UEA Agroindustria
PrePrint UEA

Sección Agroindustria
Vol. AGI2324. ep05–199

| Recibido: 15/03/2024 |
| Aceptado: 29/04/2024 |
| Publicado: 16/11/2026 |

Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de Plukenetia volubilis con la adición de aceites esenciales

Evaluation of the oxidative stability of Plukenetia volubilis oil with the addition of essential oils

Elver Alexander Rojas Gaona[1], Yasiel Arteaga Crespo[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep05-199 Crossref

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de *Plukenetia volubilis* con la adición de aceites esenciales. Los aceites esenciales de canela y limón se obtuvieron por destilación con arrastre de vapor de agua, y el aceite de sacha inchi se obtuvo mediante prensado en caliente. Estos aceites fueron caracterizados por cromatografía de gases. El índice de estabilidad oxidativa se determinó mediante el método Rancimat a una temperatura de 80 y 100°C, y el tiempo de vida útil se estimó mediante extrapolación a una temperatura de almacenamiento de 30 °C. Se evaluó el efecto de la dosis y tipo de aceite esencial sobre el tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi mediante un diseño tipo Optimal. El análisis cromatográfico indicó que el ácido cis-13,16-docosadienoico (47,16%) y el ácido linolénico (35,13%) fueron los principales constituyentes del aceite de sacha inchi. Los componentes principales del aceite de limón fueron el D-limoneno (22,88%) seguido del α-felandreno (16,12%) y citronelal (11,77%). Para el aceite de canela, el cinamaldehído (32,81%) y cariofileno (10,65%) fueron los componentes mayoritarios. El aceite esencial de canela y limón tuvieron un efecto significativo en la estabilidad oxidativa del aceite de sacha inchi. El aceite de canela mostró mejores resultados en comparación con el de limón y la mejor dosis para ambos aceites fue 800 mg/kg incrementando la vida útil del aceite de sacha inchi en 2,29 años y 2,07 años respectivamente respecto al testigo. Este estudio demuestra que los aceites esenciales ofrecen una alternativa prometedora para reducir la dependencia de conservantes sintéticos sobre la protección oxidativa de los ácidos grasos.

Palabras clave

índice OSI, aceite de limón, aceite de canela, Rancimat

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the oxidative stability of *Plukenetia volubilis* oil with the addition of essential oils. The essential oils of cinnamon and lemon were obtained by steam distillation, and the sacha inchi oil was obtained by hot pressing. These oils were characterized by gas chromatography. The oxidative stability index was determined using the Rancimat method at temperatures of 80 and 100°C, and the shelf life was estimated by extrapolation to a storage temperature of 30°C. The effect of the dose and type of essential oil on the shelf life of sacha inchi oil was evaluated using an Optimal design. Chromatographic analysis indicated that cis-13,16-docosadienoic acid (47.16%) and linolenic acid (35.13%) were the main constituents of sacha inchi oil. The main components of lemon oil were D-limonene (22.88%) followed by α-phellandrene (16.12%) and citronellal (11.77%). For cinnamon oil, cinnamaldehyde (32.81%) and Caryophyllene (10.65%) were the majority components. Cinnamon and lemon essential oil had a significant effect on the oxidative stability of sacha inchi oil. Cinnamon oil showed better results compared to lemon oil and the best dose for both oils was 800 mg/kg, increasing the useful life of sacha inchi oil by 2.29 years and 2.07 years respectively compared to the control. This study demonstrates that essential oils offer a promising alternative to reduce the dependence on synthetic preservatives on the oxidative protection of fatty acids.

Keywords

OSI index, lemon oil, cinnamon oil, Rancimat.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: autor1@uea.edu.ec, yarteaga@uea.edu.ec,

Autor para la correspondencia

Elver Alexander Rojas Gaona. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: autor1@uea.edu.ec

Cómo citar

ROJAS GAONA, Elver Alexander , ARTEAGA CRESPO, Yasiel and , 2026. Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de Plukenetia volubilis con la adición de aceites esenciales. PrePrint UEA. Vol. AGI2324. p. ep05–199. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep05-199

Editores Académicos Willan Orlando Caicedo Quinche

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

Plukenetia volubilis conocido como sacha inchi (SI) es un cultivo extendido por la Amazonia peruana, originario del territorio inca y poco estudiado (Rodríguez, Vega, & Solorzano, 2021). El aceite de SI se obtiene de sus semillas que contienen elevadas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados entre el 78,15-84,49%, saturados entre 6,74-7,70%, monoinsaturados 7,50- 10,71% (Aranda, Villacrés, & Rios, 2019), tocoferoles y esteroles, otorgando propiedades naturales beneficiosas para la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, entre otras; siendo el ácido α-linolénico más representativo con porcentajes superiores a 48% (Alarcón, Pérez, & Chasquibol, 2019). En los últimos años, el mercado de la cosmética natural ha experimentado un notable desarrollo, impulsado por el cambio del uso de ingredientes sintéticos a ingredientes naturales, (Maya et al. 2023) indica que uno de los ingredientes naturales que ganará relevancia en los próximos años es el aceite de semilla de SI.

El proceso oxidativo del aceite de SI se debe a la presencia de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de cadena larga como el alfa-linolénico Omega-3 y el ácido graso linoleico Omega-6 en su composición, por lo tanto, el aceite de SI es susceptible a factores como el aire, calor y humedad (Alarcón, Pérez, & Chasquibol, 2019). La rancidez es el resultado del deterioro oxidativo en los ácidos grasos, disminuyendo la vida útil y consigo la baja calidad de las grasas durante su almacenamiento, cambiando las características organolépticas del aceite y desarrollando olores y sabores desagradables por la presencia de sustancias volátiles (cetonas, aldehídos, e hidrocarburos) (Delgado, 2024).

La presencia de compuestos indeseables ocasiona la pérdida del valor nutricional, siendo necesario la aplicación de nuevas tecnologías industriales (Krepsa, Dubajb, & Krepsová, 2021). Según Bañares, et al (2022) el estudio de la susceptibilidad a la oxidación se da mediante la aplicación de técnicas aceleradas como la prueba de Rancimat, para determinar la estabilidad oxidativa. El método Rancimat somete a la muestra del aceite a un proceso oxidativo acelerado, midiendo de manera continua la conductividad eléctrica del agua, obteniendo un registro de tiempo de inducción donde se formaron ácidos volátiles, indicando la resistencia de la muestra a la oxidación (Alarcón, Pérez, & Chasquibol, 2019).

Investigaciones realizadas por Chávez, Gómez, & Mestanza (2022) mencionan que el deterioro oxidativo en los ácidos grasos se presenta como un problema en la industrialización de los aceites vegetales, debido a la presencia de PUFA en su composición que afecta la vida útil y calidad del producto final. Algunas de las técnicas para su conservación es la adición de antioxidantes sintéticos como butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT) y tert-butilhidroquinona (TBHQ), teniendo efectos cancerígenos y teratogénicos (Daubera, y otros, 2022).

Sin embargo, los antioxidantes naturales como los aceites esenciales (AEs) obtenidos de plantas representan una nueva alternativa por tener compuestos fenólicos capaces de retener radicales libres, evitando la oxidación de los ácidos grasos (Chavez, Gómez, & Mestanza, 2022). Los extractos de plantas es un recurso poco estudiado y con alta importancia, debido a la producción de bioactivos como los aceites esenciales (AE) que son metabolitos secundarios ricos en compuestos fenólicos (Tenorio, 2016).

Según estudios realizados por Jumbo & Guevara (2016) identifican que los aceites esenciales obtenidos de la materia vegetal de canela (*Ocotea quixos*) presenta alta capacidad antioxidante, misma que incrementa a mayor temperatura, teniendo una influencia de factores no solo como el origen de la planta, tiempo de cosecha y almacenamiento, sino también condiciones tecnológicas aplicadas durante su extracción. Por otro lado, el limón (*Citrus limón*) presenta compuestos fenólicos en mayor cantidad en cáscaras y semillas, teniendo una alta capacidad antioxidante (Peláez, Carbajal, Ruiz, & Raza, 2021).

Frente a los beneficios del aceite de SI y la alta capacidad antioxidante de aceites esenciales, son factores que representan una nueva alternativa ante el deterioro oxidativo de los ácidos grasos por factores ambientales, por ende, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de *Plukenetia volubilis* con la adición de aceites esenciales.

2. Metodología

2.1. Localización

El presente estudio fue desarrollado en los Laboratorios de Bromatología y Química de la Universidad Estatal Amazónica, ubicado en el kilómetro 2 ½ de la vía a Tena, en el cantón y provincia de Pastaza con una altitud de 940 msnm, coordenadas geográficas de 00° 59´ -1" de latitud y 77° 49´0" de longitud oeste.

2.2. Muestras

Las semillas de SI fueron adquiridas en San Miguel de los Bancos, ubicado en la vía Calacalí, kilómetro 104 de la ciudad de Quito. El aceite fue extraído en una prensa marca CGOLDENWALL y potencia de 1500 W en el Laboratorio de Bromatología. los AEs de hojas de limón y canela se obtuvieron en el Laboratorio de Química a través de la técnica de destilación por arrastre con vapor en un destilador marca FIGMAY (Ayub et al. 2023). Las hojas de limón (*Citrus limon*) y canela (*Ocotea quixos*) fueron recolectadas en los predios de la Universidad Estatal Amazónica. A los AEs se le añadió sulfato de sodio anhidro y luego fueron almacenados en recipientes oscuros y refrigerados a una temperatura de 4 ± 0,5°C hasta su posterior análisis.

2.3. Preparación de las muestras

250 µL de aceite de limón y canela se aforaron a un volumen de 5 mL con hexano grado HPLC. La muestra fue filtrada antes de su análisis con la ayuda de un microfiltro de aguja hidrofílica 13mm/25mm, PTFE, Luer, miliporo, con membrana de 0,22/0,45/1,2um (Koljancic, Vyviurska y Spánik 2023).

La esterificación del aceite de SI se realizó según la metodología de la AOCS Ce 2-66 (2017). A 200 mg de aceite se le añadieron 0,5 mL de KOH 2M en metanol (KOH/MeOH) y 4 mL de n-hexano grado HPLC y se agitó en vórtex durante 30 s. Posteriormente las muestras se centrifugaron a 4000 RPM durante 5 minutos a 30°C. La capa superior de n-hexano se recogió y se filtró para su posterior análisis.

2.4. Análisis GC-MS

Se utilizó un cromatógrafo de gases con detector por flama y espectrómetro de masas simple cuadrupolo (GC-FID-MS) marca Shimadzu, modelo GCMS QP2020 NX. Las condiciones cromatográficas para el análisis de los AEs se fijaron usando una columna marca Thermo Scientific, grosor de 0,5 µm, 0,32 mm de diámetro interior, 30 m de longitud, volumen de inyección de 1 µL, temperatura del inyector de 250 °C, modo Split spliter 25:1, programa de temperatura del horno desde 50°C por 4 min, un incremento de 10°C/min hasta 220°C y mantenido por 2 min a esta temperatura. Los espectros de masas de las muestras fueron corroborados usando la biblioteca Wiley instalada junto con el software del equipo.

2.5. Estimación del tiempo de vida útil mediante el índice de estabilidad oxidativa.

Se empleó la metodología Rancimat (Equipo Metrohm, modelo 892, Suiza), según los estándares internacionales de la AOCS Cd 12b-92 (2022). Se estableció un flujo de aire filtrado y seco de 15 L/h, el cual se hizo pasar a través de una muestra de 5 ± 0,2 g de aceite contenida en un tubo de reacción. Este tubo se colocó posteriormente en un bloque de calefacción a temperaturas de 80 y 100 °C. Los ácidos orgánicos volátiles de la muestra presentes en el aire efluente se recogieron en un recipiente de policarbonato con 60 mL de agua destilada, mientras que la conductividad (µS/cm) del agua se registró de manera continua **Figura 1**. El Índice de Estabilidad Oxidativa se determinó en horas.

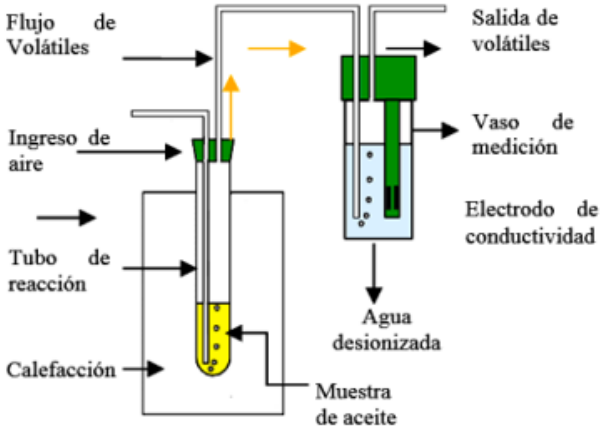


Figura 1 | Principio del método Rancimat

Se estimó la vida útil mediante el método de extrapolación a una temperatura de almacenamiento de 30 °C, estableciendo una correlación matemática (1) entre los índices de Estabilidad Oxidativa y las temperaturas (80 y 100°C) usadas en el Rancimat. Este enfoque se basó en las investigaciones previas de Rivera et al., (2019) y Chasquibol et al., (2020) quienes lo aplicaron específicamente a aceites vegetales.

$$\log(\mathrm{OSI}) = B + AT \qquad (1)$$

Donde OSI representa el índice de rancidez oxidativa expresado en horas. A, indica el coeficiente de temperatura (h/°C) el cual refleja la sensibilidad del aceite al incremento de la temperatura durante la prueba de oxidación acelerada y se calcula como la pendiente de las rectas que se obtienen al representar el logaritmo de OSI en función de la temperatura. Mientras que B, representa un valor adimensional empírico sin relevancia física. T, indica la temperatura (°C) a la cual se requiere calcular el valor OSI.

2.6. Análisis estadístico

Se planteó un diseño tipo Optimal mediante el software Desing Expert versión 10. En cada tubo de reacción se colocaron 5 ± 0,2 g de muestra, según el diseño planteado (**Tabla 1**). Se evaluó el efecto de la dosis y tipo de aceite esencial sobre el tiempo de vida útil del aceite del SI mediante un análisis de varianza. Las condiciones óptimas para extender el tiempo de vida útil se encontraron mediante la metodología de superficie de respuesta. Los datos experimentales se ajustaron utilizando la siguiente ecuación polinómica (2).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \beta_{ij} x_i x_j \qquad (2)$$

Tabla 1 | Diseño Optimal

Factor	Tipo	Subtipo	Mínimo (-1)	Máximo (+1)
Dosis (mg/kg)	Numérico	Continuo	200	800
Aceite esencial	Categórico	Nominal	Limón	Canela

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización mediante GC-MS de los aceites de sacha inchi, limón y canela.

La caracterización del aceite de sacha inchi, limón y canela mediante GC-MS se muestran en la **Tabla 2**. Los ácidos grasos mayoritarios en el aceite de SI fueron el ácido cis-13,16-docosadienoico y el ácido linolénico, con 47,16% 35,13% respectivamente. En cuanto al AE de limón, el 22,88% de la composición la ocupó el D-limoneno, seguido del α-felandreno (16,12%) y citronelal (11,77%). Estos tres componentes representaron el 50,77% del total de los aceites volátiles del limón. Para el aceite de canela el 43,33% de la mezcla total estuvo representado por cinamaldehído y cariofileno con valores de 32,73% y 10,6% respectivamente.

Tabla 2 | Caracterización por GC-MS de los aceites de canela, limón y sacha inchi.

Canela				Limón			Sacha inchi	
#Pico	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área
1	5,98	4,93	2-Pinene	5,39	0,95	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	11,53	0,04
2	6,51	3,79	Pinene <beta->	5,50	4,18	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	15,33	0,06
3	7,15	1,56	(1-methyl-4-prop-1-en-2-yl-cyclohexyl) ethanoate	5,87	16,1	.alpha.-phellandrene (only name in Wiley6)	15,43	0,13

Canela				Limón			Sacha inchi	
#Pico	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área
4	7,50	0,25	.gamma.-Terpinene	6,29	4,62	.beta.-Myrcene	16,04	7,65
5	7,91	0,18	1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl butyrate	6,5	0,55	Terpinene <alpha->	17,54	0,08
6	8,44	0,82	Benzenepropanal	6,68	22,8	D-Limonene	17,66	0,12
7	8,55	0,13	1,2-Propanedione, 1-phenyl-	7,15	1,61	.gamma.-Terpinene	18,00	0,08
8	8,78	0,05	Borneol	7,37	3,34	Linalool	18,3	0,27
9	8,95	0,4	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	7,72	0,46	Nona-1,3,7-triene <4,8-dimethyl-, (E)->	19,95	47,16
10	9,08	0,4	.alpha.-Terpineol	7,86	1,18	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,E)-	20,06	35,13
11	9,23	0,43	(Z)-3-Phenylacrylaldehyde	8,00	11,7	Citronellal	20,33	0,01
12	9,97	32,3	(Z)-3-Phenylacrylaldehyde	8,35	1,02	Cyclohexanol, 2-(2-hydroxy-2-propyl)-5-methyl-	20,64	6,78
13	10,44	0,09	Anethole	8,49	1,4	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	21,82	0,14
14	10,60	0,17	2-Propen-1-ol, 3-phenyl-	8,61	3,11	Decanal <n->	22,11	0,09
15	11,81	0,94	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-	8,80	0,22	Citronellyl nitrile	22,21	0,1
16	12,04	5,49	2-Propenoic acid, 3-phenyl-, methyl ester	8,89	0,17	4-Vinylphenol	22,81	0,03
17	12,38	0,13	Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	9,00	4,45	6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, (R)-	23,38	0,16
18	12,52	0,13	1, 2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-, [1S-(1.alpha., 2.alpha., 3a.beta., 4.alpha., 5.alpha., 7a.beta.	9,29	1,44	Geraniol	24,14	0,12
19	12,62	2,28	Copaene	9,52	2,11	(2E)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal	24,32	0,93
20	12,83	0,72	1-Methyl-1-ethenyl-2,4-bis(1'-methylethenyl)cyclohexane	10,15	0,78	Undecanal	24,73	0,04
21	13,06	0,08	Funebrene <alpha->	10,30	0,36	Citronellic acid	24,97	0,27
22	13,18	2,27	Acetic acid, cinnamyl ester	10,93	2,09	6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	27,43	0,12

	Canela			Limón			Sacha inchi	
#Pico	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área
23	13,48	10,6	Caryophyllene	11,11	0,67	(2Z)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate	27,52	0,42
24	14,14	6,76	.alpha.-Humulene	11,26	0,8	Geranyl acetate <trans->	29,09	0,07
25	14,24	7,63	Isoeugenol <methyl-, (Z)->	11,69	0,19	Copaene		100
26	14,53	0,19	.gamma.-Muurolene	11,96	0,51	Cyclohexanol, 3-ethenyl-3-methyl-2-(1-methylethenyl)-6-(1-methylethyl)-, [1R-(1.alpha., 2.alpha., 3.beta., 6.alpha.)]-		
27	14,79	0,52	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a.alpha. 7. alpha., 8a.beta.)]-	12,34	1,18	Acetic acid, cinnamyl ester		
28	14,89	0,25	Cadina-3,5-diene	12,60	2,32	Caryophyllene		
29	14,99	1,59	(1S,2E,6E,10R)-3,7,11,11-Tetramethylbicyclo[8.1.0]undeca-2,6-diene	12,79	0,66	cis-.alpha.-Bergamotene		
30	15,16	0,31	.alpha.-Longipinene	13,02	0,15	Farnesene <(E)-, beta->		
31	15,30	0,38	Cadinene <gamma->	13,20	0,74	1,4,7,-Cycloundecatriene, 1,5,9,9-tetramethyl-, Z,Z,Z-		
32	15,36	0,11	trans-Calamenene	13,61	0,7	(-)-Germacrene D		
33	15,45	0,93	Cadinene <delta->	13,97	0,51	(1S,2E,6E,10R)-3,7,11,11-Tetramethylbicyclo[8.1.0]undeca-2,6-diene		
34	15,62	0,74	(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	14,15	1	.alpha.-Farnesene		
35	15,76	0,46	Calacorene <alpha->	14,26	0,74	.beta.-Bisabolene		
36	15,95	0,08		14,39	0,15	(1S,2E,6E,10R)-3,7,11,11-Tetramethylbicyclo[8.1.0]undeca-2,6-diene		
37	16,03	0,12	14-Hydroxycaryophyllene	14,51	0,26	Cadinene <delta->		
38	16,37	0,5	Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-	14,64	0,14	Humulene epoxide I		
39	16,53	0,88	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1, 1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha., 4a.alpha., 7.beta., 7a.beta., 7b.alpha.)]-	14,83	0,22	Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-.alpha.,.alpha.,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1.alpha.,3.alpha.,4.beta.)]-		
40	16,67	5,09	14-Hydroxycaryophyllene	15,19	0,52	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-		
41	16,78	0,34	3,7-Cyclodecadien-1-one, 3,7-dimethyl-10-(1-methylethylidene)-, (E,E)-	15,54	0,24	Supraene		
42	16,97	0,11	Humulene epoxide I	15,71	0,52	Caryophyllene oxide		
43	17,20	1,53	Humulene epoxide II	16,08	0,27	trans-Sesquisabinene hydrate		

Canela				Limón			Sacha inchi	
#Pico	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área	Nombre	Tiempo (min)	%Área
44	17,37	0,24	4a(2H)-Naphthalenol, 1,3,4,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S,4R,4aS,8aR)-	16,86	0,19	1,7-Dimethyl-7-(4-methylpent-3-enyl)norbornan-2-one		
45	17,54	0,23	Copaen-4-alfa-ol <beta->	17,07	0,35	1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahydro-1, 1, 4,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha., 4.beta., 4a.beta., 7.alpha., 7a.beta., 7b.alpha.)]-		
46	17,67	0,61	Humulenol-II	17,31	0,93	trans-Sesquisabinene hydrate		
47	17,75	0,81	(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol	17,62	0,33	6-Methyl-2-(3-methyl-1-cyclohex-3-enyl)-5-hepten-2-ol		
48	18,12	0,24	Intermedeol	17,94	0,13	Cyclopentane, 1-pentyl-2-propyl-		
49	18,17	0,38	(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol	26,71	0,6	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-		
50	18,46	0,7	14-Hydroxycaryophyllene	29,82	0,17	Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-		
		100			100			

3.2. Efecto de la dosis y tipo de aceite esencial sobre la vida útil del aceite de SI

El aceite de limón y canela, así como la dosis empleada ejercieron un efecto significativo positivo sobre el incremento del tiempo de vida útil del aceite de SI. Estos resultados se indican mediante el análisis de varianza ANOVA presentado en la **Tabla 3**. El modelo encontrado para la relación tipo de aceite y dosis sobre la estabilidad oxidativa del aceite fijo fue significativo ($p \leq 0,05$). El modelo polinómico de grado tres, mostró los mejores resultados para la estabilidad oxidativa del aceite de SI, con un coeficiente de determinación R^2de 0,9999 lo que sugiere una buena validez del modelo. El R^2 predicho de 0,9985 concuerda razonablemente con el R^2ajustado, con una diferencia menor a 0,2, lo que indica que el modelo seleccionado es adecuado. Todas las dosis de aceite esencial dieron resultados superiores al testigo, siendo el AE de canela mejor que el limón.

Por otra parte, el valor F de la falta de ajuste, que fue de 2,41, sugiere que la falta de ajuste no es relevante en comparación con el error puro. Una falta de ajuste no significativa es favorable, ya que confirma la adecuación del modelo para representar con precisión los datos experimentales.

Las ecuaciones predictivas en términos de factores reales para el AE de limón y canela son las siguientes:

$$T(D) = -0,074895 + 0,004997D + 8,21011 \times 10^{-7}D^2 - 2,87941 \times 10^{-9}D^3 \quad (3)$$

$$C(D) = -0,153972 + 0,006394D - 4,67215 \times 10^{-7}D^2 - 2,87941 \times 10^{-9}D^3 \quad (4)$$

Donde D representa la dosis de aceite esencial.

Tabla 3 | ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	
Modelo	7,33	6	1,22	15648,09	< 0.0001	significativo
A-Dosis	0,4647	1	0,4647	5948,52	< 0.0001	
B-Aceite esencial	0,1164	1	0,1164	1490,38	< 0.0001	
AB	0,0014	1	0,0014	17,62	0,0085	
A^2	0,3132	1	0,3132	4009,78	< 0.0001	
A^2B	0,0076	1	0,0076	96,96	0,0002	
A^3	0,0020	1	0,0020	25,02	0,0041	
Residual	0,0004	5	0,0001			
Falta de ajuste	0,0002	2	0,0001	2,41	0,2380	no significativo
Error puro	0,0001	3	0,0000			
Total corregido	7,33	11				
R^2	0,9999					
R^2 Ajustado	0,9999					
R^2 predicho	0,9985					

Los resultados experimentales y los predichos por los polino-

mios de tercer grados, fueron calculados y se muestran en la **Tabla 4** y **figura 2A**. Los resultados obtenidos demuestran que los modelos predictivos son adecuados para abarcar todo el intervalo de resultados experimentales, lo que sugiere que puede aplicarse con éxito, además se puede observar en la **figura 2B** que los datos experimentales cumplieron con el supuesto de distribución normal.

Los niveles óptimos recomendados por el modelo (**Figura 2C y D**) para maximizar el tiempo de vida útil del aceite de SI fueron una concentración de 800 mg/kg de AE de canela, logrando así un tiempo de vida útil de 3,18 años, este valor supera al testigo en 2,29 años. Así mismo, la concentración de 800 mg/kg de AE de limón logró el máximo tiempo de vida útil con un valor de 2,97 años superando al testigo en 2,07 años.

Tabla 4 | Resultados del tiempo de vida útil del aceite de SI.

Experimento	Dosis	Aceite esencial	Vida útil (Experimental)	Vida útil (Predicho)
	(mg/kg)		(Años)	(Años)
1	500	Canela	2,57	2,57
2	650	Limón	2,74	2,73
3	800	Limón	2,97	2,97
4	500	Canela	2,56	2,57
5	350	Canela	1,91	1,90
6	200	Limón	0,93	0,93
7	200	Canela	1,08	1,08
8	800	Canela	3,19	3,19
9	650	Canela	3,01	3,01
10	500	Limón	2,27	2,27
11	500	Limón	2,26	2,27
12	200	Limón	0,94	0,93
Testigo	0	-	0,90	-

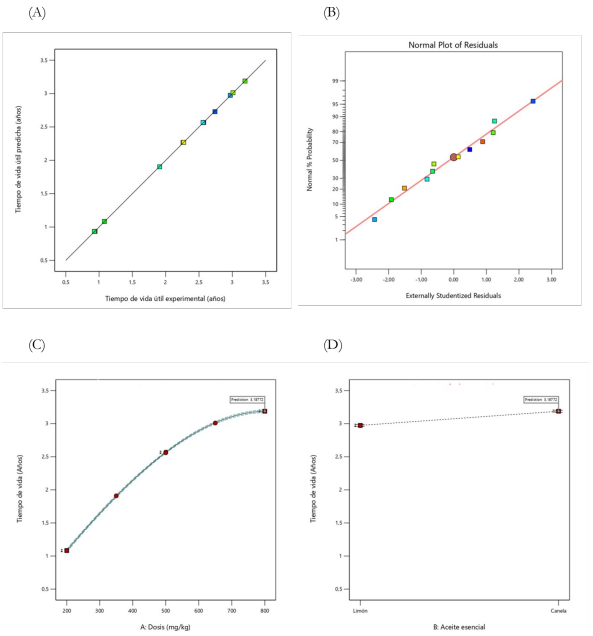


Figura 2 | Valores experimentales y predichos de vida útil (A), distribución normal de los resultados (B), valores óptimos recomendados por el modelo polinómico (C y D)

El uso de AEs en la estabilidad oxidativa de aceites fijos ha sido demostrado en estudios previos. Adal y Eren (2019) investigaron mediante el método Rancimat, a partir de los valores OSI, el efecto de la adición de AE de romero y orégano en la prolongación de la vida útil del aceite de pistacho. Evaluaron concentraciones de 150, 300 y 600 ppm para cada AE y los resultados indicaron una mejora la estabilidad del aceite de pistacho evitando la oxidación de lípidos. La concentración de 600 ppm de AE de romero y orégano indicó un efecto antioxidante superior que 150 ppm de butilhidroxitolueno (conservante sintético). Así mismo, en la investigación desarrollada por Esmaeili et al. (2018) evaluaron el efecto de la adición AE de romero y menta sobre la estabilidad oxidativa del aceite de pistacho. Se añadieron concentraciones de 1500 y 3000 ppm en el aceite fijo almacenado durante 80 días a 60°C en condiciones de oscuridad. Los resultados revelaron que el aceite esencial de romero tuvo un efecto mayor que el de la menta. Ambos AEs a una concentración 3000 ppm mostraron una mayor eficacia antioxidante que 100 ppm de butilhidroxitolueno para retrasar el proceso de oxidación lipídica.

Las propiedades antioxidantes del aceite esencial de limón han sido ampliamente documentadas por diferentes autores. Por ejemplo, la actividad antioxidante equivalente a Trolox de cuatro cultivares de *Citrus limon* (L.) fue reportada por Simeone et al. (2020). También cuatro tipos de aceites del género citrus han mostrado su potencial antioxidante demostrado mediante ensayos con el 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), 2, ácido 2'-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic (ABTS) y Ferric ion Reducing Antioxidant Power (FRAP) (Ben et al., 2017; Lin et al., 2021 y Ambrosio et al., 2021). La incorporación de aceite esencial de limón en nanoemolsiones incidió positivamente en la protección oxidativa (Liu et al. 2022). Las propiedades antioxidante del queso primasole fueron mejoradas con la adición de AE de limón (Busetta et al. 2022). El poder conservante de este AE en sopa de cebada fue demostrado por Moosavy et al. (2017).

El poder antioxidante del AE de limón puede atribuirse a sus principales componentes, limoneno, α-felandreno y citronelal. Shah y Mehta (2018) Probaron mediante los ensayos FRAP, ABTS y DPPH la reducción dependiente de la concentración en la formación de radicales libres por parte del D-limoneno. Así mismo, Yang et al. (2012) indicaron que el limoneno elimina en un 93,1% los radicales DPPH. Por otro lado, la adición de limoneno a una concentración de 17,4 mg/kg al aceite de girasol reduce drásticamente la oxidación durante el proceso de fritura (Wang et al. 2020).

El α-felandreno, segundo componente mayoritario del AE de limón en este estudio, posee elevada actividad antioxidante y ha sido demostrada por diversos autores (Stashenko et al., 2014; Christo et al., 2019 y Obadiah et al. 2012) mediante los ensayos ORAC, ABTS y FRAP. Por otro lado, el citronelal se identificó como el tercer compuesto más abundante del AE de limón. Varios autores (Singh et al., 2012 y Baj et al., 2023) han corroborado su actividad antioxidante mediante diversos ensayos, incluyendo el poder antioxidante reductor férrico (FRAP), la actividad quelante de iones ferrosos, así como la eliminación de peróxido de hidrógeno (H2O2) y 2,2-radicales difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).

El AE de canela se ha destacado por su perfil de propiedades, incluyendo estimulantes, antisépticas y antioxidantes. En particular, su capacidad antioxidante ha sido documentada en investigaciones realizadas por (Noriega et al., 2018; Pino et al., 2018 y Calderón et al., 2018). Estos estudios han validado el potencial antioxidante del AE de canela a través de una variedad de ensayos, que incluyen ABTS, FRAP, DPPH y ORAC. La actividad antioxidante puede atribuirse a sus componentes mayoritarios dentro de los cuales destacan el cinamaldehído y el cariofileno. El poder antioxidante del cinamaldehído ha sido demostrado por ensayos como capacidad de eliminación de radicales de óxido nítrico (NO), ABTS y FRAP por investigadores como Suryanti et al. (2018); Jiang et al. (2013) y (Ormachea y Ferretti (2022). La investigación desarrollado por López-Mata et al. (2018) indicó que la adición del 1% de cinamaldehído mejora las propiedades antioxidantes en películas de quitosano. Un estudio realizado por Gowder y Devaraj (2006) demostraron que la administración oral de cinamaldehído tiene un efecto retardado en los antioxidantes séricos del tejido renal de ratas, lo que contribuye al aumento de antioxidantes como el superóxido dismutasa, la glutatión peroxidasa y la glutatión-s-transferasa. Otra investigación desarrollada por Molania et al. (2012) demostró que la inclusión cinamaldehído en ratas irradiadas con rayos gamma mejoró la capacidad antioxidante salival. Naveena et al. (2014) en su investigación señaló que la adición de cinamaldehído mejoró las propiedades antioxidantes de carne molida de gallina. El estudio llevado a cabo por Calleja et al. (2013) indicaron que la actividad antioxidante del cinamaldehído tuvo un impacto positivo al disminuir el estrés oxidativo en ratas artríticas.

La actividad eliminadora de radicales libres del β-cariofileno ha sido demostrada en los estudios realizados por Dahham et al. (2015) y Neta et al. (2017), mediante los ensayos DPPH y FRAP, además Flores-Soto et al. (2021) en su estudio señaló que este compuesto ejerce efectos antioxidantes protectores mediante la activación de la quinona oxidorreductasa (NQO1) en el modelo 1-metil-4-fenil-1,2,3,6-tetrahidropiridina (MPTP), de la enfermedad de Parkinson.

La composición química de los AEs de limón y canela, así como el perfil de ácidos grasos del sacha inchi, han sido documentados por diversos investigadores. Liu et al. (2022) reportaron que el componente mayoritario del AE de limón fue el limoneno (48,54%), α-pineno (30,9%) y el citral (3,65%). Así mismo, Odjo et al. (2022) indicaron como principales componentes al geranial (29,30%), d-limoneno (21,29%), neral (8,68%), por otro lado Hung et al. (2023) informaron al limoneno (45,55%) como componente principal, seguido del γ-terpineno (16,87%) y el geranial (7,32%).

En la composición química del AE de canela, Arteaga-Crespo et al. (2021) encontraron como principal componente al acetato de cinamilo (36,44%), seguido del cinamaldehido (27,03%) y el metil isoeugenol (4,18%), así mismo, Bruni et al. (2004) informaron al cinamaldehido (27,91%) y al éster metílico (21,65%) como compuestos mayoritarios.

En el perfil de ácidos grasos del aceite de sacha inchi, los resultados del presente estudio concuerdan parcialmente con lo reportado por otros autores. Lourith, Kanlayavattanakul y Chaikul (2023) han indicado al α-linolénico (51,72%) y linoleico (24,3%) como principales ácidos grasos. Romero-Hidalgo, Valdiviezo-Rogel y Bonilla-Bermeo (2019) encontraron ácido linolénico a-3 (38,84%) y el ácido linoleico a-6 (34,67%) como los ácidos grasos de mayor presencia. El ácido linoleico y ácido cis-13,16-doconadienoico encontrados en la presenta investigación, se encuentran dentro de la serie omega 3 y el ácido linoleico dentro de la serie omega 6.

La variabilidad en la concentración de los componentes mayoritarios de los AEs de limón y aceite de sacha inchi, puede deberse a diferentes factores tales como método de extracción (Gedikoğlu, Sökmen y Çivit 2019), edad de la planta (Wani et al. 2021), condiciones climáticas (Walia et al. 2020) y condiciones de suelo (Mehalaine y Chenchouni 2020).

4. Conclusiones

En la presente investigación se demostró que tanto el aceite esencial de canela como el de limón tuvieron un efecto significativo en la estabilidad oxidativa del aceite de sacha inchi. El aceite de canela mostró mejores resultados en comparación con el de limón y la mejor dosis de 800 mg/kg para ambos aceites incrementó 2,29 años y 2,07 años respectivamente respecto al testigo. Las propiedades de protección oxidativa se le atribuyeron al cinamaldehído y cariofileno principales constituyentes del aceite de canela, y al limoneno, felandreno y citronelal presentes en el aceite de limón.

Contribuciones de los autores: **Elver Alexander Rojas Gaona:** Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Yasiel Arteaga Crespo: Concepción del trabbajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ADAL, E. y EREN, S., 2019. Rosemary and Oregano Essential Oils as Natural Antioxidantto Preserve Pistachio Puree. *davidpublisher.comE Adal, S Erendavidpublisher.com* [en línea], vol. 9, [consulta: 1 marzo 2024]. DOI 10.17265/2159-5828/2019.08.003. Disponible en: http://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/5dcbaa95754d4.pdf.

AMBROSIO, C.M.S., DIAZ-ARENAS, G.L., AGUDELO, L.P.A., STASHENKO, E., CONTRERAS-CASTILLO, C.J. y DA GLORIA, E.M., 2021. Chemical composition and antibacterial and antioxidant activity of a citrus essential oil and its fractions. *Molecules*, vol. 26, no. 10, ISSN 14203049. DOI 10.3390/molecules26102888.

AOCS Cd 12 -92, 2022. *Manual de métodos oficiales* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111524.

AOCS Ce 2-66, 2017. *Manual de métodos oficiales* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/language/es-AR/Store/Product-Details/productId/111788.

ARTEAGA-CRESPO, Y., URETA-LEONES, D., GARCÍA-QUINTANA, Y., MONTALVÁN, M., GILARDONI, G. y MALAGÓN, O., 2021. Preliminary Predictive Model of Termiticidal and Repellent Activities of Essential Oil Extracted from Ocotea quixos Leaves against Nasutitermes corniger (Isoptera: Termitidae) Using One-Factor Response Surface Methodology Design. *Agronomy 2021, Vol. 11, Page 1249* [en línea], vol. 11, no. 6, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2073-4395. DOI 10.3390/AGRONOMY11061249. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1249/htm.

AYUB, M.A., GOKSEN, G., FATIMA, A., ZUBAIR, M., ABID, M.A. y STAROWICZ, M., 2023. Comparison of Conventional Extraction Techniques with Superheated Steam Distillation on Chemical Characterization and Biological Activities of Syzygium aromaticum L. Essential Oil. *Separations* [en línea], vol. 10, no. 1, [consulta: 27 marzo 2024]. ISSN 2297-8739. DOI 10.3390/SEPARATIONS10010027. Disponible en: https://www.mdpi.com/2297-8739/10/1/27/htm.

BAJ, T., KOWALSKA, G., KOWALSKI, R., SZYMAŃSKA, J., KAI, G., COUTINHO, H.D.M. y SIENIAWSKA, E., 2023. Synergistic Antioxidant Activity of Four—Component Mixture of Essential Oils: Basil, Cedarwood, Citronella and Thyme for the Use as Medicinal and Food Ingredient. *Antioxidants*, vol. 12, no. 3, ISSN 20763921. DOI 10.3390/antiox12030577.

BRUNI, R., MEDICI, A., ANDREOTTI, E., FANTIN, C., MUZZOLI, M., DEHESA, M., ROMAGNOLI, C. y SACCHETTI, G., 2004. Chemical composition and biological activities of Ishpingo essential oil, a traditional Ecuadorian spice from Ocotea quixos (Lam.) Kosterm. (Lauraceae) flower calices. *Food Chemistry*, vol. 85, no. 3, ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2003.07.019.

BUSETTA, G., PONTE, M., BARBERA, M., ALFONZO, A., IOPPOLO, A., MANIACI, G., GUARCELLO, R., FRANCESCA, N., PALAZZOLO, E., BONANNO, A., MOSCHETTI, G., SETTANNI, L. y GAGLIO, R., 2022. Influence of Citrus Essential Oils on the Microbiological, Physicochemical and Antioxidant Properties of Primosale Cheese. *Antioxidants*, vol. 11, no. 10, ISSN 20763921. DOI 10.3390/antiox11102004.

CALDERÓN, F.G.O., ORTIZ, Y.L.S. y GARCÍA, P.L.G., 2018. Chemical composition and antioxidant and antibacterial activity of Ocotea quixos. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, vol. 23, no. 4, ISSN 10284796.

CALLEJA, M.A., VIEITES, J.M., MONTERO-METERDEZ, T., TORRES, M.I., FAUS, M.J., GIL, A. y SUÁREZ, A., 2013. The antioxidant effect of β-caryophyllene protects rat liver from carbon tetrachloride-induced fibrosis by inhibiting hepatic stellate cell activation. *British Journal of Nutrition*, vol. 109, no. 3, ISSN 00071145. DOI 10.1017/S0007114512001298.

CHASQUIBOL, N., IPARRAGUIRRE, K., HUAMÁN, J. y ALARCÓN, R., 2020. Estabilidad oxidativa de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana y Plukenetia volubilis) y su importancia en la industria alimentaria. *Ingeniería Industrial* [en línea], vol. 039, [consulta: 11 marzo 2024]. ISSN 2523-6326. DOI 10.26439/ING.IND2020.N039.4922. Disponible en: https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/4922.

CHRISTO, S.M.M., MARQUES, F.M., FIGUEIRA, M.M., PEISINO, M.C.O., SCHMITT, E.F.P., KONDRATYUK, T.P., ENDRINGER, D.C., SCHERER, R. y FRONZA, M., 2019. Wound healing activity of terpinolene and α-phellandrene by attenuating inflammation and oxidative stress in vitro. *Journal of Tissue Viability* [en línea], vol. 28, no. 2, ISSN 18764746. DOI 10.1016/j.jtv.2019.02.003. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jtv.2019.02.003.

DAHHAM, S.S., TABANA, Y.M., IQBAL, M.A., AHAMED, M.B.K., EZZAT, M.O., MAJID, A.S.A. y MAJID, A.M.S.A., 2015. The Anticancer, Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Sesquiterpene β-Caryophyllene from the Essential Oil of Aquilaria crassna. *Molecules* [en línea], vol. 20, no. 7, [consulta: 4 marzo 2024]. ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/MOLECULES200711808. Disponible en: https://www.mdpi.com/1420-3049/20/7/11808/htm.

DI RAUSO SIMEONE, G., DI MATTEO, A., RAO, M.A. y DI VAIO, C., 2020. Variations of peel essential oils during fruit ripening in four lemon (Citrus limon (L.) Burm. F.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [en línea], vol. 100, no. 1, [consulta: 1 marzo 2024]. ISSN 10970010. DOI 10.1002/jsfa.10016. Disponible en: https://www.academia.edu/download/88033391/jsfa.1001620220627-1-14n9o8y.pdf.

ESMAEILI, M., GOLI, S.A.H., SHIRVANI, A. y SHAKERARDAKANI, A., 2018. Improving Storage Stability of Pistachio Oil Packaged in Different Containers by Using Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) and Peppermint (Mentha piperita) Essential Oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 120, no. 4, ISSN 14389312. DOI 10.1002/ejlt.201700432.

FLORES-SOTO, M.E., CORONA-ANGELES, J.A., TEJEDA-MARTINEZ, A.R., FLORES-GUZMAN, P.A., LUNA-MUJICA, I., CHAPARRO-HUERTA, V. y VIVEROS-PAREDES, J.M., 2021. β-Caryophyllene exerts protective antioxidant effects through the activation of NQO1 in the MPTP model of Parkinson's disease. *Neuroscience Letters* [en línea], vol. 742, no. November 2020, ISSN 18727972. DOI 10.1016/j.neulet.2020.135534. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135534.

GEDIKOĞLU, A., SÖKMEN, M. y ÇIVIT, A., 2019. Evaluation of Thymus vulgaris and Thymbra spicata essential oils and plant extracts for chemical composition, antioxidant, and antimicrobial properties. *Food Science & Nutrition* [en línea], vol. 7, no. 5, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2048-7177. DOI 10.1002/FSN3.1007. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1007.

GOWDER, S.J.T. y DEVARAJ, H., 2006. Effect of the food flavour cinnamaldehyde on the antioxidant status of rat kidney. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, vol. 99, no. 5, ISSN 17427835. DOI 10.1111/j.1742-7843.2006.pto_560.x.

HUNG, Y.H.R., LIN, H.J., LEE, E.C., LU, W.J., LIN, Y.T., HUANG, B. Bin, LIN, T.C. y LIN, H.T.V., 2023. Effect of lemon essential oil on the microbial control, physicochemical properties, and aroma profiles of peeled shrimp. *LWT*, vol. 173, ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/J.LWT.2022.114340.

JIANG, H., SUN, S.L., ZHANG, C., YUAN, E., WEI, Q.Y. y ZENG, Z., 2013. Antioxidative activities of natural hydroxy-bearing cinnamaldehydes and cinnamic acids: A comparative study. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 12, no. 6, ISSN 15965996. DOI 10.4314/tjpr.v12i6.22.

KOLJANČIĆ, N., VYVIURSKA, O. y ŠPÁNIK, I., 2023. Aroma Compounds in Essential Oils: Analyzing Chemical Composition Using Two-Dimensional Gas Chromatography–High Resolution Time-of-Flight Mass Spectrometry Combined with Chemometrics. *Plants* [en línea], vol. 12, no. 12, [consulta: 27 marzo 2024]. ISSN 22237747. DOI 10.3390/PLANTS12122362/S1. Disponible en: https://www.mdpi.com/2223-7747/12/12/2362/htm.

LIU, T., GAO, Z., ZHONG, W., FU, F., LI, G., GUO, J. y SHAN, Y., 2022. Preparation, Characterization, and Antioxidant Activity of Nanoemulsions Incorporating Lemon Essential Oil. *Antioxidants*, vol. 11, no. 4, ISSN 20763921. DOI 10.3390/antiox11040650.

LOIZZO, M.R., TUNDIS, R., BONESI, M., SANZO, G. Di, VERARDI, A., LOPRESTO, C.G., PUGLIESE, A., MENICHINI, F., BALDUCCHI, R. y CALABRÒ, V., 2016. Chemical Profile and Antioxidant Properties of Extracts and Essential Oils from Citrus × limon (L.) Burm. cv. Femminello Comune. *Chemistry and Biodiversity*, vol. 13, no. 5, ISSN 16121880. DOI 10.1002/cbdv.201500186.

LÓPEZ-MATA, M.A., RUIZ-CRUZ, S., DE JESÚS ORNELAS-PAZ, J., DEL TORO-SÁNCHEZ, C.L., MÁRQUEZ-RÍOS, E., SILVA-BELTRÁN, N.P., CIRA-CHÁVEZ, L.A. y BURRUEL-IBARRA, S.E., 2018. Mechanical, Barrier and Antioxidant Properties of Chitosan Films Incorporating Cinnamaldehyde. *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 26, no. 2, ISSN 15662543. DOI 10.1007/s10924-017-0961-1.

LOURITH, N., KANLAYAVATTANAKUL, M. y CHAIKUL, P., 2023. Sacha Inchi: The Promising Source of Functional Oil for Anti-Aging Product. *Journal of Oleo Science*, vol. 2023, ISSN 1345-8957. DOI 10.5650/jos.ess23147.

MAYA, I., WINARDI, D.O., AMALIA, E., MITA, S.R., KUSUMAWULAN, C.K., PUTRIANA, N.A. y SRIWIDODO, S., 2023. Physicochemical Characteristics, Fatty Acid Profile, and In Vitro Antioxidant Activity Evaluation of Sacha Inchi Seed Oil from Indonesia. *Cosmetics*, vol. 10, no. 6, ISSN 20799284. DOI 10.3390/cosmetics10060171.

MEHALAINE, S. y CHENCHOUNI, H., 2020. Plants of the same place do not have the same metabolic pace: soil properties affect differently essential oil yields of plants growing wild in semiarid Mediterranean lands. *Arabian Journal of Geosciences* [en línea], vol. 13, no. 23, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 18667538. DOI 10.1007/S12517-020-06219-4/TABLES/3. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-06219-4.

MOLANIA, T., MOGHADAMNIA, A.A., POURAMIR, M., AGHEL, S., MOSLEMI, D., GHASSEMI, L. y MOTALLEBNEJAD, M., 2012. The effect of Cinnamaldehyde on mucositis and salivary antioxidant capacity in gamma-

irradiated rats (a preliminary study). *DARU, Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 20, no. 1, ISSN 15608115. DOI 10.1186/2008-2231-20-89.

MOOSAVY, M.H., HASSANZADEH, P., MOHAMMADZADEH, E., MAHMOUDI, R., KHATIBI, S.A. y MARDANI, K., 2017. Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of lemon (Citrus limon) peel in vitro and in a food model. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, vol. 4, no. 2, ISSN 23456825.

NAVEENA, B.M., MUTHUKUMAR, M., SEN, A.R., PRAVEEN KUMAR, Y. y KIRAN, M., 2014. Use of cinnamaldehyde as a potential antioxidant in ground spent hen meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 38, no. 4, ISSN 17454549. DOI 10.1111/jfpp.12163.

NETA, M.C.S., VITTORAZZI, C., GUIMARÃES, A.C., MARTINS, J.D.L., FRONZA, M., ENDRINGER, D.C. y SCHERER, R., 2017. Effects of β-caryophyllene and Murraya paniculata essential oil in the murine hepatoma cells and in the bacteria and fungi 24-h time-kill curve studies. *Pharmaceutical Biology* [en línea], vol. 55, no. 1, ISSN 17445116. DOI 10.1080/13880209.2016.1254251. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/13880209.2016.1254251.

NORIEGA, R.P.F., LARENAS, U.C.F., CHASIPANTA, R.E.C., CHICAIZA, G.T.S. y IBARRA, M.M. V., 2018. Antioxidant potential of five essential oils from kutukÚ biological station. *Pharmacologyonline*, vol. 3, ISSN 18278620.

OBADIAH, A., KANNAN, R., RAMESH, P., RAMASUBBU, A. y VASANTH KUMAR, S., 2012. Murraya koenigii and study of their antioxidant activity. *Chemistry of NAgtural Compounds*, vol. 48, no. 1,

ODJO, K., AL-MAQTARI, Q.A., YU, H., XIE, Y., GUO, Y., LI, M., DU, Y., LIU, K., CHEN, Y. y YAO, W., 2022. Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial films containing encapsulated lemon essential oil by ionic gelation and cranberry juice. *Food Chemistry*, vol. 397, ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/J.FOODCHEM.2022.133781.

ORMACHEA, C. y FERRETTI, C.A., 2022. In Silico Evaluation of Antioxidant Properties of Cinnamaldehyde Phenylhydrazone. *Chemistry proceedings*, vol. 8, no. 10, DOI 10.3390/ecsoc-25-11711.

PINO, J., FON-FAY, F., FALCO, A. y PÉREZ, J., 2018. Chemical composition and biological activities of essential oil from Ocotea quixos (Lam.) Kosterm. leaves grown wild in Ecuador. *American Journal of Essential Oils and Natural Products* [en línea], vol. 6, no. 1, ISSN 2321-9114. Disponible en: file:///C:/Users/UEA/Downloads/Chemical composition and biological activities.pdf.

RIVERA, R.A., DEL CARMEN-PÉREZ, C.M. y SILVA, N.C., 2019. Evaluación de la vida útil de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana y Plukenetia volubilis) MICROENCAPSULADOS. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], vol. 85, no. 3, [consulta: 11 marzo 2024]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300005.

ROMERO-HIDALGO, L.E., VALDIVIEZO-ROGEL, C.J. y BONILLA-BERMEO, S.M., 2019. Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (plukenetia volubilis) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* [en línea], vol. 30, no. 2, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1390-8596. DOI 10.17163/LGR.N30.2019.07. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962019000200077&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

SHAH, B.B. y MEHTA, A.A., 2018. In vitro evaluation of antioxidant activity of D-Limonene. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, vol. 4, no. 6, DOI 10.31024/ajpp.2018.4.6.25.

SINGH, H.P., KAUR, S., NEGI, K., KUMARI, S., SAINI, V., BATISH, D.R. y KOHLI, R.K., 2012. Assessment of in vitro antioxidant activity of essential oil of Eucalyptus citriodora (lemon-scented Eucalypt; Myrtaceae) and its major constituents. *Food Science and Technology*, vol. 48, no. 2, ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2012.03.019.

STASHENKO, E. E., MARTÍNEZ, J. R., DURÁN, D. C., CÓRDOBA, Y. y CABALLERO, D., 2014. Estudio comparativo de la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales de algunas plantas del género *Lippia* (Verbenaceae) cultivadas en Colombia. *Ciencias Naturales*, vol. 38.

SURYANTI, V., WIBOWO, F.R., KHOTIJAH, S. y ANDALUCKI, N., 2018. Antioxidant Activities of Cinnamaldehyde Derivatives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 333, no. 1, ISSN 1757899X. DOI 10.1088/1757-899X/333/1/012077.

WALIA, S., MUKHIA, S., BHATT, V., KUMAR, Rakshak y KUMAR, Rakesh, 2020. Variability in chemical composition and antimicrobial activity of Tagetes minuta L. essential oil collected from different locations of Himalaya. *Industrial Crops and Products*, vol. 150, ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/J.INDCROP.2020.112449.

WANG, D., DONG, Y., WANG, Q., WANG, X. y FAN, W., 2020. Limonene, the compound in essential oil of nutmeg displayed antioxidant effect in sunflower oil during the deep-frying of Chinese Maye. *Food Science and Nutrition*, vol. 8, no. 1, ISSN 20487177. DOI 10.1002/fsn3.1333.

WANI, A.R., YADAV, K., KHURSHEED, A. y RATHER, M.A., 2021. An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, vol. 152, ISSN 0882-4010. DOI 10.1016/J.MICPATH.2020.104620.

YANG, S.A., JEON, S.K., LEE, E.J., SHIM, C.H. y LEE, I.S., 2012. Comparative study of the chemical composition and antioxidant activity of six essential oils and their components. *Natural Product Research*, vol. 24, no. 2, ISSN 14786419. DOI 10.1080/14786410802496598.