuenta es que a menor longitud de onda mayor frecuencia y por lo tanto mayor energía.

### 2.6.1 Espectrometría de absorción

El espectro electromagnético abarca una gran escala de energías, con longitudes de onda de 0.005 Å hasta 10 m ( $1 \text{ Å} = 10^{-8}$  cm). La escala logarítmica las regiones espectrales de los diferentes métodos de detección de radiación se presenta en la Figura 6 (Skoog *et al.*, 2008).

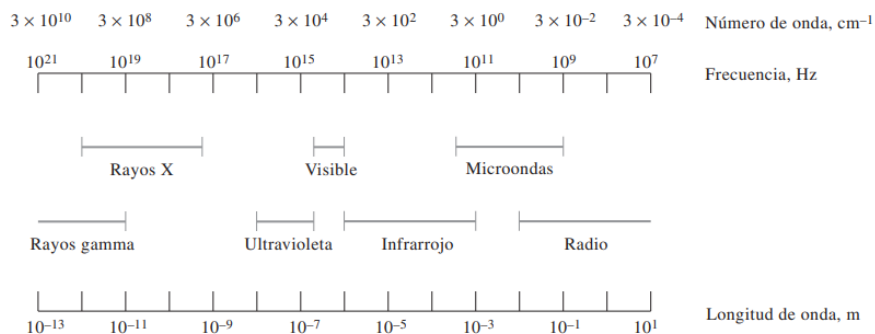


Figura 6. Regiones del espectro electromagnético

La espectroscopía de absorción utiliza dos medidas importantes para los métodos espectroscópicos, la transmitancia (T) y la absorbancia (A). Dichos términos requieren de una medición previa de cierta cantidad de luz a una determinada longitud de onda que llega al transductor cuando se coloca un blanco (intensidad  $P_0$ ), después se obtiene la cantidad de luz al colocar las muestras o soluciones estándar (intensidad P). La relación entre las dos intensidades se denomina transmitancia (T) que se define como la fracción de la radiación incidente transmitida y está dada por la ecuación 7 (Rubinson & Rubinson, 2001).

$$T = \frac{P}{P_0} \quad \text{Ec. (7)}$$

El mecanismo de absorción difiere entre las regiones del espectro electromagnético, sin embargo, el proceso principal es la absorción de cierta cantidad de energía, el término de absorbancia (A) está dado por el logaritmo negativo de T y se observa en la ecuación 8 (Dyer, 1973).

$$A = -\log \frac{P}{P_0} = -\log T \quad \text{Ec. (8)}$$

Los científicos estudian cómo la radiación interactúa con la materia para revelar detalles sobre una muestra. Esta técnica ha sido fundamental en el descubrimiento de varios elementos químicos. Para llevar a cabo la espectroscopía, se estimula la muestra aplicándole energía en forma de calor, electricidad, luz, partículas o reacciones químicas. Antes de recibir este estímulo, el analito (la sustancia de interés) se encuentra principalmente en su estado energético más bajo, conocido como estado basal. Al aplicar un estímulo, algunas especies del analito se excitan y transitan hacia estados energéticos superiores. La información sobre el analito se obtiene al medir la radiación electromagnética emitida cuando regresa a su estado basal o al medir la cantidad de radiación absorbida o dispersada como resultado de la excitación (Skoog *et al.*, 2008).

## 2.7 Equipos de medición de absorción molecular de ultravioleta-visible

### 2.7.1 Fotómetro de filtro

Los instrumentos más conocidos en la espectroscopia de absorción molecular de UV-VIS son los fotómetros de filtro y los espectrofotómetros. El más simple es el fotómetro de filtro (Figura 7) un instrumento sencillo para medir la absorbancia que utiliza filtros de absorción a determinada longitud de onda (Harvey, 2000).



*Figura 7. Fotómetro de filtro MACHERE-NAGEL*

Su funcionamiento se basa en aislar una banda de radiación mediante un filtro de absorción o interferencia. El filtro se coloca entre la fuente y la muestra (Figura 8) para evitar el deterioro de la muestra, ya que, se expone a radiación de alta energía. La trayectoria óptica que utiliza el fotómetro sucede únicamente entre la fuente y el detector y se conoce como instrumento de haz único. El instrumento es calibrado mientras se utiliza un obturador para bloquear la radiación del detector (Harvey, 2000). Se usan dos tipos de filtros para seleccionar la longitud de onda, filtros de interferencia, y los filtros de absorción.

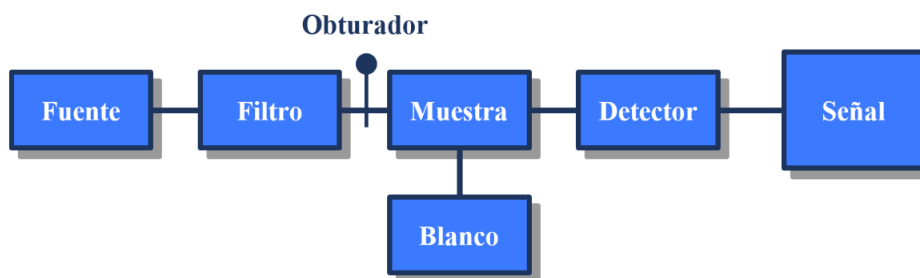


Figura 8. Diagrama de bloques de un fotómetro de filtro (Harvey, 2000)

### *Filtros de interferencia*

Estos filtros dependen de la interferencia óptica para proporcionar bandas angostas de radiación. Un filtro de interferencia consiste en un dieléctrico transparente, que ocupa el espacio entre dos películas metálicas semitransparentes (Skoog et al, 2008).

### *Filtros de absorción*

Los filtros de absorción son casi siempre más baratos que los de interferencia. Su función es absorber porciones seleccionadas del espectro. El tipo más común consta de un vidrio coloreado o de un colorante suspendido en gelatina colocado entre dos láminas de vidrio. Los filtros de vidrio coloreado tienen la ventaja de poseer una estabilidad térmica mayor que los de gelatina. (Skoog et al, 2008).

Al retirar el obturador el instrumento se calibra utilizando un blanco, después se mide la muestra de interés. El fotómetro debe recalibrarse cada vez que se cambia el filtro ya que la potencia incidente de la fuente y a sensibilidad del detector varían con la longitud de onda. El fotómetro tiene ciertas ventajas en comparación con otros debido a su movilidad ya que es de tamaño portátil, además de ser bastante económico, resistente y fácil de usar (Harvey, 2000).

En las plantas industriales, se utilizan fotómetros ultravioleta para monitorear de manera continua la concentración de uno o más componentes en una corriente de gas o líquido. Estos

instrumentos funcionan mediante un doble haz en el espacio y a menudo utilizan una de las líneas de emisión del mercurio mediante lámparas de vapor a 254 nm, que se ha aislado mediante un sistema de filtros. Algunas aplicaciones típicas incluyen la determinación de bajas concentraciones de fenol en aguas residuales, el control de la concentración de cloro, mercurio e hidrocarburos aromáticos en gases, así como la relación entre el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre en la atmósfera (Skoog *et al.*, 2008).

### 2.7.2 Espectrofotómetro

En el contexto de la espectroscopia, los espectrómetros son instrumentos que utilizan monocromadores para seleccionar longitudes de onda específicas. Por otro lado, en la espectroscopía de absorbancia, donde se mide la relación entre dos potencias radiantes (transmitancia), el instrumento se llama espectrofotómetro. El espectrofotómetro más sencillo es un dispositivo de haz único equipado con un monocromador de longitud de onda fija (Harvey, 2000). Está diseñado con alrededor de tres módulos fundamentales: la fuente, el sistema dispersivo (sección óptica) y el sistema de detección (Rouessac & Rouessac, 2007), se puede observar en la [Figura 9](#).

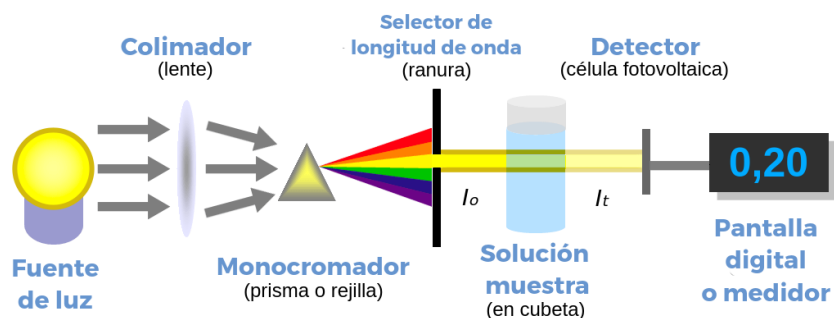


Figura 9. Componentes de un espectrofotómetro (Labster, 2024)

La fuente debe emitir una radiación detectable en la región de longitudes de onda según el diseño del aparato, sin embargo, ninguna fuente tiene una emisión constante. La fuente que más

se utiliza para la región visible es la lámpara incandescente de filamento de tungsteno. Para la región ultravioleta, comúnmente se usa como fuente un tubo de descarga de hidrógeno o de deuterio a baja presión. Las fuentes de ultravioleta tienen una ventana de cuarzo, porque el vidrio no es transparente a esa radiación (Gary, 2009).

El detector es un dispositivo de un solo canal, convierte la luz que llega en una señal eléctrica. Se utilizan dos tipos de detectores, tubo fotomultiplicador y un semiconductor (Rouessac & Rouessac, 2007). Las fotoceldas son comunes en las regiones ultravioleta y visible. Cuando un fotón entra por la ventana de la celda y llega al cátodo se emite un electrón que es atraído hacia el ánodo, pasando una corriente eléctrica que se amplifica y es detectada (Gary, 2009). Los espectrofotómetros de haz único se calibran y utilizan de la misma forma que un fotómetro. Actualmente se utilizan espectrofotómetros portátiles de haz único para análisis in situ. Se encuentran disponibles otros espectrofotómetros de haz único con anchos de banda de 2 a 8 nm. Los espectrofotómetros de haz único de longitud de onda fija no son prácticos para registrar espectros, ya que ajustar manualmente la longitud de onda y recalibrar es complicado, por lo que el tiempo que demora en realizar un análisis es bastante tedioso (Harvey, 2000).

### *Monocromador*

La función principal de un monocromador es separar la luz policromática en un rango de longitudes de onda individuales (luz monocromática). Un monocromador está formado principalmente por lentes que enfocan la radiación por rendijas de entrada y salida que bloquean radiación indeseable y controlan la pureza espectral que emite el monocromador, su trabajo es separar las longitudes de onda de la radiación policromática procedente de la fuente. Todos los monocromadores para radiación ultravioleta, visible e infrarroja son similares en cuanto a su mecanismo debido a que usan los mismos componentes. Los materiales a partir de los cuales

se fabrican dichos componentes dependerán de la región de interés (Gary, 2009).

Los elementos ópticos que constituyen a los monocromadores son: la rejilla de entrada que proporciona una imagen óptica, una lente (colimador) que produce un haz paralelo de radiación, un prisma o una red de reflexión que dispersa la radiación en las longitudes de onda que corresponden, un elemento de enfoque que reformula la imagen, las trayectorias con distancias focales largas producen la mejor resolución (Gary, 2009).

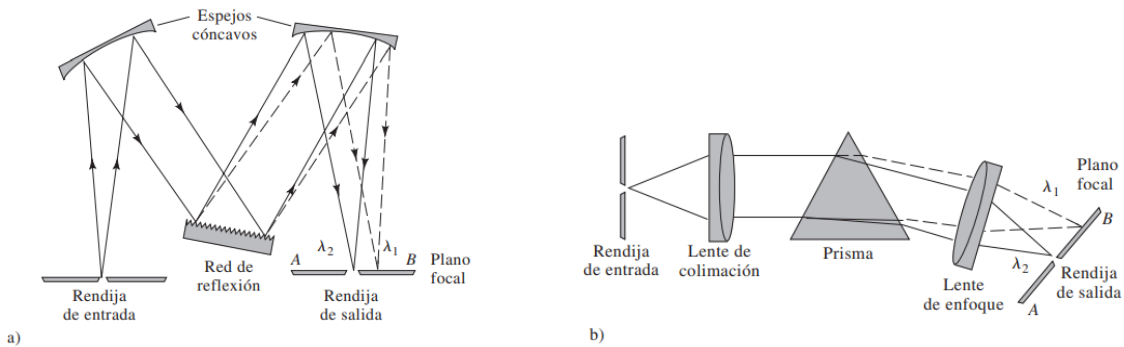


Figura 10. Tipos de monocromadores: a) monocromador Czerney-Turner de red y b) monocromador Bunsen de prisma (Skoog et al., 2008)

Como se muestra en la Figura 10, existen dos tipos de dispersores en los monocromadores, redes y prismas de reflexión. Su funcionamiento inicia en la radiación que entra en el monocromador por medio de una rendija; se alinea, y luego choca con la superficie del elemento dispersor a un cierto ángulo (Figura 10, a). En el monocromador de red, la dispersión angular de las longitudes de onda es el resultado de la difracción; en el prisma, la refracción en las dos caras da como resultado una dispersión angular de la radiación, como se muestra (Figura 10, b). Ambos tipos presentan la radiación dispersada enfocadas en el plano focal AB. Antiguamente la mayoría de los espectrofotómetros utilizaban monocromadores de prisma, pero en la actualidad casi todos los que se utilizan son de redes de reflexión ya que, son más baratos además que proporcionan mejor separación de longitudes de onda y dispersan la radiación de manera lineal (Skoog, et al., 2008).

### *Monocromadores de prisma*

Un prisma es efectivo en las zonas ultravioleta y visible del espectro, y es apto para la zona infrarroja también. No obstante, su dispersión no uniforme hace que sea más eficiente para longitudes de onda cortas. En la zona visible, es posible emplear prismas y lentes de cristal; para la ultravioleta, es necesario utilizar cuarzo o sílice fundida, materiales que también son adecuados para la zona visible (Gary, 2009).

### *Monocromadores de red o rejillas*

Contienen rejillas de difracción que se componen de un gran número de líneas (ranuras) trazadas en una superficie muy fina. Para las regiones ultravioleta y visible son aproximadamente de 15,000 a 30,000 líneas por pulgada. Las ranuras funcionan como dispersante de rayos que llegan a la rejilla lo que produce una dispersión igual para todas las longitudes de onda, a esto se conoce como dispersión es lineal. La resolución dependerá de la cantidad de ranuras, en general el poder de resolución es mejor que el de los prismas y las rejillas son compatibles con todas las regiones del espectro (Gary, 2009).

### **2.7.3 Espectrofotómetro UV-VIS**

Existen diversos espectrofotómetros, por lo general manejan longitudes de onda que varían entre valores de 200-1,100 nm. Equipados con lámparas intercambiables de tungsteno y de hidrógeno o deuterio. En la actualidad, los sistemas de lectura son digitales contando con un software computarizado. Existen tres diseños ópticos para los espectrofotómetros UV-Vis: un espectrofotómetro fijo con un haz único y portamuestras; un espectrofotómetro de barrido con doble haz y dos portamuestras y un espectrofotómetro sin barrido que permite la medición simultánea de múltiples longitudes de onda (Rouessac & Rouessac, 2007).

### *Ley de Lambert-Beer*

Las mediciones de los espectrofotómetros se basan en la ley de Lambert-Beer que, bajo ciertas condiciones relaciona la absorción con la concentración de una solución. El matemático francés Lambert, sentó las bases de la fotometría en el siglo XVIII. Con base en su trabajo, Beer, un físico alemán del siglo siguiente propuso una ley que calculaba la cantidad de luz transmitida de un compuesto en solución en una matriz no absorbente (Rouessac & Rouessac, 2007). La ley de Lambert-Beer se indica en la ecuación 9, y se originó mediante la experimentación. Se postuló en 1892, donde no había teoría sobre aparatos de medición o equipos de espectroscopía molecular (Rubinson & Rubinson, 2001).

$$A = -\log \frac{P}{P_0} = \epsilon bc \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

$A$  = absorbancia (*adimensional*)

$\epsilon$  = absortividad molar  $\left(\frac{L}{\text{mol} \cdot \text{cm}}\right)$

$b$  = longitud de paso óptico total (*cm*)

$c$  = concentración  $\left(\frac{\text{mol}}{L}\right)$

Las magnitudes implicadas en el efecto descrito por la ecuación son 3:

- \* La cantidad de luz que pasa a través de la muestra.
- \* El espesor de la muestra, normalmente 1 cm.
- \* Y la concentración.

### *Celdas para muestra*

La celda que contiene a la muestra naturalmente debe ser transparente en la región de longitudes de onda que se esté midiendo. Las celdas que usan los espectrómetros en visible y ultravioleta suelen ser prismas rectangulares huecos de 1 cm de ancho entre sus paredes paralelas internas, aunque pueden usarse celdas de diversas longitudes de paso y volúmenes. Los materiales de las celdas normalmente son de cuarzo y de vidrio, pero dependiendo la región es el material que se debe utilizar ya que, el vidrio no es transparente en ciertas regiones espectrales. Ejemplo, en la región UV se utilizan de cuarzo y en la región visible puede ser de cuarzo o de vidrio (Gary, 2009).

### *Espectrofotómetro UV-VIS de haz único*

En dispositivos de espectroscopía de haz único se determina el espectro midiendo la transmitancia tanto de la muestra como del solvente a distintas longitudes de onda. Inicialmente, se introduce en el sistema óptico un blanco, que puede ser solo el solvente o una solución con los reactivos sin el analito. Posteriormente, se sustituye por la solución de la muestra cuya concentración es desconocida. Como resultado, estos instrumentos generan datos de absorbancia que se correlacionan con la concentración del analito (Rouessac & Rouessac, 2007).

### *Espectrofotómetro UV-VIS de doble haz*

El sistema de doble haz optimiza la medición de transmitancia al realizarla de manera casi simultánea para la muestra y el solvente. Un haz de luz incide en la muestra y el otro en la solución de referencia facilitando que el detector realice una comparación directa de las intensidades de luz transmitida a la misma longitud de onda. Estos dispositivos destacan por su

alta velocidad de barrido y su habilidad para determinar absorbancias con una precisión de hasta fracciones mínimas de unidad (Rouessac & Rouessac, 2007).

## 2.8 Zona geográfica

Baja California representa el 3.6% de la superficie geográfica de México (Figura 11) con una extensión de alrededor de 71,450 km<sup>2</sup>. Cuenta con un total de 7 municipios, Mexicali, Ensenada, Tecate, Tijuana, Playas de Rosarito, San Quintín y San Felipe, siendo Mexicali la capital del Estado. En 2020, fueron registrados un total de 3,769,020 habitantes (INEGI, 2020).



Figura 11. Superficie de Baja California

### 2.8.1 Clima de Baja California

Las temperaturas rebasan los 30°C cerca del mes de mayo a septiembre siendo uno de los Estados con climas secos (24 %) y muy secos (69 %). La temperatura media anual va de 18°C a 19°C, sin embargo, se han registrado temperaturas superiores a los 45°C (INEGI, 2020) en la ciudad de Mexicali apodándose “la ciudad que capturó al sol”. En la región noroeste del Estado, las lluvias son escasas, con aproximadamente 200 mm de precipitación total anual.

A diferencia del resto del país, donde las lluvias suelen ocurrir en verano, en esta región específica se presentan en invierno. Esta característica climática particular ha favorecido el

cultivo de vid y olivo en este clima seco con lluvias invernales. Aunque la precipitación anual es baja, su principal actividad agrícola es el algodón, trigo, la vid, jitomate, y ajonjolí (INEGI, 2020).

### **2.8.2 Flora y fauna**

Aproximadamente el 80% de la flora en Baja California está constituida por matorrales, en San Pedro Mártir y partes altas de las sierras Juárez son chaparrales y esto corresponde un 9%, 4% son bosques de coníferas y encinos. Por último, el 7% corresponde al suelo del territorio de uso agrícola (INEGI, 2020). Se tiene una gran diversidad de especies animales dependiendo la zona en la que se encuentren. En los bosques se encuentra el murciélago, ardilla, zorra gris, musaraña, gato montés, puma, coyote y venado bura. En las zonas acuáticas se puede encontrar el coral, delfín nariz de botella, delfín común, ballena azul, gris y jorobada; elefante marino, orca, foca común y cachalote. En la mayoría de la región, que son las zonas matorrales está el borrego cimarrón, víbora de cascabel, lagarto, escorpión, correcaminos, zorra del desierto y topo ciego. (INEGI, 2020).

## **2.9 Material vegetal**

### *Larrea tridentata* (gobernadora)

La gobernadora también conocida como creosota, es un arbusto perennifolio de 1 a 3 m de altura, ramificado y nudoso, sus hojas tienen folíolos asimétricos de 1 cm de largo y brillantes con una gruesa capa resinosa secretada por sus estípulas. Como se muestra en la [Figura 12](#), las flores están completas con cinco pétalos amarillos en garras y su fruto es una cápsula redonda recubierta por una concentración de pelos blancos (NaturaLista, 2022).



Figura 12. *Larrea tridentata* (Arbyreed, 2013)

La planta descarga un olor penetrante y tiene un sabor amargo. Es perenne, esto quiere decir que conserva la mayor parte de sus hojas a través de la sequía y las bajas temperaturas dentro de su rango de distribución, sin sufrir daños irreparables (Arteaga *et al.* 2005). El arbusto de creosota es desagradable para el ganado y la mayoría de la vida silvestre, generalmente es tóxico, a veces causando la muerte. La gobernadora es bastante abundante en zonas desérticas de México como San Luis Potosí, Coahuila, Chihuahua, Durango, Sonora, Zacatecas y Baja California, así como en el suroeste Estados Unidos en Arizona, California, Nevada, Texas y Nuevo México (NaturaLista, 2022).

#### *Pluchea sericea* (cachanilla)

La especie vegetal *Pluchea sericea* conocida comúnmente como cachanilla es una planta silvestre mexicana de fresco aroma, el arbusto es de color verde grisáceo y café cenizo, con hojas lanceoladas relativamente pequeñas, de 2-3 cm de largo y 6 mm de ancho, las cuales están cubiertas por unos pelos blancos muy finos que no se perciben a simple vista, pero que le dan un color verde plateado. Sus flores se presentan en un arreglo llamado corimbo tal como se muestra en la [Figura 13](#), sostiene varias flores de color violeta o púrpura muy llamativas. Su periodo de floración es de marzo a julio (NaturaLista, 2022).



*Figura 13. Pluchea sericea (Curtis Clark, 2006)*

Esta planta se encuentra en tierras áridas junto a canales de agua en ecosistemas que presentan registros bajos de lluvia. Es muy común en el valle de Mexicali, Baja California, que se caracteriza por su ambiente seco, caliente y extremoso, donde la humedad del océano Pacífico no logra pasar por la barrera de montañas, difícilmente se adapta a otro tipo de clima (NaturaLista, 2022).

#### *Cáscara de naranja*

La naranja corresponde al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas, este género consta de 20 especies, pero la naranja dulce es el más cultivado. La cáscara de naranja es un subproducto agrícola formado por el albedo (parte interna de la corteza esponjosa y blanca), cáscara (parte externa) y la pulpa, siendo estos sus componentes más importantes (Figura 14). El 1.5% en peso de cáscara de naranja corresponde a aceite esencial, en el cual el monoterpeno d-limoneno es el compuesto mayoritario, teniendo una suave fragancia a limón. En México se producen cerca de 740,000 t de naranja de las cuales 0.083% le corresponden a Baja California, siendo Mexicali el mayor productor del Estado (Ayala *et al.*, 2017).



*Figura 14. Partes importantes del fruto cítrico de la naranja*

### *Eucalipto*

Una descripción general de la especie según CONABIO, en 2016, el eucalipto por su nombre científico *Eucalyptus camaldulensis* es un árbol que alcanza hasta los 60 m de altura, hojas alternas y colgantes de color verde grisáceo que llegan a medir de 8-30 cm con una ligera torción en su punta. Florece entre abril y junio teniendo un fruto en forma de cúpula puntiaguda de 5-8 mm de longitud (Figura 15). Su olor característico se debe a la segregación de aceites esenciales con sus glándulas, que pueden obtenerse por diferentes tipos de extracción. El valle de Mexicali es una de las zonas más importantes para la agricultura en México, y entre las especies cultivadas se registra cerca de 79 ha sembradas de eucalipto.



*Figura 15. Fruto de eucalipto rojo (Leithallb, 2018)*

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Análisis fisicoquímico *Pluchea sericea*

##### 3.1.1 Análisis proximal

El procedimiento del análisis próximo se muestra en la [Figura 16](#). El contenido de humedad se determinó según la norma ASTM-E871, se utilizó una muestra de cachanilla por triplicado y se llevó a un horno de mufla a 45°C por 3 días (American Society for Testing and Materials, 1998). Posterior al análisis de humedad se encuentra el contenido del material volátil que se determinó con base en la norma ASTM-E872 mediante la pérdida de peso resultante del calentamiento de la biomasa menos el porcentaje del contenido de humedad (American Society for Testing and Materials, 2006). Por otra parte, el porcentaje de cenizas lo establece la norma ASTM-E830 y se determinó con la ayuda de una mufla a una temperatura de 580°C durante 4 h (American Society for Testing and Materials, 2004). Finalmente, el contenido de carbono fijo se determinó con la diferencia de los datos anteriores, restando al 100% el valor de %Humedad, %Material Volátil y %Cenizas (Coronado *et al.*, 2020).

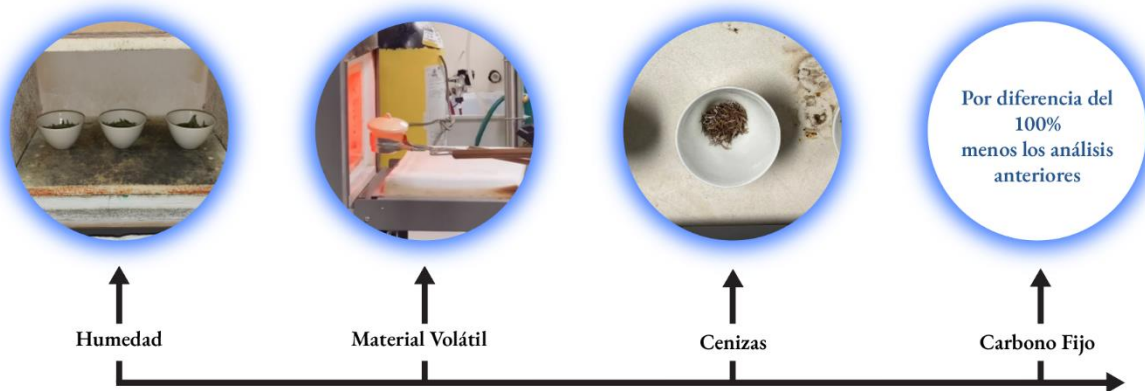


Figura 16. Análisis proximal de *P. sericea*

### 3.1.2 Análisis químico

#### *Extraíbles Totales*

El análisis de extraíbles se divide en dos etapas, extracción con solvente y extracción con agua caliente. La primera etapa se basó en la norma TAPPI-264 cm-07 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007), se adicionaron 200 mL de acetona durante 8 h a un sistema de extracción Soxhlet. La segunda etapa se realizó con base en la norma TAPPI-207 cm-99 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1999) en la cual, el material vegetal se pone en contacto directo con el agua a una temperatura de 100°C a baño maría durante 4 h. La ecuación 10 representa la determinación de extraíbles dependiendo el tipo, extraíbles en agua o acetona.  $m_1$ = masa seca/final de solvente y  $m_2$ = masa final de extraíble.

$$\%Extraíbles_{tipo} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad Ec. (10)$$

#### *Lignina*

La extracción de lignina se llevó a cabo con base en la norma ASTM D1106 (American Society for Testing and Materials, 2004). Se preparó una solución de 20 mL de ácido sulfúrico al 72%. Se tomaron 15 mL y se añadieron a un vaso de precipitado de 250 mL con aproximadamente 1 g de cachanilla libre de extraíbles previamente pesado en una balanza analítica. Se colocó en una parrilla giratoria a 400 rpm por 1 min y posteriormente a 200 rpm por 2 h. Transcurrido el tiempo, se pasó la muestra a un matraz Erlenmeyer de 1 L y se adicionaron 560 mL de agua desionizada caliente para cambiar la concentración a 3%. Se montó el equipo de extracción y se colocó la muestra a aproximadamente 108°C durante 4 h.

Terminada la extracción, se dejó reposar para que sedimentara la muestra durante 15 h y se añadieron 500 ml de agua caliente para diluir la solución. Se decantó y después se filtró la

muestra a través de un embudo Büchner con la ayuda de una bomba de vacío y filtro Whatman no. 5 pesado previamente. Finalmente, se secó a 105°C por 4 h. La ecuación 11 representa la determinación de holocelulosa. Siendo  $m_1$  = masa libre de extraíbles y  $m_2$ = masa final.

$$\%Lignina = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad Ec. (11)$$

### *Holocelulosa*

El procedimiento de determinación de holocelulosa se basó en la norma ASTM-D 1104 (American Society for Testing and Materials, 1985). Se pesó la muestra y se dispuso en un matraz de 300 mL junto con 0.2 mL de ácido acético, 1 g de clorito de sodio y 150 mL de agua desionizada. La mezcla se calentó en baño maría a 75°C. Después de cada hora sucesiva, se añadió con agitación 0.22 mL de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, hasta que la muestra quedó completamente separada de la lignina dando una tonalidad amarillenta en el matraz. Se dejó enfriar la muestra y se filtró la holocelulosa en un embudo Büchner hasta que se eliminó el color amarillo y el olor a dióxido de cloro. Posteriormente, se dejó secar a 105°C durante 4 h. La ecuación 12 representa la determinación de holocelulosa. Siendo  $m_1$ = masa libre de extraíbles y  $m_2$ = masa final.

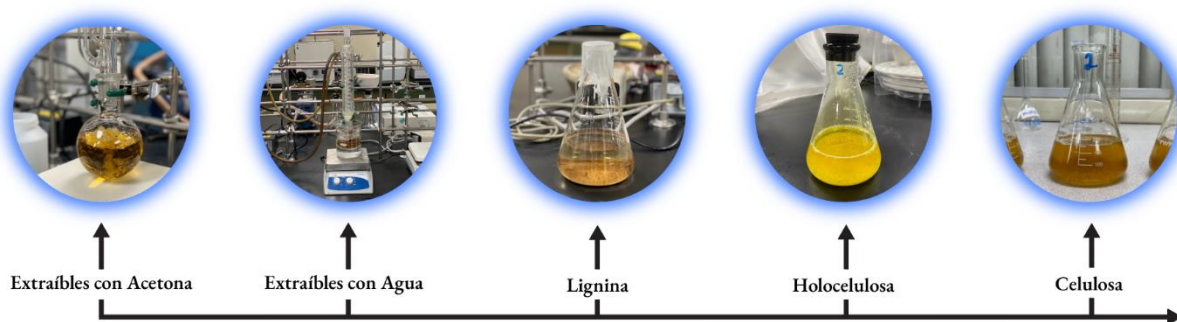
$$\%Holocelulosa = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad Ec. (12)$$

### *Celulosa y hemicelulosa*

La extracción de celulosa se llevó a cabo con base en el procedimiento de Rowell (Rowell *et al.*, 2012). Se dispuso una muestra de aproximadamente 1 g de holocelulosa de *P. sericea* en un matraz de 250 mL y se agregaron 10 mL de hidróxido de sodio al 17.5%, se dejó reposar por 5 min. Posteriormente se agregaron 5 mL de hidróxido de sodio a la misma concentración, cada 5 min por 15 min. Se dejó reposar la muestra por 30 min, se agregaron 33 mL de agua a 20°C y se dejó reposar por 1 h. Se añadieron 100 mL de hidróxido de sodio al 8.3% y 15 mL

de ácido acético al 10% (se agitó en cada adición). La muestra se filtró en embudo Büchner conectado a bomba de vacío con filtro Whatman no. 5, se calentó a 105°C durante 4 h, se dejó enfriar en un desecador y se pesó. El contenido de hemicelulosa y celulosa se determinaron mediante la ecuación 13. La [Figura 17](#) muestra el análisis de composición química. Todos los análisis se hicieron por triplicado.

$$\%Holocelulosa = \%Celulosa + \%Hemicelulosa \quad \text{Ec. (13)}$$



*Figura 17. Análisis de composición química de P. sericea*

### 3.2 Pruebas exploratorias para la obtención de extractos

La técnica ([Figura 18](#)) que se empleó para la obtención de extractos se basó en una adaptación de la metodología de Alves *et al.* (2022), y una que ya se manejaba en el Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos (LBB). En la cual, utilizan como material vegetal las partes aéreas de *Pluchea quitoc* para la estabilidad oxidativa de aceite de soya y maíz. La razón por la cual se implementó es debido al rendimiento que obtuvieron y el solvente utilizado. El valor fue del rendimiento fue de 0.1 (siendo un valor cercano al obtenido para *Pluchea sericea* en el LBB) y el solvente fue una proporción 70/30 solvente-agua, produciendo un extracto hidroalcohólico. El tiempo utilizado para la maceración se basó en otro método donde obtienen extractos hidroalcohólicos de cáscara de naranja para la elaboración de jabón utilizando aceites de cocina usados, el tiempo de maceración en frío fue de 24 h (Cheng *et al.*, 2023). Se recolecto el material

vegetal y posteriormente se secó a 105°C durante la noche. Una vez transcurrido el tiempo de secado, el material vegetal se llevó a molienda hasta formar un polvo fino en un mortero de porcelana. Las partes de la planta que se utilizaron fueron solo las hojas. Se pasó a maceración en metanol a temperatura ambiente durante 4 h. Pasado el tiempo de maceración, el líquido madre se decantó y se filtró en un matraz Kitasato con ayuda de una bomba de vacío a una presión de 600 mmHg con filtro Whatman no. 5.



*Figura 18. Proceso de obtención de extracto de *P. sericea* y *L. tridentata**

### 3.3 Purificación del extracto

Posteriormente, la recuperación del metanol se llevó a cabo por destilación en el equipo de química orgánica Kontes KEM-KIT SEMI-MICRO 19/22 (Figura 19), conectado a un equipo de calefacción para controlar la temperatura del condensador. Una vez transcurrido el tiempo de recuperación, se llevó a una mufla para la purificación del extracto a 75°C.



*Figura 19. Proceso de recuperación de metanol del extracto de *P. sericea**

### 3.4 Pruebas exploratorias de capacidad antioxidante

La solución del estándar para la curva de calibración fue ácido ascórbico de concentración conocida y se preparó para muestras de 2 mL. Se realizaron diluciones sucesivas a partir de la solución madre hasta alcanzar 10 puntos (Figura 20).



*Figura 20. Puntos de para curva de ácido ascórbico*

Se realizó el procedimiento con base en el método descrito por la Universidad Nacional de Colombia en el laboratorio de ciencia de los alimentos con la adaptación de Sagaste (2019). Todas las pruebas se hicieron por duplicado (Figura 21).



*Figura 21. Pruebas exploratorias del análisis de DPPH*

Las muestras se dejaron reaccionar durante 30 min en total oscuridad, transcurrido el tiempo de reacción se midió su concentración en un espectrofotómetro. Todas las muestras de las pruebas exploratorias incluyendo el diseño de experimentos se midieron en el espectrofotómetro de haz único UV-Vis modelo UV-3100PC VWR (Figura 22).

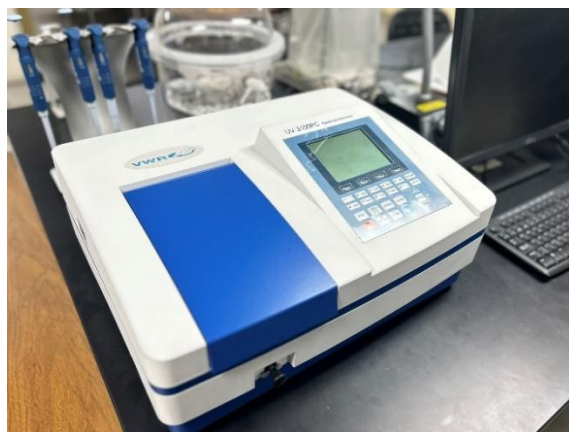


Figura 22. Espectrofotómetro de haz único UV-3100PC VWR

### 3.5 Diseño de experimentos (DOE) de capacidad antioxidante

#### 3.5.1 Obtención de extractos

Se elaboró un diseño factorial  $2^k$  con cuatro variables de respuesta, fenoles totales, FRAP, ABTS y DPPH. Tres factores, tipo de material vegetal, temperatura y tiempo. El experimento tuvo 8 puntos por duplicado. Los niveles de los factores se propusieron mediante el tipo de macerado, ya que el macerado en frío ronda entre 4-24 h (o más) a temperatura ambiente. El macerado en caliente se realiza de 4-6 h a temperaturas de entre 35-60°C (Saz, 2017). La desventaja de los macerados en caliente a pesar de ser más rápidas es que pueden alterar la composición molecular de algunos compuestos (Desarrollos Alimentarios, 2016) por lo que los niveles propuestos para la obtención de extractos fueron 4-8 h con temperaturas de 20-40°C.

#### 3.5.2 Fenoles totales

El análisis de fenoles totales se llevó a cabo mediante la técnica de Folin-Ciocalteu descrita por el laboratorio de ciencia en alimentos de la Universidad Nacional de Colombia bajo el Protocolo 2021 adecuado a una muestra de 2 mL en condiciones estándares y total oscuridad. Las muestras a diferentes concentraciones con reactivo Folin-Ciocalteu para la selección de la

concentración óptima para el análisis se pueden ver en la [Figura 23](#). Las muestras después de reaccionar con el reactivo deben tener una coloración entre azul y verde cristalino como se muestran en la [Figura 24](#).



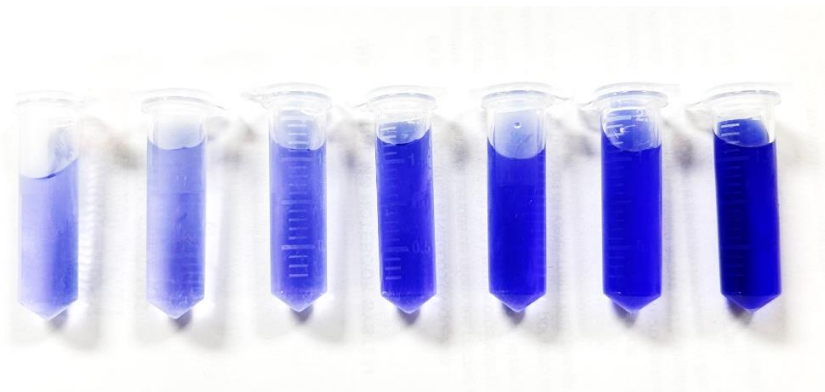
*Figura 23. Diferentes diluciones de muestras con reactivo Folin-Ciocalteu*



*Figura 24. Muestras del análisis de fenoles totales*

### **3.5.3 Reducción férrica de plasma (FRAP)**

En este análisis se evaluó la capacidad antioxidante mediante el procedimiento realizado por la Universidad Nacional de Colombia adecuado a condiciones estándar y 2 mL de muestra, midiendo su absorbancia a 590 nm en el equipo espectrofotometría mencionado anteriormente. En la [Figura 25](#) se observan algunas de las muestras utilizadas para determinar la concentración óptima para el análisis.



*Figura 25. Diferentes diluciones de muestras con reactivo FRAP*

#### **3.5.4 Determinación de análisis de ABTS**

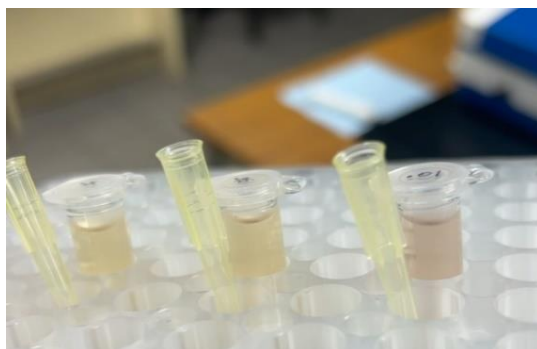
Se realizó el método mediante el protocolo de ABTS utilizado por la Universidad Nacional de Colombia en el laboratorio de ciencia de los alimentos con la adaptación de volumen de muestra de 2 mL (por el tipo de equipo) a temperatura ambiente y total oscuridad. Todas las pruebas se hicieron por duplicado, el procedimiento se muestra en la [Figura 26](#).



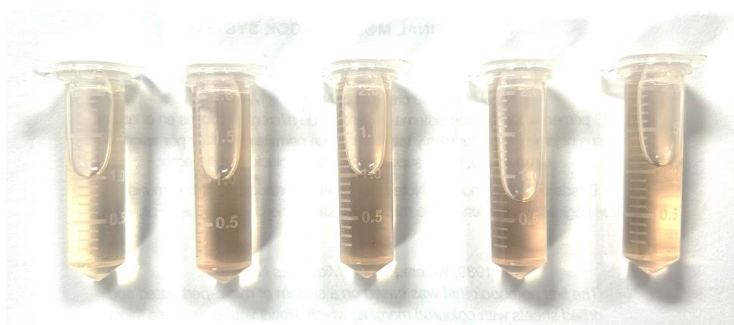
*Figura 26. Muestras del análisis ABTS*

#### **3.5.5 Determinación de análisis de DPPH (secuestro de radicales)**

Se realizó el procedimiento descrito en el apartado 3.4 el cual se adecuó para trabajar bajo condiciones estándar. Para encontrar la concentración ideal se realizaron varias diluciones ([Figura 27](#)). El color óptimo de algunas muestras se observa en la [Figura 28](#).

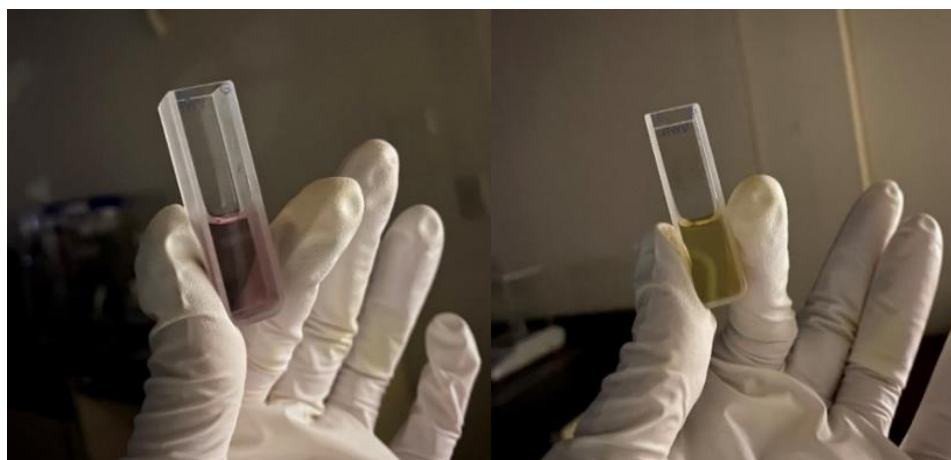


*Figura 27. Diferentes diluciones de muestras con reactivo DPPH*



*Figura 28. Muestras del análisis de DPPH*

Las muestras se dejaron reaccionar durante 30 min en total oscuridad (Figura 29) pasando de un color morado a amarillo claro. Transcurrido el tiempo de reacción, se determinó la concentración del radical DPPH mediante la curva de calibración.



*Figura 29. Muestra antes y después del secuestro de radicales*

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Obtención de extractos

A continuación, se muestra en la [Tabla 1](#) las siglas para identificar los extractos en este trabajo. Las filas sombreadas en azul son los resultados del extracto hidroalcohólico de gobernadora y cachanilla (EHGC), siendo la principal contribución del presente trabajo.

Tabla 1. Nombre para cada tipo de extracto

Siglas	Descripción
EEC	Extracto hidroalcohólico de cachanilla (etanol)
EHG	Extracto hidroalcohólico de gobernadora (metanol)
EHC	Extracto hidroalcohólico de cachanilla (metanol)
EHGC	Extracto hidroalcohólico de gobernadora y cachanilla (metanol)

Todos los solventes se trataron al 70%

Los rendimientos de los extractos obtenidos se encuentran en la [Tabla 2](#), los bajos rendimientos obtenidos se pueden deber a diversos factores como la selección del material vegetal. Otro factor podría ser la temperatura del ambiente, en esa temporada las temperaturas superaban los 38°C. La variabilidad de la zona podría también afectar ya que, se ha recolectado de diferentes arbustos y lugares. Y por último el tipo de solvente para cada material vegetal, en este caso, metanol y etanol.

Tabla 2. Rendimientos de diferentes tipos de extractos

Tipo	Material vegetal (g)	V <sub>S</sub> (mL)	V <sub>E</sub> (mL)	Rendimiento (mL/g)	Rendimiento (mL/g) (Sagaste <i>et al.</i> , 2015)
EEC	44	260	5.5	0.125	0.120
EHC	70	400	3.7	0.053	0.13
EHG	78.9	455	10	0.126	0.17
EHGC	120	690	6.25	0.052	-

Anteriormente, se utilizó la técnica para el extracto con solvente puro (siendo la metodología original en el LBB), sin embargo, debido a la dificultad para trasvasar, se optó por usar extractos hidroalcohólicos (70/30 solvente-agua). Se encontró que la manejabilidad del extracto resultó más fácil al medir los volúmenes finales y se pudo calcular su densidad (Tabla 3) usando la ecuación 14.

$$\rho = \frac{m - m_0}{V} \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde

$$\rho = \text{densidad} \left( \frac{g}{mL} \right)$$

$$m = \text{masa final (g)}$$

$$m_0 = \text{masa del recipiente (g)}$$

$$V = \text{Volumen (mL)}$$

Tabla 3. Densidad de extractos obtenidos

Material vegetal	Volumen (mL)	Masa (g)	Densidad $\left(\frac{g}{mL}\right)$
EHC	5.50	6.38	1.16
EHG	10	11.11	1.11
EHGC	6.25	7.19	1.15

## 4.2 Pruebas exploratorias de capacidad antioxidante

La disminución de la absorbancia indica que el radical se ha reducido, por lo tanto, existe mayor actividad antioxidante. Esta actividad antioxidante se calcula con el porcentaje de inhibición (%Inh) siendo el porcentaje de disminución de la absorbancia del extracto a la concentración dada, dicho porcentaje se calculó con la ecuación 15.

$$\%Inh = \left( 1 - \frac{A_{Muestra} - A_{Blanco-Muestra}}{A_{Muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (15)}$$

El resultado es expresado con la ayuda de un antioxidante conocido en este caso, ácido ascórbico. Para ello, se elaboró una curva de calibración de concentraciones conocidas la cual, presentó una linealidad de  $R^2=0.9754$ , lo que indica que los datos son confiables. Los resultados obtenidos de las pruebas exploratorias de DPPH % se pueden observar en la [Tabla 4](#).

Tabla 4. Porcentaje de inhibición del radical DPPH de los extractos

Material vegetal	Disoluciones					
	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
EHC	78	83	16	2	0	0
EHG	96	79	84	28	3	2
EHGC	96	82	85	18	5	3

El motivo del análisis fue determinar en qué concentración existe un valor aceptable de capacidad antioxidante, dichos valores oscilan entre las concentraciones de  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  si bien, el extracto EHC tiene menor capacidad antioxidante que EHG y EHGC, sin embargo, estas últimas tienen valores muy similares en cuestión de % Inh.

### 4.3 Análisis fisicoquímico

#### 4.3.1 Análisis proximal

El análisis proximal de *P. sericea* presentó un contenido de humedad del 56.56% que con base en la literatura un porcentaje arriba del 30-40% se considera alto. Se obtuvo 33.59% de material volátil lo cual se considera aceptable. El contenido de cenizas fue de 4.46%, un bajo contenido de cenizas indica buena combustión por lo que podría ser apto para bioenergéticos. Sin embargo, se debe considerar el alto contenido de humedad ya que, se descartaría la combustión directa y debería pasar por pretratamientos, lo que genera costos adicionales al proceso. Finalmente, el porcentaje de carbono fijo se calculó restando al 100% las composiciones anteriores, obteniendo 5.39%. Los resultados del análisis proximal de *P. sericea*

se muestran en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Análisis proximal de *P. sericea*





Análisis	Composición (% en Peso)	Desviación estándar (%)
Humedad	56.56	0.62
Material Volátil	33.59	0.64
Cenizas	4.46	0.31
Carbono Fijo	5.39	0.16

#### 4.3.2 Análisis de composición química

Se obtuvieron 12.37% de extraíbles en acetona y 26.45% de extraíbles en agua, este porcentaje se considera bajo, lo que puede indicar que no presenta aceite esencial en su composición, o al menos no por métodos convencionales como la hidrodestilación. El contenido de lignina resultó de 56.09%, se considera alto. La literatura menciona que, entre mayor sea el contenido de lignina mayor su poder calorífico (De Lucas *et al.*, 2012), pero es un dato importante que considerar para definir la ruta de uso de la biomasa.

Los contenidos de holocelulosa, celulosa y hemicelulosa presentaron una composición de 43.89%, 6.09% y 24.61% respectivamente. Dichos porcentajes se consideran bajos en celulosa y hemicelulosa, esto indica que las hojas de *P. sericea* no son aptas para producción de bioetanol por su bajo contenido de azúcares. La [Tabla 6](#) muestra los resultados del análisis de composición química de *P. sericea*.

Tabla 6. Análisis de composición química de *P. sericea*

Análisis	Imagen	Composición (% en Peso)	DS (%)
Extraíbles Totales		38.81	0.72
Lignina		56.09	2.33
Holocelulosa		43.89	1.40
Celulosa		62.09	0.76
Hemicelulosa	Por diferencia.	24.61	2.33

DS: Desviación estándar

#### 4.4 Diseño de experimentos (DOE) de capacidad antioxidante

En el presente trabajo se elaboró una mezcla de extractos de cachanilla y gobernadora para medir su capacidad antioxidante y definir si existe o no diferencia entre ellas. Se analizan fenoles totales, capacidad de reducción del ion férrico (FRAP), capacidad de secuestro de radical libre (Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etiltiazolina-bencenosulfónico-6)) y la capacidad de captación del radical libre DPPH (1,1.-difeníl-2-picrihidracilo). Los extractos que se trataron fueron EHGC (tipo 1) y EHG (tipo 2). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.

Las fuentes que se utilizaron para determinar los factores y niveles del diseño de experimentos se presentan en la [sección 3.5](#).

Tabla 7. Capacidad antioxidante de extractos tipo 1 (EHGC) y 2 (EHG)

Tipo	Temperatura °C	Tiempo h	Fenoles (mg de Ac Ascórbico/ 100 g de extracto)	FRAP (mg de Ac Ascórbico/ 100 g de extracto)	ABTS %	DPPH %
1	40	4	145,247.53	323,482.93	21.59	12.79
2	40	4	196,504.99	459,435.35	33.20	21.47
1	20	8	135,347.53	341,080.23	24.27	15.86
1	40	8	91,757.24	243,821.28	18.24	10.81
1	20	4	98,179.99	230,571.55	14.69	10.54
1	20	8	125,442.92	369,148.85	26.63	15.62
1	20	4	125,072.05	323,907.85	23.28	15.24
2	20	4	197,011.22	524,493.73	35.35	22.59
2	20	8	128,396.24	440,529.35	31.27	19.46
2	20	8	192,836.95	557,416.50	40.68	23.89
2	40	8	171,403.02	467,774.58	31.53	18.61
2	40	8	115,780.28	406,761.33	34.19	20.02
1	40	4	114,161.65	331,346.63	24.05	13.32
2	40	4	152,161.22	369,069.50	28.27	17.07
1	40	8	118,771.89	319,330.28	24.51	14.00
2	20	4	166,574.40	444,333.55	38.64	47.61

%%: Porcentaje de inhibición (%Inh)

#### 4.5 ANOVA actividad antioxidante

A continuación se presentan las siguientes tablas ANOVA de todos los análisis (Tablas 8,9,10,11). El valor F está sombreado en color azul para su fácil observación en cada análisis. El diseño de experimentos y las gráficas que se presentan se elaboraron con el software Minitab® 19.

Tabla 8. Análisis de varianza de fenoles totales

Fuente	GL	SC	Sec. Contribución	SC Ajust.	MS Ajust.	Valor F	Valor P
Tipo	1	8403732895	48.30%	8403732895	8403732895	10.62	0.012
Temperatura	1	248641453	1.43%	248641453	248641453	0.31	0.590
Tiempo	1	829108617	4.77%	829108617	829108617	1.05	0.336
Tipo*Temperatura	1	75973559	0.44%	75973559	75973559	0.10	0.765
Tipo*Tiempo	1	534692726	3.07%	534692726	534692726	0.68	0.435
Temperatura*Tiempo	1	696286369	4.00%	696286369	696286369	0.88	0.376
Tipo*Temperatura*Tiempo	1	282979642	1.63%	282979642	282979642	0.36	0.566
Error	8	6328335801	36.37%	6328335801	791041975		
Total	15	17399751061	100.00%				

Tabla 9. Análisis de varianza del análisis FRAP

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MS Ajust.	Valor F	Valor P
Tipo	1	88079006478	67.98%	88079006478	88079006478	29.83	0.001
Temperatura	1	6024078523	4.65%	6024078523	6024078523	2.04	0.191
Tiempo	1	1211410648	0.93%	1211410648	1211410648	0.41	0.540
Tipo*Temperatura	1	2943198127	2.27%	2943198127	2943198127	1.00	0.347
Tipo*Tiempo	1	7670061	0.01%	7670061	7670061	0.00	0.961
Temperatura*Tiempo	1	3321078589	2.56%	3321078589	3321078589	1.12	0.320
Tipo*Temperatura*Tiempo	1	4367232181	3.37%	4367232181	4367232181	1.48	0.259
Error	8	23619911239	18.23%	23619911239	2952488905		
Total	15	1.29574E+11	100.00%				

Tabla 10. Análisis de varianza del análisis ABTS %

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MS Ajust.	Valor F	Valor P
Tipo	1	574.375	72.21%	574.375	574.375	35.99	0.000
Temperatura	1	23.083	2.90%	23.083	23.083	1.45	0.264
Tiempo	1	9.389	1.18%	9.389	9.389	0.59	0.465
Tipo*Temperatura	1	20.890	2.63%	20.890	20.890	1.31	0.286
Tipo*Tiempo	1	3.842	0.48%	3.842	3.842	0.24	0.637
Temperatura*Tiempo	1	5.670	0.71%	5.670	5.670	0.36	0.568
Tipo*Temperatura*Tiempo	1	30.524	3.84%	30.524	30.524	1.91	0.204
Error	8	127.679	16.05%	127.679	15.960		
Total	15	795.453	100.00%				

Tabla 11. Análisis de varianza del análisis DPPH %

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MS Ajust.	Valor F	Valor P
Tipo	1	425.86	37.53%	425.86	425.86	9.74	0.014
Temperatura	1	114.14	10.06%	114.14	114.14	2.61	0.145
Tiempo	1	31.24	2.75%	31.24	31.24	0.71	0.422
Tipo*Temperatura	1	56.38	4.97%	56.38	56.38	1.29	0.289
Tipo*Tiempo	1	60.68	5.35%	60.68	60.68	1.39	0.273
Temperatura*Tiempo	1	24.84	2.19%	24.84	24.84	0.57	0.473
Tipo*Temperatura*Tiempo	1	71.97	6.34%	71.97	71.97	1.65	0.235
Error	8	349.65	30.81%	349.65	43.71		
Total	15	1134.76	100.00%				

Los análisis de fenoles totales, FRAP, ABTS % y DPPH % obtuvieron valores F críticos de 10.62, 29.83, 35.99 y 9.74 respectivamente. El ANOVA determinó que el único factor significativo en cada análisis es el tipo de extracto, lo que significa que tanto la temperatura como el tiempo no son factores que afecten la actividad antioxidante.

### 4.5.1 Gráficas DOE

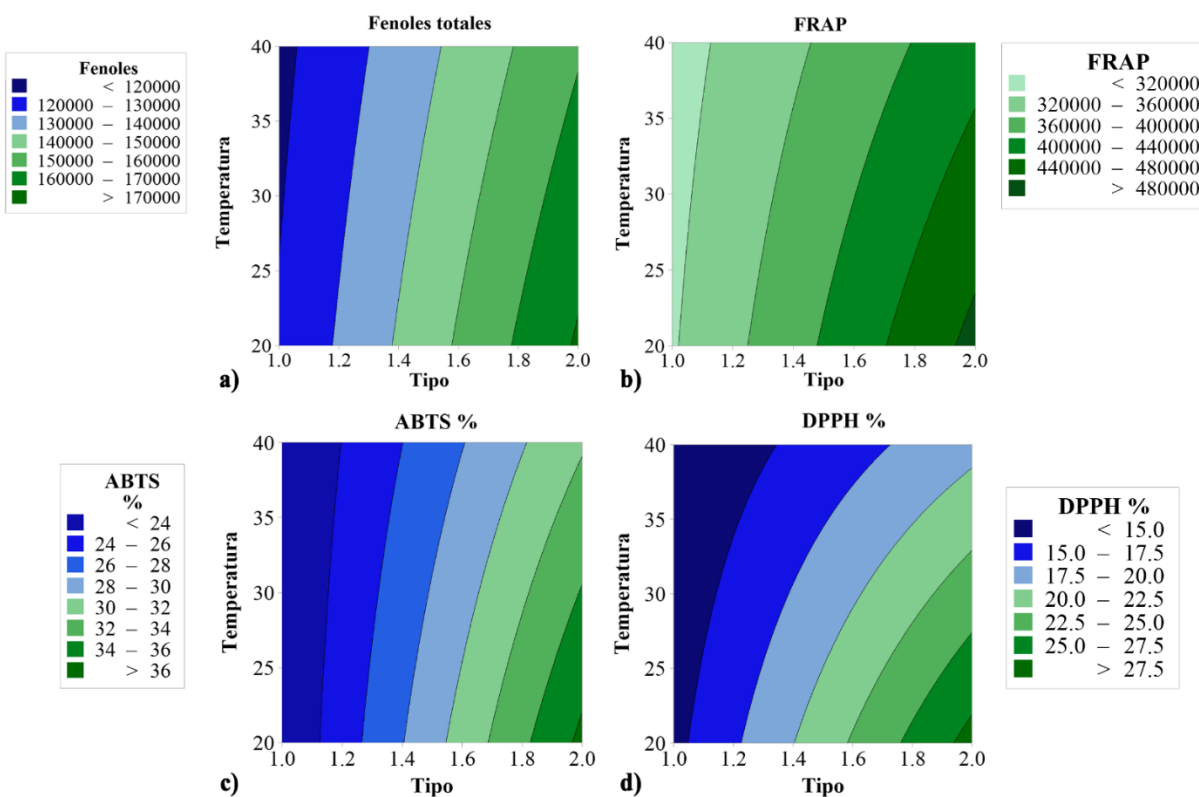


Figura 30. Gráfica de contorno “tipo-temperatura” de a) fenoles totales, b) FRAP, c) ABTS% y d) DPPH%

La gráfica de contorno “tipo-temperatura” que se muestra en la [Figura 31](#) indica los valores fijos entre los valores de 40°C y 20°C del diseño de experimentos. Ejemplo, para el análisis DPPH % ([Figura 30, d](#)) una combinación 80-20 extracto EHGC mantendría un %Inh de entre 22.5-25.0 en un rango de temperatura de 20-32.5°C. En la mayoría de los análisis el rango de temperatura no varía con la concentración del extracto. Cabe mencionar que el extracto EHG obtuvo la mayor capacidad antioxidante a 20°C. Por lo que es un indicador de que el mejor proceso corre a temperatura ambiente.

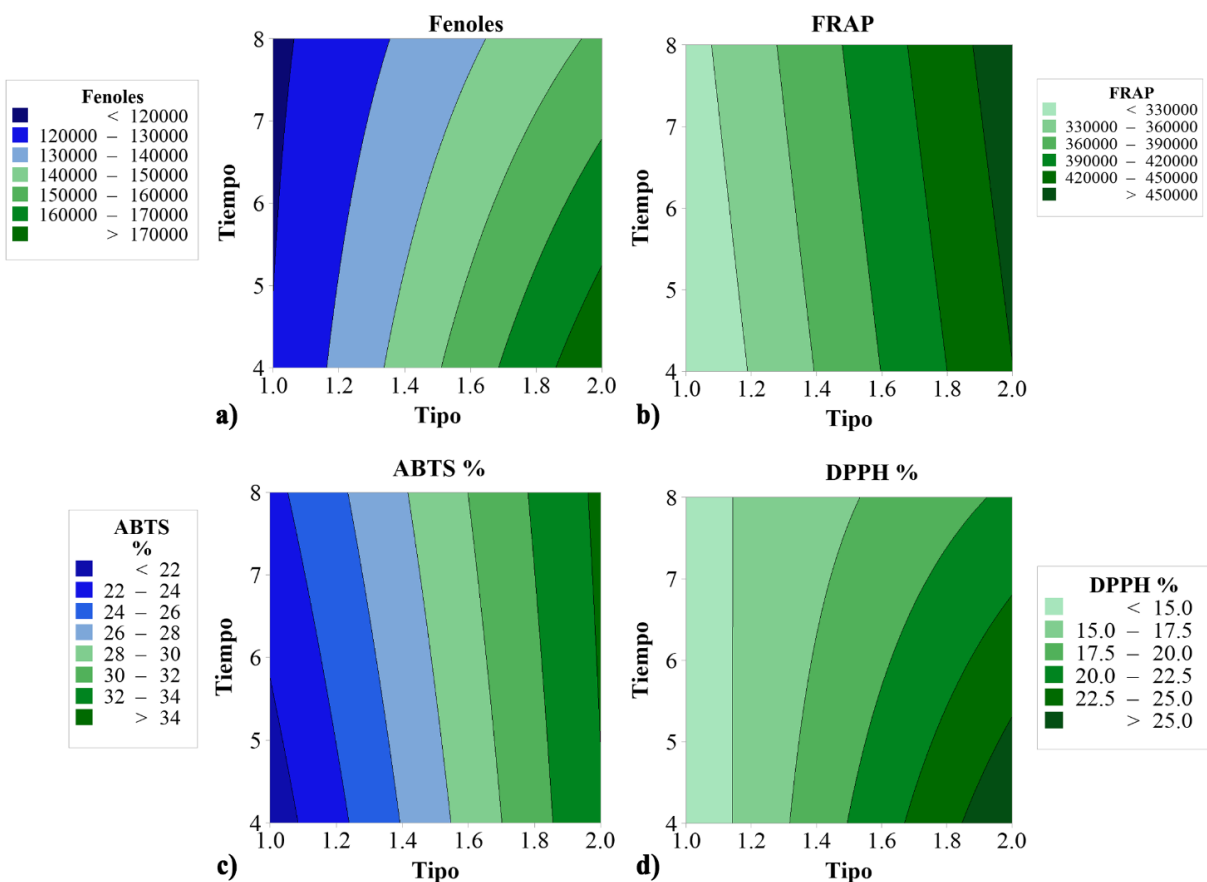


Figura 31. Gráfica de contorno “tipo-tiempo” de a) fenoles totales, b) FRAP, c) ABTS% y d) DPPH%

La gráfica de contorno “tipo-tiempo” que se muestra en la Figura 31 indica los valores fijos entre los valores de 8 h y 4 h del diseño de experimentos, ejemplo, para el análisis de fenoles totales (Figura 31, a) una combinación 70-30 extracto EHGC mantendría un nivel de 140,000-150,000 mg de Ác. ascórbico/100 g de extracto en cualquier rango de tiempo. Sin embargo, para un extracto puro de gobernadora el tiempo óptimo es de 4 h.

De igual manera, en el análisis FRAP (Figura 31, b) cada valor fijo entre los valores máximos y mínimos no difiere entre concentración y tiempo, ya que a cualquier concentración obtendrá la misma capacidad antioxidante. Ejemplo, a una concentración 80-20 extracto cachanilla-gobernadora tendrá la misma capacidad antioxidante de 390,000-420,000 mg de Ác. Ascórbico/100 g de extracto en 4 h como en 8 h.

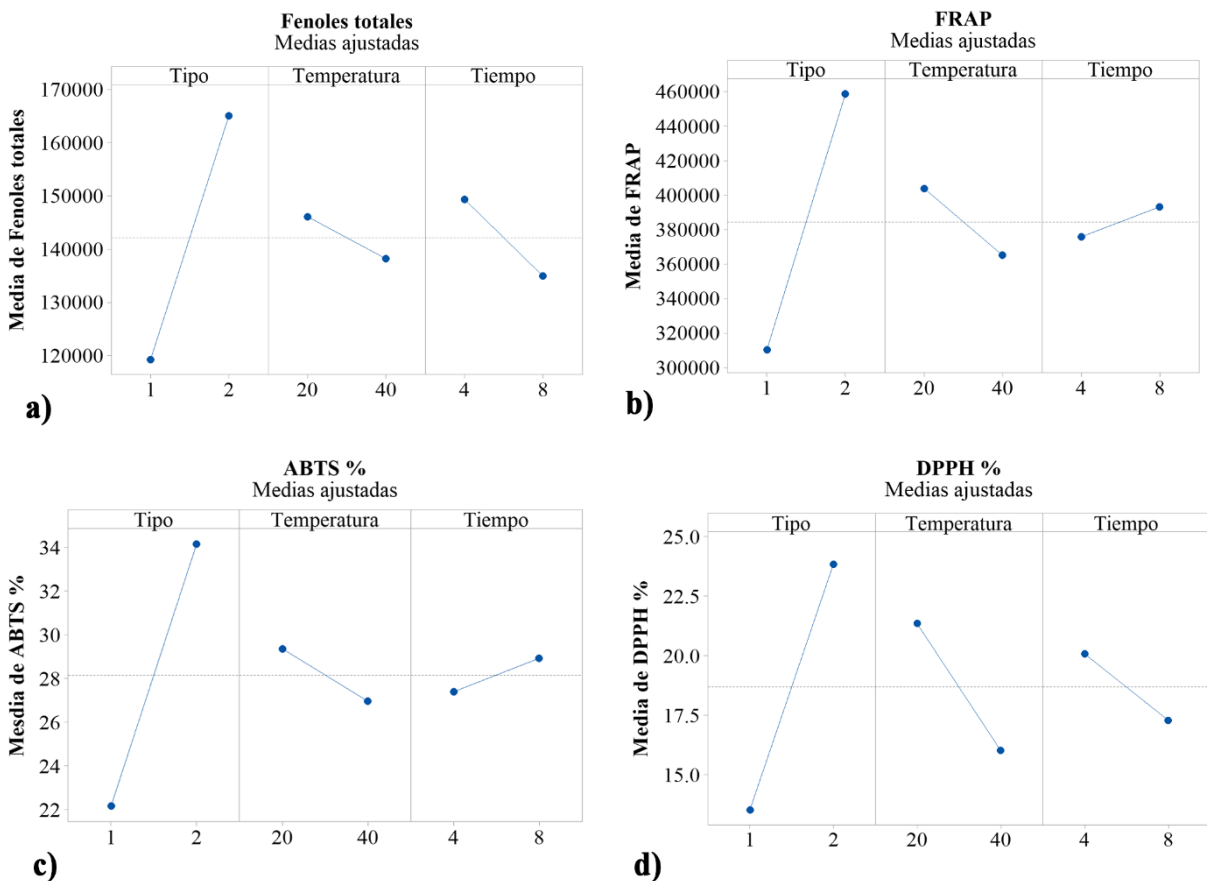


Figura 32. Gráficas factoriales de cada análisis

La Figura 32 muestra las gráficas factoriales de cada análisis, las cuales nos indican qué combinaciones entre los factores son las mejores para lograr mayor actividad antioxidante. Sin embargo, no se puede generalizar una combinación en específica, ya que difiere para cada análisis el tiempo de macerado. En el análisis de fenoles totales (Figura 32, a) la mejor combinación fue extracto tipo 2 (EHG) con una temperatura de 20°C en un tiempo de 4 h. En el análisis FRAP la mejor combinación fue, extracto tipo 2 con una temperatura de 20°C en un tiempo de 8 h. El análisis ABTS % obtuvo la misma combinación que fenoles totales, y el análisis de DPPH % obtuvo la misma combinación que FRAP. Por lo que se puede concluir que la maceración en frío para el EHG es la mejor técnica para obtener mayor capacidad antioxidante.

## 5. CONCLUSIONES

En las pruebas exploratorias de DPPH el %Inh de extractos EHG fue mayor que extractos de EHGC, sin embargo, la diferencia entre los dos fueron valores cercanos. Además, en la maceración y purificación se pudo observar que la cachanilla disminuyó considerablemente el fuerte olor que emana la gobernadora, de igual manera el color era ligeramente más claro. Otra característica importante fue la textura ya que, resultó mucho más fácil transportar el extracto EHGC de un material a otro (el extracto EHG es muy pegajoso y difícil de trasvasar).

Los análisis fisicoquímicos arrojaron resultados favorables para el uso de la biomasa de hojas de *P. sericea* como fuente para productos de valor agregado. Sin embargo, de acuerdo con el contenido de humedad se puede descartar su uso para bioenergéticos ya que, alto contenido de humedad impide la combustión directa.

Los rendimiento obtenidos de extractos EHC ( $R= 0.053$ ) y EHGC ( $0.052$ ) son bajos pero aceptables, las posibles causas de un bajo rendimiento pudo ser la poca cantidad de material vegetal inicial, la relación masa-solvente y el tipo de material. Otro factor importante es la textura del extracto ya que, tiene la característica de ser bastante pegajoso fue muy difícil de manejar al trasvasar para medir su volumen. Una posible solución para mejorar el rendimiento puede ser pesar el extracto en relación con su densidad. Se espera obtener mayor rendimiento con algunas modificaciones en la metodología. El rendimiento del extracto EEC ( $R= 0.125$ ) fue mayor que el extracto EHC, esto puede deberse al tipo de solvente que se utilizó para cada uno.

También, se intentó obtener extractos hidroalcohólicos de eucalipto y cáscara de naranja para su estudio, sin embargo, no se obtuvieron resultados favorables con las técnicas de maceración propuestas.

El diseño de experimentos demostró que el proceso óptimo para obtener la mayor actividad antioxidante de gobernadora fue la maceración en frío (20°C) en un tiempo de 4 h para los análisis de fenoles totales y ABTS, y 8 h para los análisis FRAP y DPPH.

De igual manera, demostró que el extracto EHG tienen mayor actividad antioxidante que el extracto EHGC. Lo que significa que la cachanilla no es un candidato apropiado para mezclarse con extractos de gobernadora. Sin embargo, la adición de extractos de cachanilla en extractos de gobernadora mejora considerablemente sus características organolépticas tales como olor, color y textura. Se espera encontrar un material vegetal adecuado que en combinación con la gobernadora mantenga sus propiedades antioxidantes.

## 6. *REFERENCIAS*

1. Abasolo, C. (2019). Clasificación de antioxidantes alimentarios. BTSA. <https://www.btsa.com/clasificacion-de-los-antioxidantes-alimentarios-antioxidantes-primarios/>
2. Agarwal, S., Singhal, S., Singh, M., Arora, S., & Tanwer, M. (2018). Role of antioxidants in enhancing oxidation stability of biodiesels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(8), 11036–11049. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b02523>
3. Alves, M. M., Coutinho, E. J., Klein, A. F. N. V., Santos, M. N., Facco, J. T., Rosa, M. S., Fuzinato, M. M., Martelli, S. M., Fiorucci, A. R., Cardoso, C. A. L., & Simionatto, E. (2022). Oxidative stability of soybean and corn oils enriched with *Pluchea quitoc* hydroalcoholic extract. *Grasas y aceites*, 73(1), e440. <https://doi.org/10.3989/gya.1122202>
4. American Society for Testing and Materials. (2006). Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. ASTM Standards. West Conshohocken, PA, USA. E872–E882
5. American Society for Testing and Materials. (2004). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse Derived Fuel. ASTM Standards. West Conshohocken, PA, USA. E830–E887
6. American Society for Testing and Materials. (1998). Standard Method for Moisture

Analysis of Particulate Wood Fuels. ASTM Standards. West Conshohocken, PA, USA.  
E871–E882

7. Anwar, F., Abdul Qayyum, H. M., Ijaz Hussain, A., & Iqbal, S. (2010). Antioxidant activity of 100% and 80% methanol extracts from barley seeds (*Hordeum vulgare* L.): stabilization of sunflower oil. *Grasas y aceites*, 61(3), 237–243. <https://doi.org/10.3989/gya.087409>
8. Arteaga, S., Andrade-Cetto, A., & Cárdenas, R. (2005). *Larrea tridentata* (Creosote bush), an abundant plant of Mexican and US-American deserts and its metabolite nordihydroguaiaretic acid. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.02.002>
9. Ayala, J. R., Montero, G., Campbell, H. E., García, C., Coronado, M. A., León, J. A., Sagaste, C. A., & Pérez, L. J. (2017). Extraction and characterization of orange peel essential oil from Mexico and United States of America. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20(4), 897–914. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2017.1364173>
10. Bueno J. (2012). *Plantas Aromáticas y Aceites Esenciales: Estudio y Aplicaciones*. Universidad Industrial de Santander. 217-235 pp.
11. Campbell, M. K., Farrel, S. O. & McDougal, O. M. (2018). *Biochemistry*. Cengage Learning.
12. Carrión, J. A. V., & García, G. C. R. (2010). *Preparación de extractos vegetales:*

determinación de eficiencia de metódica. Universidad de Cuenca. Ecuador.

13. Cedeño, A., Moreira, C., Muñoz, J., Muñoz, A., Pillasaguay, S., & Riera, M. A. (2019). COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESTILACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 6(1). <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2151021002/html/>
14. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). ¿Qué es la grasa? [cdc.gov. https://www.cdc.gov/diabetes/prevention/pdf/spanish/sp\\_posthandout\\_session2.pdf](https://www.cdc.gov/diabetes/prevention/pdf/spanish/sp_posthandout_session2.pdf)
15. Cerpa, M., Mato, R., & Cocero, M. (2007). Hidrodestilacion de aceites esenciales. Modelado y caracterización. *AIChE Journal*, 54(4), 909-917.
16. Cheng, G., Zhang, M., Lu, Y., Zhang, Y., Lin, B., & Von Lau, E. (2023). A novel method for the green utilization of waste fried oil. *Particuology*, 84, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.02.019>
17. Coronado, M. A., Montero, G., Montes, D. G., Valdez-Salas, B., Ayala, J. R., García, C., Carrillo, M., León, J. A., & Moreno, A. (2020). Physicochemical characterization and SEM-EDX analysis of brewer's spent grain from the craft brewery industry. *Sustainability*, 12(18), 7744. <https://doi.org/10.3390/su12187744>
18. Cuevas González, M. F., Flores Martínez, H., León Campos, C., & Lopez Muraira, I. G. (2023). Efecto antioxidante de polifenoles presentes en bagazo residual de orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en aceite vegetal de girasol. *Revista bio*, 10(1468).

<https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1468>

19. De Lucas, A., Del Peso, C., García, E., & Paniagua, P. (2012). BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
20. Desarrollos Alimentarios, S. A. (2016). ¿QUÉ ES MACERAR? Frumen. <https://www.frumen.com/que-es-macerar/>
21. Devi, A., Das, V. K., Deka, D., & Singh, R. P. (2022). Application of orange peel extract (op) as antioxidant additive for enhancing oxidation stability of biodiesel. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4252415>
22. Dyer, J. R. (1973). Aplicaciones de espectroscopia de absorción en compuestos orgánicos. Prentice Hall Direct.
23. Esquivel, A., & Vargas-Aguilar, P. (2007). Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales. Revista Tecnología En Marcha, 20(4). [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/450](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/450)
24. Esquivel, R. A., Castañeda, O. A., & Ramírez, G. J. (2014). Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud. Pãdi, 2(3). <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n3/e3.html>

25. Freitas, J. P. A., França, F. R. M., Silva, M. S., Toms, R. J., & Silva, G. F. da. (2019). Evaluation of antioxidant activity of natural extracts on the oxidative stability of cottonseed biodiesel. *Brazilian journal of chemical engineering*, 36(2), 905–911. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190362s20180308>
26. García, M. E. M., Fernández, S. I., & Fuentes, L. A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Universidad Politécnica de Valencia.
27. Gary, C. D. (2009). *Química analítica*. McGraw-Hill.
28. Giusti, M., & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy*.
29. Gómez, Y. M., Janczuk, L., & Rocca, P. D. (Eds.). (2007). *Antioxidantes naturales adicionados al aceite de maíz y sus emulsiones en agua para retardar su oxidación* (Vol. 5, Número 2). PROYECCIONES, Facultad Regional Buenos Aires.
30. Guerra, A., Cano, T. M., & Cruz, S. (2005). Obtención, caracterización y evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los extractos fluidos, blandos y secos, así como de las tinturas del rizoma y de la fronda de calahuala (*phlebodium pseudoaureum*) a nivel de laboratorio. Universidad de San Carlos de Guatemala.
31. Guevara, M., Zapata Vívenes, E., León, M., & Acosta, M. (2019). Actividad

- antioxidante de un aceite vegetal enriquecido con la microalga cultivada *Dunaliella salina* (Chlorophyceae). *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura.*, 1(1), 40. <https://doi.org/10.33936/at.v1i1.2150>
32. Gutiérrez, A. (2017). Determinación de la capacidad antioxidante de vinos tintos. Efecto de la maceración con subproductos de la industria enológica [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66482/Guti%C3%A9rrez%20Lorenzo%2C%20Andr%C3%A9s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. Harvey, D. (2000). *Modern analytical chemistry*. McGraw-Hill Publishing.
34. Huet, B. C. (2017). *Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en muestras biológicas*. Universidad Complutense. Madrid.
35. INEGI. (2020). Superficie. Baja California. Cuéntame de México. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/>
36. Kleinberg, M. N., Rios, M. A. S., Buarque, H. L. B., Parente, M. M. V., Cavalcante, C. L., Jr, & Luna, F. M. T. (2019). Influence of synthetic and natural antioxidants on the oxidation stability of beef tallow before biodiesel production. *Waste and Biomass Valorization*, 10(4), 797–803. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0120-x>
37. Labster. (2024). Componentes del espectrofotómetro. Labster.com. Consultado en: 2024. <https://theory.labster.com/es/spec-components/>

38. Llorca, J. (2016). Aceite de girasol alto oleico. Soy como como. <https://soycomocomo.es/reportajes/aceita-de-girasol-alto-oleico>
39. Mira, S. M. D., Sánchez, J. C., & Morillas, R. J. M. (2019). Uso de extractos de romero y otras fuentes vegetales como antioxidantes tecnológicos en aceites alimentarios. Estudio comparativo de eficacia frente a antioxidantes sintéticos. Relación estructura-actividad. Tesis Doctoral. Universidad Católica de Murcia. <https://core.ac.uk/download/pdf/289138871.pdf>
40. NaturaLista Mexico (2022). Gobernadora (*Larrea tridentata*). Consultado en: 2022. <https://www.naturalista.mx/taxa/68205-Larrea-tridentata>
41. Ndhkala, A., Moyo, M., & Van Staden, J. (2010). Natural Antioxidants: Fascinating or Mythical Biomolecules? *Molecules*, 15(10), 6905–6930. <https://doi.org/10.3390/molecules15106905>
42. Pilot Plant Corporation. (2015). Blogpost: Get in Line! Balancing Your Omega Intake for Optimal Health. Sumalee Boxing Gym. <https://sumaleeboxinggym.com/blogpost-get-in-line-balancing-your-omega-intake-for-optimal-health-pos-pilot-plant-corporation/>
43. Real Academia Española. Extracto vegetal. Diccionario de la lengua española. Consultado en: 2022. <https://dle.rae.es/extracto>

44. Rouessac, F., & Rouessac, A. (2007). Chemical analysis: Modern instrumentation methods and techniques (2a ed.). Wiley-Blackwell.
45. Rubinson, J. F., & Rubinson, K. A. (2001). Analisis instrumental. Pearson Publications Company.
46. Sagaste, C. A., Montero, G., & Coronado, M. (2019). Evaluación de los efectos de extractos vegetales sobre las propiedades del biodiesel. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. México.
47. Sagaste, C. A., Montero, G., & Gochev, V. (2015). Determinación de la Actividad Antimicrobiana de *Pluchea Seríceea* y *Larrea Tridentata*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California. México.
48. Saz, P. (2017). Macerado en frío. El hardware de la cosmetica casera. <https://hardwarecosmetica.wordpress.com/tag/macerado-en-frio/>
49. Senanayake, N. (2018). Enhancing oxidative stability and shelf life of frying oils with antioxidants. American Oil Chemists' Society. <https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/featured-articles/enhancing-oxidative-stability-and-shelf-life-of-frying-oils-with-antioxidants-september-2018?SSO=True>
50. Skoog, D. A., James Holler, F., & Crouch, S. R. (2008). Principios de análisis instrumental (6a ed.). Cengage Learning Editores S.A. de C.V.

51. Spacino, K. R., Borsato, D., Buosi, G. M., & Chendynski, L. T. (2015). Determination of kinetic and thermodynamic parameters of the B100 biodiesel oxidation process in mixtures with natural antioxidants. *Fuel processing technology*, 137, 366–370. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.05.006>
52. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal, Volumen 1*. 3ª ed. Castellón de la Plana: Uversitat Jaume I.
53. Vela, M. L. (2018). *ALTERACIONES DE LOS ACEITES VEGETALES DURANTE LA FRITURA*. Universidad de Sevilla. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82324/TFG\\_MariaLazaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82324/TFG_MariaLazaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
54. Voet, D., Voet, J. G., Pratt, C. W. (2013). *Fundamentals of Biochemistry*. John Wiley & Sons Inc.
55. Wade, L.G. (2012). *Química Orgánica, Vol. 2*. PEARSON EDUCACIÓN
56. Yaakob, Z., Narayanan, B. N., Padikkaparambil, S., Unni K., S., & Akbar P., M. (2014). A review on the oxidation stability of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.055>

## 7. *Anexos*

### 7.2 *Recomendaciones*

#### 7.2.1 *El uso de extractos como antioxidantes en biodiésel*

Los antioxidantes con grupos fenólicos y amina son eficaces para inhibir la oxidación en el biodiésel. Los aditivos más utilizados por la industria para prevenir el daño oxidativo del biodiésel son BHA, BHT, PG, TBHQ. No son recomendables ya que son de origen sintético, incluso son restringidos en ciertos países debido a su daño potencial para la salud humana (Devi, *et al.*, 2022). Por lo que se han buscado alternativas para la elaboración de aditivos antioxidantes provenientes de origen vegetal que pueden ser o no residuos agrícolas.

El extracto de cáscara de naranja (CN) es eficaz para contrarrestar el daño oxidativo del biodiésel, recientemente se realizaron estudios que demuestran el poder antioxidante que tiene este residuo orgánico sobre el biodiésel a partir de aceite de cocina usado (ACO). Un análisis con 7 diferentes concentraciones del material vegetal, siendo la de 500 ppm y 1,000 ppm las más efectivas, se obtuvo un porcentaje de inhibición del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) del 84.4% y 72% respectivamente, ya que la cantidad más concentrada del extracto aumenta la cantidad de componentes fenólicos (Devi, *et al.*, 2022).

Por otra parte, un indicador importante para determinar la estabilidad oxidativa es el periodo de inducción (IP) que se define como el tiempo de aparición de productos de reacción secundarios de los radicales libres (Abasolo, 2019). Un estudio comparativo de TBHQ y extractos de cáscara de papa (CP) adicionadas al biodiésel de Mesua ferrea L. (BMF) o azafrán cobra, con concentraciones de 100 ppm a 250 ppm, los valores de eficacia son muy cercanos. Una mayor cantidad de concentración de extracto de cáscara de papa aumentó la estabilidad oxidativa de 5.95 h hasta 7.02 h lo que justifica el extracto de cáscara de papa como antioxidante natural (Devi, *et al.*, 2018).

Otro estudio comparativo, determinó que el aceite esencial de eucalipto como aditivo antioxidante en biodiésel de tres diferentes materiales, DWSO (aceite de residuos lácteos), BMO (butea frondosa) y BVO (aceite de árbol de orquídea), estaba a la par con el antioxidante sintético BHT. Con 4,000 ppm de aceite esencial de eucalipto, se obtuvo una estabilidad oxidativa de 10 h, 8 h y 8 h respectivamente, mientras que, con el BHT a 3,000 ppm, la estabilidad oxidativa fue de 11 h, 9 h y 9 h respectivamente, mostrando que el antioxidante verde es relativamente menor al de origen sintético (Yetish, *et al.*, 2020).

Por otro lado, la adición de antioxidante a base de extractos de *Moringa oleifera* en biodiésel de *Jatropha*, demostró tener alto poder antioxidante. El periodo de inducción (IP) medido por el biodiésel fue de 2.29 h y con una adición de 1,500 ppm de *Moringa oleifera* dio un tiempo de 15.25 h medido con el método Rancimat (Jeyakumar, *et al.*, 2020). Un análisis del efecto antioxidante del extracto de jengibre (GE) en el biodiésel de *Pongamia pinnata* (PPB) o haba de la India, comprobó por medio del método Rancimat ser un eficaz aditivo antioxidante para la estabilidad oxidativa. Las cuatro concentraciones diferentes (0, 250, 500, 1,000 y 2,000 ppm) aumentaron la estabilidad oxidativa. Los periodos de inducción resultaron 4.03 h, 8.01 h, 11.03 h, 17.24 h y 23.99 h respectivamente, en conclusión, se determinó que a mayor concentración de extracto mayor IP, ya que contiene más grupos “AOH”, los cuales previenen la formación de radicales libres (Devi, *et al.*, 2017).

Otro estudio muestra una formulación de extracto de romero, orégano y albahaca en biodiésel de aceite de soya, utilizando el método acelerado de Rancimat con datos de IP, parámetros cinéticos y termodinámicos frente al tiempo de reacción (entalpía, entropía y energía de Gibbs). Se demostró que todas las mezclas de extractos naturales cumplían con la norma EN14214 que requiere un IP de mínimo 8 h dando resultados de IP de entre 9-10h. Una mezcla de 50:50 de romero y orégano a 7,000 ppm dio como resultado un IP de 10.18 h mientras

que el extracto de albahaca registró 8.02 h, demostrando que la sinergia de la mezcla binaria es mejor aditivo antioxidante relacionado con la IP (Spacino, *et al.*, 2015).

Un estudio comparó con el método Rancimat el líquido de cáscara de nuez de la India (CNSL) con los antioxidantes sintéticos TBHQ y BHT. A 5,000 ppm, el CNSL presentaba un IP de 4.90 h por lo que se descarta ya que no cumple con las especificaciones de la norma EN14214. Por otra parte, los antioxidantes sintéticos TBHQ y BHT, demostraron tener mayor eficacia como inhibidores oxidativos con un resultado de 74.20 h y 85.28 h respectivamente (Kleinberg, *et al.*, 2019).

Un análisis de extracto de catequina, la curcumina y quercetina como aditivos para biodiésel de semilla de algodón, demuestran que cumplen con la norma EN14112, obteniendo un resultado IP de 16 h a 1,500 ppm mostrando mayor capacidad antioxidante en comparación con el antioxidante sintético BHA con 9 h a la misma concentración (Freitas, *et al.*, 2019). Se realizó un estudio sobre el extracto de *Larrea tridentata*, mejor conocida como gobernadora, para determinar el poder antioxidante en el biodiésel de canola. El análisis obtuvo un IP, a 500 ppm, de 16.89 h y para 1,000 ppm de 32.27 h demostrando potencial como antioxidante natural para biodiesel (Sagaste, *et al.*, 2019).

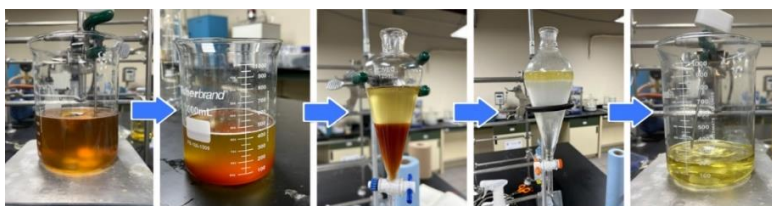
### 7.2.2 Índice de estabilidad oxidativa (OSI)

La valoración del índice de estabilidad oxidativa (OSI) o periodo de inducción (IP) se realiza mediante el método Rancimat, siendo el método habitual y oficial para determinar la estabilidad oxidativa de grasas y aceites de la American Oil Chemists' Society (AOCS). Durante el proceso la muestra se somete a un tratamiento térmico en un rango de 110-130°C. Después, para oxidar, se burbujea aire a través de la muestra que produce algunos gases que se liberan junto con el aire. Los ácidos volátiles gaseosos se producen por oxidación y se absorben en el agua pasando

a un matraz. El matraz tiene un electrodo que está conectado a un dispositivo para medir su conductividad. Aquí, cuando la conductividad comienza a incrementar rápidamente genera una curva de oxidación, el punto de inflexión de esta curva se conoce como período de inducción (Yaakob, *et al.*, 2014).

### 7.2.3 Preparación de biodiesel

El aceite utilizado para la producción de biodiesel en el presente avance fue de la marca comercial Canoil. La relación de alcohol y aceite es 1:5, por 400 mL que se utilizaron de aceite vegetal de canola se requirieron 80 mL de alcohol, en este caso metanol. La solución del catalizador se preparó con 1.422 g de hidróxido de sodio (NaOH) ya que, por cada litro de aceite se necesitan 3.5 gramos de NaOH. El procedimiento para la obtención de biodiesel se puede apreciar en la [Figura 33](#) y consistió primeramente en calentar el aceite hasta llegar a una temperatura entre 50-65°C, esto por la temperatura de ebullición del biodiésel. A su vez, se preparó un catalizador de metanol y NaOH a 1.7% m/v, posteriormente se vertió la solución en el aceite a constante agitación respetando la temperatura durante 1 h.



*Figura 33. Elaboración de biodiésel*

El proceso de lavado tiene una relación 1:4, en un decantador de 500 mL se mezclaron 400 mL de agua por cada 100 mL de biodiésel, primero se vertió el aceite para que al momento de mezclarse con agua se lavara por caída, este procedimiento se realizó 4 veces. Posteriormente, se retiró la humedad del biodiesel obtenido elevando su temperatura a 105°C durante 1 h con agitación constante, finalmente se guardó en un frasco transparente.

### 7.2.4 Obtención de biodiésel

El rendimiento de biodiésel se expresa mediante la ecuación 16. Los resultados del volumen de biodiésel y el rendimiento se presentan en la [Tabla 12](#).

$$\%_{\text{Rendimiento}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{Biodiésel}}}{\text{Volumen}_{\text{Aceite vegetal}}} * 100\% \quad \text{Ec. (16)}$$

Tabla 12. Rendimiento de biodiésel a partir de aceite de canola “Canoil”

V <sub>A</sub> (ml)	V <sub>B</sub> (ml)	%Rendimiento (%)
400	190	47.5

A: Aceite vegetal “Canoil”, B: Biodiésel.

Comparando los resultados con los obtenidos de generaciones anteriores del laboratorio de “Biomasa y Bioenergéticos” ([Tabla 13](#)) y los consultados en el estado de la técnica, se puede decir que el porcentaje obtenido de biodiésel es aceptable.

Tabla 13. Comparación de rendimientos del LBB

Análisis	Generaciones anteriores del LBB			
	<i>Presente trabajo</i>	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
%RE	47.5	15	82	50

RE: Rendimiento

Uno de los factores que pudieron afectar el rendimiento pudo ser el tiempo con el que se realizó ya que, comparando la metodología del equipo 2 (RE: 82%), en el proceso de lavado se dejó reposar durante 24 h para posteriormente calentarse hasta eliminar la humedad. Otra característica que pudo afectar el rendimiento fue la temperatura del agua al momento de lavarse. De igual forma, el tiempo requerido para la separación de la glicerina en el decantador fue mínima. Por motivos prácticos se continuó con el biodiésel obtenido, pero se espera mejorar el rendimiento en las próximas experimentaciones.

## 7.3 Otros productos académicos



Academia de la OMPI

### CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

**Andrea Urbano Nila**

ha completado satisfactoriamente  
el curso de enseñanza a distancia titulado

**CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

**Impartido del 04 de octubre al 17 de noviembre de 2022**

Sherif Saadallah  
Director Ejecutivo  
Academia de la OMPI



wfLKY1MG

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTOR:** URBANO NILA ANDREA  
**TÍTULO:** URBANO'S COFFEE  
**RAMA:** DIBUJO  
**TITULAR:** URBANO NILA ANDREA

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 3º de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original de dibujo.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción V de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: los nombres y títulos o frases aislados.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 164 fracción III inciso d) de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las marcas, a menos que se trate al mismo tiempo de una obra artística y la persona que pretende aparecer como titular del derecho de autor lo sea también de ella.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción II de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

1/2



**CULTURA**  
SECRETARÍA DE CULTURA



**INDAUTOR**  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

## CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE TRÁMITE

No. 169/2022-2

Que se emite en correspondencia al art. 43 del *Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California*, como constancia de recepción y conformidad del Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia respecto del trámite solicitado por:

- Andrea Urbano Nila
- José Ramón Ayala Bautista
- Carlos Alfonso Sagaste Bernal
- Marcos Alberto Coronado Ortega
- Daniela Guadalupe Lucía Montes Núñez
- Lizbeth Adriana Gutierrez Esquivel
- Laura Duarte Jaramillo
- Edson Eliseo Armenta Galvez
- Jesus Manuel Armenta Galvez
- Alvaro Andres Ortiz Perez

Del registro de la obra intitulada: ***Extractos y aceites esenciales: estudio de su importancia en el medio ambiente***, bajo la figura de: Literaria, ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

Entregando en tiempo y forma los documentos, así como el material que fueron requeridos para tal efecto, en el entendido de que se sujetarán al procedimiento y determinación establecido por el INDAUTOR.

Se emite la presente constancia para los fines que al(los) interesado(s) convenga.



C.C. Archivo

**Atentamente**  
**"Por la realización plena del ser"**

Mexicali, Baja California a 01 de diciembre de 2022

*Aide Giner Aparicio*  
Lic. Aide Giner Aparicio  
Jefa del Departamento



Coordinación General de Investigación y Posgrado 2 de 3  
Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia

## CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE TRÁMITE

No. 170/2022-2

Que se emite en correspondencia al art. 43 del *Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California*, como constancia de recepción y conformidad del Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia respecto del trámite solicitado por:

- Lizbeth Adriana Gutierrez Esquivel
- Marcos Alberto Coronado Ortega
- Laura Duarte Jaramillo
- José Ramón Ayala Bautista
- Edson Eliseo Armenta Gálvez
- Jesus Manuel Armenta Gálvez
- Andrea Urbano Nila
- Álvaro Andrés Ortiz Perez

Del registro de la obra intitulada: ***Aceites Esenciales Como Ingredientes Activos Para el Padecimiento de la Pediculosis***, bajo la figura de: Literaria, ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

Entregando en tiempo y forma los documentos, así como el material que fueron requeridos para tal efecto, en el entendido de que se sujetarán al procedimiento y determinación establecido por el INDAUTOR.

Se emite la presente constancia para los fines que al(los) interesado(s) convenga.

**Atentamente**

**"Por la realización plena del ser"**

Mexicali, Baja California a 01 de diciembre de 2022



C.c. Archivo

*Aide Giner Aparicio*  
Lic. Aide Giner Aparicio  
Jefa del Departamento



Coordinación General de Investigación y Posgrado 1 de 1  
Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia

## CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE TRÁMITE

No. 171/2022-2

Que se emite en correspondencia al art. 43 del *Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California*, como constancia de recepción y conformidad del Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia respecto del trámite solicitado por:

- Álvaro Andrés Ortiz Pérez
- Lizbeth Adriana Gutierrez Esquivel
- Marcos Alberto Coronado Ortega
- Laura Duarte Jaramillo
- José Ramón Ayala Bautista
- Edson Eliseo Armenta Gálvez
- Jesús Manuel Armenta Gálvez
- Andrea Urbano Nila
- Ricardo Torres Ramos

Del registro de la obra intitulada: ***Biogas a partir de estiércol bovino***, bajo la figura de: Literaria, ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

Entregando en tiempo y forma los documentos, así como el material que fueron requeridos para tal efecto, en el entendido de que se sujetarán al procedimiento y determinación establecido por el INDAUTOR.

Se emite la presente constancia para los fines que al(los) interesado(s) convenga.

**Atentamente**

**"Por la realización plena del ser"**

Mexicali, Baja California a 01 de diciembre de 2022



C.c. Archivo

*Aide Giner Aparicio*  
Lic. Aide Giner Aparicio  
Jefa del Departamento



Coordinación General de Investigación y Posgrado 1 de 1  
Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia

## CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE TRÁMITE

No. 173/2022-2

Que se emite en correspondencia al art. 43 del *Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California*, como constancia de recepción y conformidad del Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia respecto del trámite solicitado por:

- Laura Duarte Jaramillo
- Marcos Alberto Coronado Ortega
- Lizbeth Adriana Gutiérrez Esquivel
- José Ramón Ayala Bautista
- Edson Eliseo Armenta Gálvez
- Jesús Manuel Armenta Gálvez
- Andrea Urbano Nila
- Álvaro Andrés Ortiz Pérez

Del registro de la obra intitulada: ***Sistema de gestión integral de cáscara de naranja residual en Mexicali, Baja California***, bajo la figura de: Literaria, ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

Entregando en tiempo y forma los documentos, así como el material que fueron requeridos para tal efecto, en el entendido de que se sujetarán al procedimiento y determinación establecido por el INDAUTOR.

Se emite la presente constancia para los fines que al(los) interesado(s) convenga.

Atentamente

**"Por la realización plena del ser"**

Mexicali, Baja California a 06 de diciembre de 2022



*Aide Giner Aparicio*  
Lic. Aide Giner Aparicio  
Jefa del Departamento



C.c. Archivo

Coordinación General de Investigación y Posgrado 1 de 1  
Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia

## Essential Oil of Eucalyptus: a natural solution for treating pediculosis

Gutiérrez-Esquivel, Lizbeth A.<sup>1\*</sup>; Ayala-Bautista, José R.<sup>1</sup>; Coronado-Ortega, Marcos A.<sup>1</sup>; Urbano-Nila, Andrea<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez Col. Insurgentes Este, Parcela 44, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100

\* Correspondence: lizbeth.gutierrez12@uabc.edu.mx

### ABSTRACT

**Objective:** Pediculosis is a condition caused by the infestation of *Pediculus Humanus Capitis*. The pesticides used in current formulations exhibit toxicity and carcinogenic effects on consumers. This study aimed to investigate the pediculicidal activity of the essential oil from *Eucalyptus globulus* leaves, with the intention of adding it as an active ingredient in pediculicidal formulations to replace harmful chemicals.

**Design/methodology/approach:** *In vivo* tests were conducted to assess the repellency and mortality of the essential oil obtained through hydrodistillation. The major components were determined through gas chromatography-mass spectrometry analysis. Additionally, proximate, and chemical composition analyses were performed on the eucalyptus leaves using ASTM E871, ASTM E872, ASTM D1104, TAPPI T264, TAPPI T207, ASTM D1106, and ASTM D1104 methods.

**Results:** A repellency of 66.66% and 100% mortality within 2.26 minutes were obtained in the *in vivo* tests. The yield of hydrodistilled essential oil was 4 mL/kg, primarily composed of 71.04% 1,8-cineole, 18.94% 4-Ethyl-m-xylene, 2.72%  $\gamma$ -Terpinene, and 1.23% L- $\alpha$ -Pinene. Furthermore, the composition of eucalyptus leaves was determined as 61.25% moisture, 30.32% volatile matter, 6% ash, 2.40% fixed carbon, 11.22% acetone extractives, 33.03% water extractives, 31.49% lignin, 69.33% holocellulose, 62.09% cellulose, and 7.24% hemicellulose.

**Limitations on study/implications:** The pediculicidal activity study was conducted solely on the essential oil, and further testing on the formulation of the finished product is necessary.

**Findings/conclusions:** The pediculicidal activity study was conducted solely on the essential oil, and further testing on the formulation of the finished product is necessary.

**Keywords:** Essential oil, *Eucalyptus globulus*, pediculosis, physicochemical characterization.

**Citation:** Ortega, M. A., & Urbano-Nila, A. (2023). Essential Oil of Eucalyptus: a natural solution for treating pediculosis. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i11.2724>

**Academic Editors:** Jorge Cadena Iñiguez and Lucero del Mar Ruiz Posadas

**Received:** July 27, 2023.

**Accepted:** October 16, 2023.

**Published on-line:** December 27, 2023.

*Agro Productividad*, 16(11), November, 2023, pp. 65-70.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



### INTRODUCTION

Infestation of *Pediculus humanus capitis*, or head lice, is a chronic condition worldwide. In Mexicali, Baja California, Mexico, lice infestation is abundant due to the climatic conditions. Lice are six-legged arthropods that invade the host's hair in search of blood for feeding. The life cycle of head lice consists of three stages: eggs, colloquially known as nits, measuring 1 mm, are white and attached to the hair by a non-polar substance called cement; the second stage is nymphs, classified as such at birth, measuring less than 1 mm and being whitish; finally, the adult stage, where lice mature 2 to 3 weeks after birth,





La Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior  
y la Fundación Educación Superior Empresa otorga la presente

# CONSTANCIA

a

## ANDREA URBANO NILA

Por haber completado el curso virtual

"Los Derechos Humanos y la importancia de los Criterios ESG", con una duración de 8 horas.

**Dr. Luis Armando González Placencia**

Secretario General Ejecutivo de la Asociación  
Nacional de Universidades e Instituciones  
de Educación Superior (ANUIES)

**Mtro. Alfredo Martínez de la Torre**

Director General de la  
Fundación Educación Superior Empresa (FESE)



b29N4nrK6X

21/05/23



MÁS ALLÁ  
DEL ÉXITO

Tu camino  
a la trascendencia

## CERTIFICADO PARTICIPANTE

«MÁS ALLÁ DEL ÉXITO»

Otorgado a:

ANDREA URBANO NILA



Por su participación en el movimiento de liderazgo y crecimiento personal  
Más allá del éxito por el Dr. John C. Maxwell.

«La vida de cada persona es una historia.  
Tú determinas cuán grandiosa será la tuya».  
- John C. Maxwell

Dr. John C. Maxwell  
Fundador

John Griffin  
Director de Programas  
Globales

EQUIP