

Recibido 10 de marzo de 2025
Aceptado 1 de julio de 2025

www.unipaz.edu.co

Evaluación de aceites esenciales, a partir de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) utilizando diferentes métodos de extracción para su posible uso industrial en la ciudad de Barrancabermeja.

Evaluation of essential oils from orange peel (Citrus sinensis) using different extraction methods for possible industrial use in the city of Barrancabermeja.

Juan Camilo Ayala Mayoral^a, Carina Cardenas Lopez^a, Michell Tatiana Currea Rueda^a, Juan Carlos Amezcua^b, Kelly Johana Gomez Jimenez^b

Resumen: El aceite esencial de naranja tiene múltiples aplicaciones en diversas industrias, como la farmacéutica, alimentaria y cosmética, y se destaca por su biodegradabilidad. En este estudio, realizado por el semillero SITEC del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), se evaluó la extracción de aceite esencial a partir de residuos de naranja generados en un puesto de venta de fritos y jugos en Barrancabermeja, Colombia. Se emplearon los métodos de arrastre por vapor e hidrodestilación asistida por microondas, en los cuales la cáscara de naranja fue sometida al paso de vapor de agua. El condensado obtenido se decantó para separar el aceite esencial. Los rendimientos oscilaron entre 0,133 % y 0,378 % para el arrastre por vapor, y entre 0,116 % y 0,299 % para la hidrodestilación asistida por microondas. El producto final es un líquido translúcido, altamente volátil, con una densidad de 0,83 g/cm³ y un aroma característico a naranja.

Palabras clave: naranja, extracción, aceite esencial, propiedades fisicoquímicas, investigación en ciencias.

Abstract: Orange essential oil has multiple applications in various industries, such as pharmaceutical, food, and cosmetics, and stands out for its biodegradability. In this study, carried out by the SITEC seedbed of the University Institute of Peace (UNIPAZ), the extraction of essential oil from orange waste generated in a fried food and juice stall in Barrancabermeja, Colombia, was evaluated. Steam entrainment and microwave-assisted hydrodistillation methods were used, in which the orange peel was subjected to the passage of water vapor. The condensate obtained was decanted to separate the essential oil. Yields ranged from 0.133% to 0.378% for steam entrainment, and from 0.116% to 0.299% for microwave-assisted hydrodistillation. The final product is a translucent, highly volatile liquid with a density of 0.83 g/cm³ and a characteristic orange aroma.

Keywords: orange, extraction, essential oil, physicochemical properties, research in science.

INTRODUCCIÓN

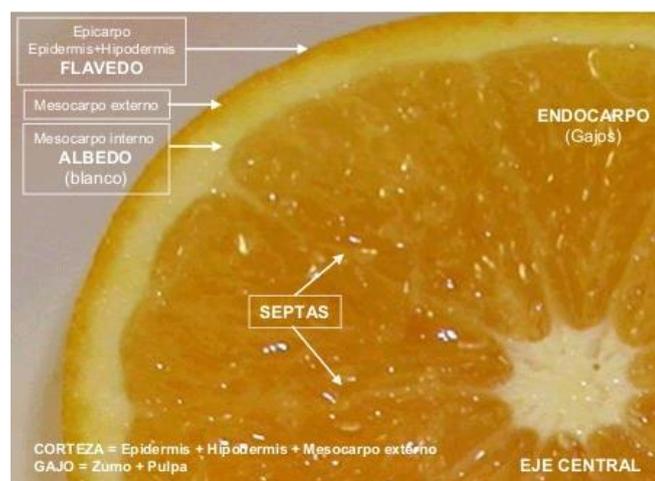
Colombia es uno de los principales productores de naranja en América Latina, con una producción anual de aproximadamente 400 mil toneladas (Troid, 2023). Esta fruta ofrece varios subproductos, destacando el aceite esencial, conocido por sus cualidades y

aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. La producción de naranja es significativa, y la agroindustria se centra principalmente en la obtención del zumo y el néctar. Sin embargo, una parte considerable del fruto se descarta como desecho, aproximadamente entre el 23 % y el 40 %. La naranja está compuesta por epicarpio, albedo, endocarpio, semillas, eje central y gajos (Galindo et al., 2023).

^aSemillero de Investigación de Tecnologías Limpias – SITEC.

^bGrupo de Investigación de Ciencias e Ingenierías – CIPAZ.

†dir.ciencias@unipaz.edu.co

Imagen 1. Partes de la naranja

Fuente: Agrícola, 2012.

Los residuos sólidos constituyen un problema significativo debido a factores como el desarrollo deficiente del sector industrial, los constantes cambios en los patrones de consumo, el crecimiento demográfico y la búsqueda de una mejor calidad de vida, lo que genera grandes cantidades de desechos que, en muchos países, especialmente en América Latina, no son aprovechados ni tratados adecuadamente (Montes, 2019).

En 1998, la República de Colombia, a través del Ministerio de Medio Ambiente, estableció una política para la gestión integral de residuos, en la cual se expone que en el país existe una creciente generación de desechos, algunos de los cuales pueden ser aprovechados, como es el caso de los cítricos (Carrascal et al., 2019).

Barrancabermeja es un municipio que genera aproximadamente 5.817,06 toneladas mensuales de residuos sólidos, de las cuales el 69 % corresponde a desechos orgánicos (Moreno, 2022). Al no aprovecharse adecuadamente estos residuos, se desperdicia su potencial. Uno de los posibles aprovechamientos es el uso de la cáscara de naranja, ya que en Barrancabermeja no se realiza ningún tratamiento distinto al natural por degradación. Esto se debe a que los comercializadores suelen ser personas

informales y pequeñas empresas que desconocen la correcta disposición final de los residuos de naranja. Por ello, surge la necesidad de generar un producto, en este caso la extracción de aceite esencial, con el fin de disminuir el impacto ambiental causado por estos desechos.

Las cáscaras de naranja tienen potencial como materia prima para la extracción de compuestos valiosos, como las pectinas, dado que contienen aproximadamente un 62,7 % de carbohidratos, de los cuales entre el 30 % y el 50 % son pectinas. También contienen hemicelulosa (10 %–20 %) y celulosa (20 %–40 %). Por esta razón, la cáscara de naranja es considerada una fuente posible para la obtención de pectinas. Además, debido a la variedad de sus componentes, es posible extraer aceites esenciales de la cáscara, que está compuesta por una epidermis y un exocarpo con células irregulares de paredes finas que encierran glándulas donde se almacenan sustancias volátiles (Asma et al., 2011; Velázquez-Nuñez et al., 2012). No se conoce con exactitud dónde se forman los aceites esenciales, pero se piensa que el aceite se desplaza durante el crecimiento de la planta. En general, se considera que los aceites esenciales de los cítricos son productos de los metabolitos secundarios de estas plantas (Bousbia et al., 2008).

El aceite esencial de naranja está compuesto por una mezcla de monoterpenos, sesquiterpenos y compuestos oxigenados (ésteres, alcoholes, cetonas, aldehídos). Los terpenos constituyen la mayor parte del aceite esencial, seguidos por los sesquiterpenos, que contribuyen en menor medida al aroma y sabor, ya que principalmente actúan como soporte para los compuestos oxigenados, los cuales aportan la mayor parte del olor y sabor característicos del aceite (Maximiliano et al., 2022).

Tabla 1. Concentración relativa de los principales componentes en el aceite esencial de cáscara de naranja obtenido por hidrodestilación, obtenida a partir de GC-MS.

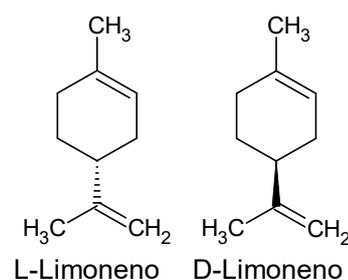
Compounds	Fragmentation ions (m/z)	Identification	Area %
α -pinene	121, 105,98,79,77	MS, RI	0.6
Sabinene	136,94,93,79,77	MS, RI	0.39
Myrcene	93,79,77,69,67	MS, RI	2.82
n-Octanal	100,93,85,84,69	MS, RI	0.24
Limonene	136,121,107,94,93,79,68,53	MS, RI	90.72
β -Ocimene	121,105,98,79,77,67	MS, RI	0.01
β -Ocimene	121,105,98,80,79	MS, RI	0.01
γ -Terpinene	136,121,93,77	MS, RI	0.05
n-Octanol	84,70,69,56	MS, RI	0.02
Terpinolene	136,121,105,93,79	MS, RI	0.18
Linalool	121,93,80,71,67,55	MS, RI	0.02
n-Nonanal	98,95,82,70,67,57,55	MS, RI	0.58
Limoxide	108,95,94,81,79,67,55,53	MS, RI	0.1
Citronellal	121,111,95,69,55	MS, RI	0.05
Terpinen-4-ol	111,93,71,69,55	MS, RI	0.06
α -Terpineol	136,121,93,81,67,59	MS, RI	0.05
n-Decanal	112,95,84,82,70,68,57	MS, RI	0.13
Octanol acetate	112,83,73,70,61,56	MS, RI	1.24
Carveol	109,91,84,69,55	MS, RI	0.13

Fuente: Olabinjo y Oliveira, 2020.

El componente principal del aceite esencial de naranja es el D-Limoneno, este representa el 90%. El D- Limoneno en alta concentración posee el olor característico de la naranja, además es un disolvente natural para eliminar grasa y suciedad.

El Limoneno posee un centro quiral, quiere decir que cuenta con un carbono asimétrico, por lo tanto existe 2 isómeros ópticos: L-Limoneno y D-Limoneno. En los últimos años ha adquirido importancia como un disolvente industrial, además industrialmente tiene aplicaciones como componente aromático y es utilizado para sintetizar nuevos compuestos (Balboa, 2016), como el p-Cimeno que se produce por deshidrogenación catalítica, también es utilizado como disolvente de resinas, tintas, fabricación de adhesivos, pigmentos, etc. En la industria farmacéutica y alimentaria es utilizado como componente aromático, para dar sabor, siendo usado por ejemplo en la obtención de sabores artificiales de menta y goma de mascar.

Imagen 2. Estructura química del Limoneno



Fuente: Autores.

El aceite de naranja tiene unas características fisicoquímicas establecidas por la norma ISO 3140:2019.

Tabla 2. Requisitos del aceite de naranja dulce

Características	Requerimientos	Método de prueba ISO
Apariencia	Líquido claro y móvil	--
Color	Amarilla a amarilla rojiza	--
Olor	Característico, olor a piel de naranja	--
Densidad relativa a 20 °C, d_{20}^{20}	0,842 a 0,850	ISO 279
Índice de refracción a 20 °C	1,470 a 1,476	ISO 280
Rotación óptica	Entre +94° y +99°	ISO 592
Residuo de evaporación	1,0 % a 4,0 %	ISO 4715

Fuente: Organización Internacional de Normalización [ISO], 2019

Tabla 3. Parámetros utilizados para el control de calidad de los aceites esenciales.

Características organolépticas	Olor
	Color
	Sabor
Características físicas	Densidad
	Índice de refracción
	Desviación polarimétrica
	Miscibilidad en etanol
Características químicas	Índice de acidez
	Índice de peróxidos
	Índice de fenoles
	Índice de éster

Determinación de aldehídos y cetonas	
Características cromatográficas	Cuantificación de los componentes principales utilizando cromatografía de gases

Fuente: Revilla y Rivera, 2014)

Para utilizar el aceite esencial también es importante conocer y definir su composición, sus características fisicoquímicas y organolépticas como parámetros para determinar sus requisitos mínimos de calidad.

- **Densidad:** Según la norma técnica colombiana NTC 336 (2016). Los aceites que tienen una densidad menor a la del agua son ricos en hidrocarburos, alcoholes, aldehídos y cetonas. Los aceites con una densidad mayor a 1g/mL contienen fenoles, éteres y derivados fenolíticos (Adlard, 2010).
- **Índice de refracción:** NTC 289 (2019). El índice de refracción va relacionado con la calidad del aceite cuanto mayor sea el índice de refracción mayor pureza y mayor calidad. El aceite de naranja tiene un promedio de 1,5 (López de la Cruz y Caso Orihuela, 2015).
- **Índice de acidez:** NTC 218 (2011): Es importante para conocer la calidad del aceite, los aceites que son recién extraídos contienen un bajo índice acidez, pero si llega a tener un valor alto puede ser por un mal almacenamiento u/o acondicionamiento debido a la inestabilidad termina de aldehídos, hidrocarburos, terpenos y esteroides que en contacto con el aire libre se oxidan generando ácidos carboxílicos con mal olor.
- **Índice de peróxidos:** NTC 236 (2011). Un alto índice de peróxidos indica un elevado nivel de degradación lo cual conlleva a una baja calidad del aceite haciendo que el aceite esencial tome un olor y sabor desagradable (HANNA Instruments, s. f.).
- **Análisis cromatográfico de gases (GC):** Esta cromatografía permite conocer de forma cualitativa y cuantitativa los componentes aromáticos del aceite esencial. Este análisis

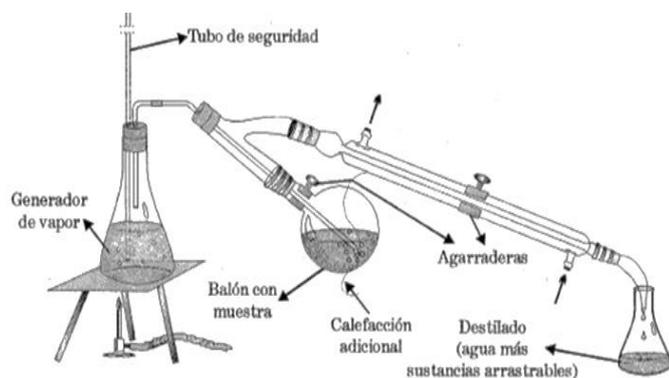
facilita la separación, identificación y determinación de componentes relacionados en mezclas complejas. Para identificar la composición del aceite esencial se necesita un detector los más utilizados son: Uv-vis, infrarrojo, detector de ionización de llama (FID) y detector de espectrometría de masas (MS) (Bandoni, 2000).

Por otro lado, para extraer aceite esencial existen varios métodos de extracción, algunos son:

- **Hidrodestilación:** Es el método más sencillo para la extracción de aceites esenciales y consiste en realizar una inmersión de la biomasa en agua hirviendo. El material vegetal absorbe el agua durante el proceso de ebullición y el aceite contenido en las células aceitosas se difunde a través de las paredes celulares por medio de ósmosis. Una vez que el aceite se ha difundido fuera de las células oleaginosas, se vaporiza y es arrastrado por la corriente de vapor. La volatilidad de los componentes del aceite no se ve influenciada por la velocidad de vaporización, pero sí depende de su grado de solubilidad en el agua. En consecuencia, los componentes esenciales más solubles en agua se destilarán antes que los más volátiles, y los menos solubles en agua se extraen a tiempos más prolongados. Una de las desventajas es que el aceite tiene más color que los obtenidos por arrastre de vapor, además tiende a tener un olor a quemado por eso se tiende a refinar (Veliz y González, 2017)
- **Arrastre de vapor:** En este método se obtiene un aceite puro, de buena calidad y con buenos rendimientos, este proceso consiste en un hervidor (caldera) donde se genera el vapor para llevar a cabo la extracción; un extractor donde se almacena

el material al cual se va a extraer el aceite esencial; un condensador donde se condensa el vapor del agua y separador (Florentino) donde se separa el aceite esencial del agua.

Imagen 3. Montaje de arrastre de vapor



Fuente: Galagovsky, 1995.

En el arrastre de vapor se debe tomar en cuenta la calidad de vapor: la presión de vapor, la temperatura de vapor; el área de la columna de presupuesto: Q-10180967 destilación, la cantidad de material vegetal que se va a alimentar; las condiciones de condensación, la temperatura de condensación debe estar alrededor de los 40°C, para una mejor separación del condensado, el flujo de separación, diseño del vaso florentino, la temperatura del destilado (Galagovsky, 1995).

- Extracción soxhlet:** Este método consiste en poner en contacto el líquido con un sólido durante un determinado tiempo quedando disuelta en el solvente la sustancia buscada. Este proceso se inicia macerando el material para que de esta manera pueda haber mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. El proceso se debe dejar por un lapso de tiempo para lograr mejor eficiencia, así mismo el material disuelto se recupera del solvente por evaporación o cristalización. El proceso se puede ejecutar por lotes o en forma continua como lixiviación o

extracción tipo soxhlet. Los solventes más empleados son: Etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo (Trujillo et al., 2021).

Imagen 4. Montaje de extracción soxhlet típico.



Fuente: Calvo et al, 2015.

Prensado y molienda en frío: El aceite molido en frío se obtiene rompiendo las células de aceite por medios mecánicos sin tratamientos químicos o de calentamiento. En este método la cáscara de la fruta suele empaparse en una solución de cal para endurecerla y se presiona para romper las células oleosas y liberar el aceite (Shan, 2016). El aceite prensado en frío puede obtenerse después rociando con agua y luego centrifugando. Este método produce aceites esenciales coloreados de buena calidad y alto valor.

Imagen 5. Equipo de prensado en frío.

Fuente: Suquillo et al., 2017

MÉTODOS

Recolección y tratamiento de la materia prima

Se utilizaron cáscaras de naranja criolla recolectadas al azar en puestos de comida y refrescos. A las naranjas se le extrajo el zumo por extrusión mecánica y las cáscaras se depositaron en bolsas plásticas limpias para ser transportadas al laboratorio de suelos y aguas del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) para llevar a cabo la extracción del aceite esencial.

Hidrodestilación asistida por microondas

Se empleó un montaje de destilación con un equipo clewenger para aceites menos densos que el agua, un sistema de enfriamiento con dos condensadores, agua recirculada como líquido de enfriamiento y como fuente de calentamiento un microondas marca Kalley con voltaje de 120 V, una potencia de salida de 700W y una frecuencia de

microondas de 2450 MHz, como se muestra en la Imagen 6. Las cáscaras de naranja se separaron del albedo, se lavaron, se cortaron en trozos pequeños, y posteriormente se pesaron 400g, 550g y 700g de cáscara. Estas se introdujeron en el matraz de fondo redondo con capacidad volumétrica de 2 L y se agregó 500 mL de agua, seguidamente se introdujo el matraz de fondo redondo con el contenido al microondas y se acopló al equipo clewenger, después se digitó el tiempo de las extracciones (0.5 h, 1 h y 0.75 h) en el panel del microondas y se procedió a iniciar el calentamiento al mismo tiempo que se encendió el sistema de condensación para evitar la pérdida del vapor de agua y el aceite esencial.

Imagen 6. Montaje de hidrodestilación asistida por microondas.

Fuente: Autores.

Terminado el tiempo de extracción, se separó el aceite esencial del agua por decantación en el equipo clevenger, luego este aceite se secó utilizando sulfato de sodio anhidro y finalmente se pesó, para posteriormente almacenarlo en un frasco color ámbar y guardarlo en una nevera a 4 °C, como lo indica Aromas fempal (2023).

Arrastre de vapor

La extracción de aceite por arrastre con vapor se llevó a cabo utilizando un extractor de aluminio con capacidad volumétrica de 22 L y una resistencia de cobre de 1050 W, un sistema de enfriamiento con dos condensadores, agua recirculada como líquido de enfriamiento y un decantador cuello de cisne para separar el aceite esencial del agua, como se muestra en la Imagen 7; las cáscaras de naranja se lavaron, se dejaron escurrir, se pesaron y se introdujeron en el extractor el cual contenía 5 litros de agua. Posteriormente, se selló el extractor y se acopló a los condensadores por medio de un tubo de cobre, seguidamente se encendió el sistema de calentamiento. Mientras se llevaba a cabo la extracción, el agua condensada se iba recolectando en un recipiente de vidrio con una trampa de agua para posteriormente medir su cantidad. Terminado el tiempo de extracción, se separó el aceite esencial utilizando una pipeta de 10 mL. Este aceite se secó utilizando sulfato de sodio anhidro y finalmente se pesó, para posteriormente almacenarlo en un frasco color ámbar y someterlo a refrigeración (4 °C). El extractor se dejó enfriar para luego sacar las cáscaras y medir el agua contenida en este.

Las cargas utilizadas fueron de 6,500 g, 8,000 g y 9,500, además los tiempos de extracción utilizados fueron de 2,5 h, 2,75 h y 3 h.

Imagen 7. Montaje de arrastre de vapor.



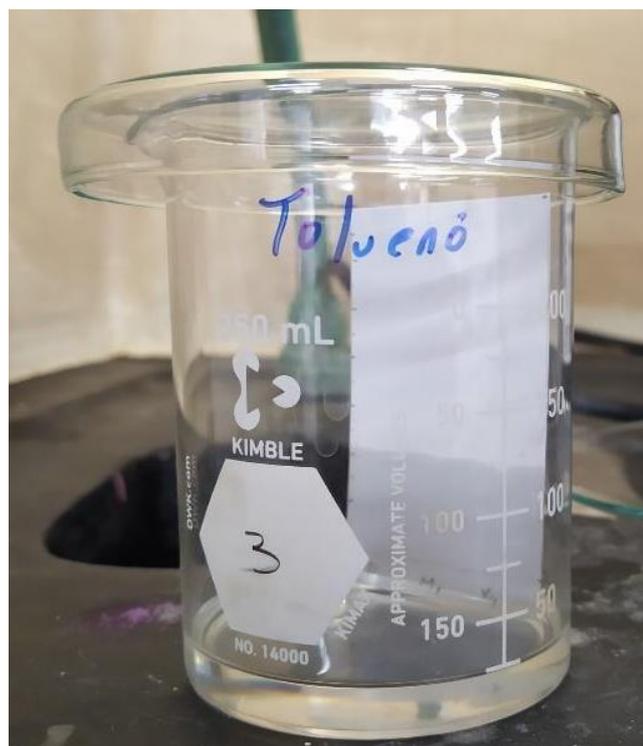
Fuente: Autores.

Al aceite esencial extraído por los dos métodos se le realizaron análisis de índice de acidez por triplicado como lo indica la NTC 218 (2011), índice de peróxido por triplicado por la NTC 236 (2011), índice de refracción por quintuplicado con el refractómetro Abbe digital marca Labware scientific por la NTC 289 (2019) y densidad, este se realizó por quintuplicado por la NTC 336 (2016).

Análisis por cromatografía de capa fina

Para llevar a cabo la cromatografía en capa fina del aceite esencial destilado se utilizó como fase estacionaria láminas de sílica gel sobre aluminio y como fase móvil se utilizó tolueno como solvente. Sobre el cromatofolio se trazó una línea base, donde por medio de una pipeta Pasteur se colocó un punto de la muestra obtenida y otro de D-Limoneno patrón, luego se sumergió la lámina en un vaso que contiene el solvente a utilizar, como se observa en la imagen 8. Para el revelado de la lámina se utilizó una solución de Permanganato de Potasio (KMnO₄) 0,02 M. La lámina se sumergió en la solución oxidante después de dejarla secar por 1 minuto. Se midió la distancia recorrida del patrón de D-Limoneno, del aceite esencial obtenido y de la muestra destilada para comparar sus factores de retención (R_f) (Organic Chemistry Lab Techniques, 2022).

Imagen 8. Cromatofolio sumergible en solvente (tolueno).



Fuente: Autores

Destilación al vacío del aceite esencial de naranja

Para llevar a cabo la destilación al vacío se utilizaron 80 mL de aceite esencial de naranja crudo obtenido por arrastre de vapor, como se muestra en la Imagen 9.

Imagen 9. Montaje de destilación fraccionada al vacío.



Fuente: Autores

Se encendió la bomba de vacío y se graduó la presión a 122 mmHg, continuamente se encendió el sistema de calentamiento y se subió la temperatura lentamente durante 20 minutos hasta llegar a 66 °C. Una vez empezó a evaporarse y condensarse el aceite, se recogieron las primeras gotas en el primer balón de recolección y luego se cambió al segundo balón, pasada una hora se apagó el sistema de calentamiento y para finalizar se tomó una muestra de los fondos y el destilado para examinar por cromatografía de capa fina. El proceso se repitió 10 veces trasvasando el destilado y los fondos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del proceso

En la tabla 4, se muestran los valores promedio de los datos recogidos en la extracción por hidrodestilación asistida por microondas. Así mismo, en la tabla 5 se observan los valores obtenidos para la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor.

Tabla 4. Resultados de la extracción por Hidrodestilación asistida con microondas

Peso de cáscara (g)	400	550	700
Cantidad de agua suministrada (L)	0,5	0,5	0,5
Cantidad de agua sobrante (L)	0,295	0,280	0,300
Consumo de vapor	0,205	0,220	0,200
Cantidad de agua aromática (L)	0,061	0,035	0,025
Cantidad total de agua recogida (L)	0,356	0,315	0,325
Cantidad de vapor perdido	0,144	0,185	0,175
Tiempo de extracción (h)	0,50	0,75	0,50
Peso de aceite obtenido (g)	0,606	1,323	1,756
Rendimiento	0,152%	0,241%	0,251%

Fuente: Autores.

Tabla 5. Resultados de la extracción por arrastre de vapor.

Peso de cáscara (g)	6500	8001	9524
Cantidad de agua suministrada (L)	5,0	5,0	5,0
Cantidad de agua sobrante (L)	4,29	3,75	3,86
Consumo de vapor	0,710	1,250	1,140
Cantidad de agua aromática (L)	1,096	0,990	0,970
Cantidad total de agua recogida (L)	4,986	4,740	4,830
Cantidad de vapor perdido	0,014	0,260	0,170
Tiempo de extracción (h)	2,50	2,75	3
Peso de aceite obtenido (g)	2,115	4,992	5,405
Rendimiento	0,032%	0,062%	0,057%

Fuente: Autores.

Para calcular la energía consumida en la generación de vapor para la extracción del aceite esencia de naranja utilizando el método de arrastre con vapor se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = (C_p * m_1 * \Delta T) + (m_{vapor} * \Delta H_{vap})$$

Donde,

C_p = calor específico del agua (4,186 J/g*°C).

m_1 =cantidad de agua suministrada en el hervidor (g).

ΔT =diferencia de temperatura del agua en el hervidor (°C).

m_{vapor} =cantidad de vapor condensado en la extracción (g).

ΔH_{vap} =Entalpía de vaporización del agua (2272 J/g).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI®, que permite el análisis de datos (análisis estándar para descripción, comparación de datos, análisis multivariante, análisis de series temporales, entre otros) y obtener gráficos e informes para presentaciones. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

Variable dependiente: Aceite obtenido (g).

Variables independientes:

- Peso de cáscara (g).
- Tiempo de extracción (h).
- Consumo vapor (L).

Tabla 6. Análisis estadístico para arrastre de vapor.

Parámetro	Error		Estadístico	
	Estimación	Estándar	T	Valor-P
Constante	1.40012	3.58264	0.390808	0.7061
Peso de cáscara (g)	0.00140895	0.000224123	6.28652	0.0002
Tiempo de extracción (h)	-4.839	1.84106	-2.62838	0.0303
Consumo vapor	4.25583	1.27567	3.33616	0.0103

Fuente: Programa estadístico Statgraphic Centurion.

Tabla 7. Análisis de Varianza para arrastre de vapor.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
Modelo	22.2629	3	7.42095	13.37	0.0018
Residuo	4.43996	8	0.554996		
Total (Corr.)	26.7028	11			

Fuente: Programa estadístico Statgraphic Centurion.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 83.3727% de la variabilidad en Aceite obtenido (g). El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.74498. El error absoluto medio (MAE) de 0.505359 es el valor promedio de los residuos. Puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 8. Análisis Estadístico para HDmw.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Constante	-2.8457	1.87635	-1.51661	0.1731
Peso de cáscara (g)	0.0018329	0.00095781	1.91363	0.0972
Cantidad de agua (L)	-0.123266	0.370386	-0.332803	0.7490
Agua sobrante (L)	0.557666	0.388097	1.43692	0.1939
Tiempo de extracción (h)	0.950206	0.84831	1.12012	0.2996

Fuente: Programa estadístico Statgraphic Centurion.

Tabla 9. Análisis de Varianza para HDmw.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1.32931	4	0.332328	4.25	0.0466
Residuo	0.547077	7	0.0781538		
Total (Corr.)	1.87639	11			

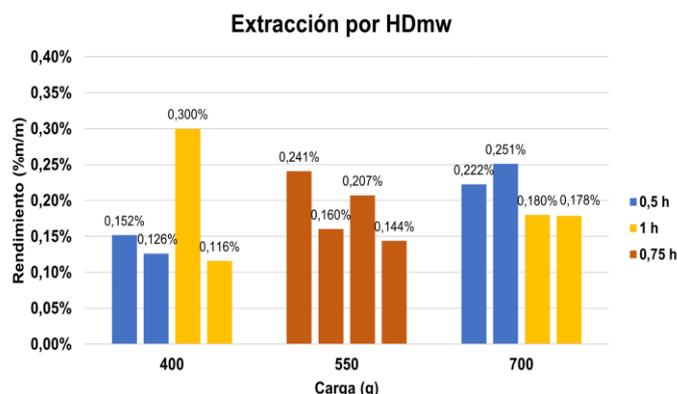
Fuente: Programa estadístico Statgraphic Centurion.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 70.8442% de la variabilidad en Aceite obtenido (g). El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.27956. El error absoluto medio (MAE) de 0.181395 es el valor promedio de los residuos. Puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

Rendimiento y consumo energético

En la figura 1, se observan los resultados obtenidos de la extracción de aceite esencial utilizando el método de arrastre por vapor. En el eje “x” se dividen las pruebas respecto a la cantidad de material utilizado (o carga) y en el eje “y” el rendimiento de la extracción (%p/p). El color de las barras representa el tiempo de extracción del ensayo.

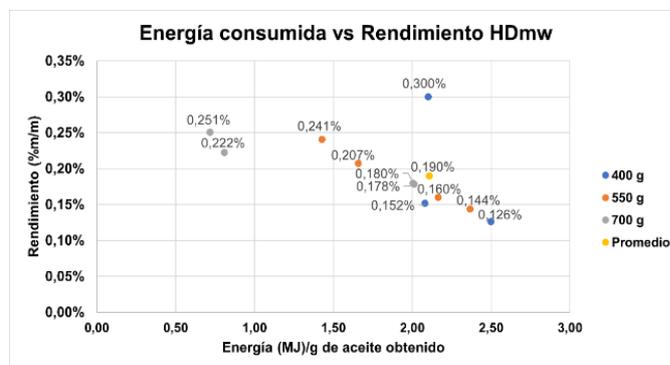
Figura 1. Rendimientos obtenidos por hidrodestilación asistida con microondas.



Fuente: Autores.

Se puede observar que el comportamiento en la extracción por hidrodestilación asistida por microondas es similar al de la extracción con arrastre de vapor, en el que utilizando una carga de 550 y 700 g se obtiene un relativo bajo consumo de energía y alto rendimiento de extracción.

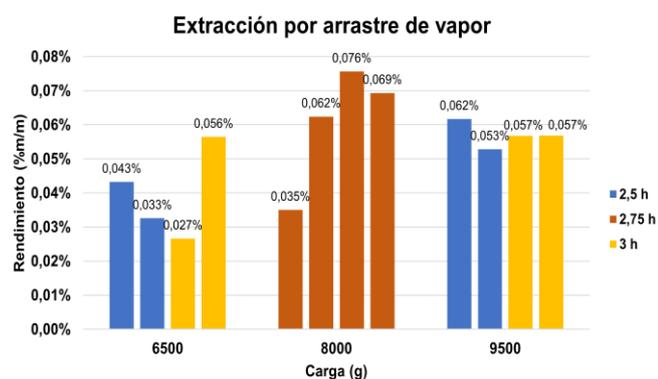
Figura 2. Energía consumida VS Rendimiento de hidrodestilación asistida con microondas.



Fuente: Autores.

En la figura 3, se observan los resultados obtenidos de la extracción de aceite esencial utilizando el método de arrastre por vapor. En el eje “x” se dividen las pruebas respecto a la cantidad de material utilizado (o carga) y en el eje “y” el rendimiento de la extracción (%p/p). El color de las barras representa el tiempo de extracción del ensayo.

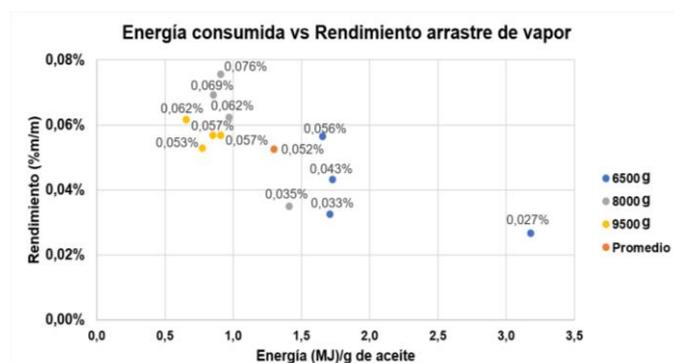
Figura 3. Rendimientos obtenidos por extracción de arrastre de vapor.



Fuente: Autores.

Para los procesos de extracción realizados se obtuvo un rendimiento promedio de 0,053%, es decir, por cada kg de materia prima suministrada se obtienen aproximadamente 0,535 g de aceite esencial de naranja. El consumo de vapor es de 0,296 Kg de agua por cada gramo de aceite esencial obtenido, y se calculó la cantidad de energía promedio requerida para la extracción el cual es de 1,3 MJ por gramo de aceite esencial.

Figura 4. Energía consumida vs rendimiento de la extracción con arrastre por vapor.



Fuente: Autores.

Se puede observar que en la extracción por arrastre de vapor utilizando una carga de materia prima entre 8000 y 9500 gramos se obtiene un relativo bajo consumo de energía y un alto rendimiento de extracción de aceite esencial, y para cargas inferiores se encontraron rendimientos de

extracción bajos y amplios rangos de consumo de energía.

En la tabla 10, se resumen los datos obtenidos para la extracción de aceite esencial.

Tabla 10. Parámetros y método de extracción.

Parámetro / Método de extracción	Arrastre de vapor	Hidrodestilación asistida por microondas
Rendimiento (%m/m)	0,260%	0,190%
g aceite/kg cáscara	0,535	0,385
Consumo de vapor (kg)/g aceite	0,296	-
Energía (MJ)/g de aceite	1,30	2,11
Potencia del equipo utilizado (kWh)/g aceite	0,672	0,525

Fuente: Autores.

Propiedades fisicoquímicas

Se realizó el análisis fisicoquímico de parámetros utilizados para medir la calidad del aceite esencial de naranja, como la densidad, el índice de refracción y el índice de acidez, así como la caracterización organoléptica (Color y olor). Los valores obtenidos se compararon con los datos reportados en la literatura para extracción con arrastre de vapor (Revilla y Rivera, 2014) e hidrodestilación asistida por microondas (Rojas, Perea y Stashenko, 2009) respectivamente.

En la tabla 11, se observa que los rendimientos en la extracción por arrastre de vapor (promedio de 0,26%) son ligeramente mayores que la extracción por HDmw (promedio de 0,19%). Se observa que el rendimiento reportado por la literatura para arrastre de vapor es más alto que el obtenido en

este trabajo, esto puede ser debido a las diferentes condiciones de cultivo y también al hecho de que se obtuvo el aceite esencial a partir de la fruta fresca y no de un residuo.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos.

Parámetros fisicoquímicos	Arrastre de vapor	Hidrodestilación asistida por microondas	Revilla, Rivera, 2014)	Rojas, Perea, Stashenko, 2008
Rendimiento (%m/m)	0,262%	0,190%	0,502%	0,200%
Densidad (g/mL)	0,830	0,830	0,841	-
Índice de refracción	1,4389	1,4697	1,4710	-
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,675	1,033	1,099	-
Olor	Característico de la naranja	Característico de la naranja	Característico de la naranja	-
Color	Translúcido	Translúcido	Amarillo claro	-

Fuente: Autores.

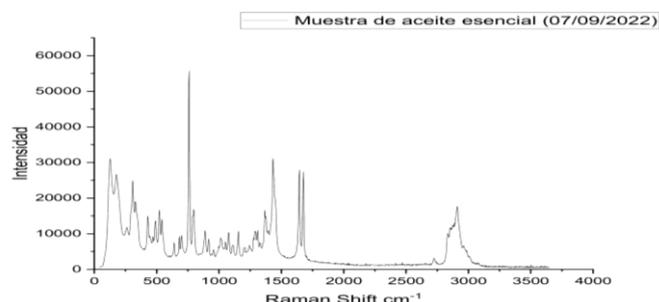
En cuanto a la densidad, la variación es ligeramente inferior a la reportada por Revilla y Rivera, posiblemente debido a la concentración relativa de los componentes del aceite esencial. La diferencia más notable se encuentra en el índice de refracción, lo cual posiblemente sea causado por la presencia de impurezas derivadas del proceso de extracción. En cuanto al índice de acidez, es un buen indicativo de que el aceite no está sufriendo de oxidación, hidrólisis o degradación enzimática en el almacenamiento.

Adicionalmente, el aceite esencial se analizó en un espectrómetro Raman de marca Avantes, el cual cuenta con una fuente de excitación de longitud de onda estabilizada de 785 nm. En un espectro Raman se pueden obtener picos y líneas que representan las vibraciones moleculares específicas de la muestra, que a su vez son características de los enlaces químicos y proporcionan información sobre la composición química y la estructura molecular de la muestra. La espectroscopia Raman también se ha utilizado en la química analítica para la cuantificación de compuestos químicos, entre ellas el D-Limoneno, y se ha demostrado ser una técnica potente, rápida y fiable que puede utilizarse para cuantificar el limoneno (Azom, 2024). En el

espectro Raman del aceite esencial de naranja se muestran las bandas características del limoneno: las bandas intensas a 1672, 1644, 1437 y 754 cm^{-1} , donde las dos primeras se atribuyen al modo de estiramiento C = C, mientras que las otras dos se asignan a los modos de flexión CH_3/CH_2 y deformación del anillo, respectivamente. Las bandas de 1376, 1291, 1152, 1077, 1018, 914, 888, 790, 699 y 634 cm^{-1} también se distinguen en el espectro del limoneno (Jentzsch y Ciobotă, 2014).

Se puede observar cualitativamente que el componente mayoritario del aceite esencial obtenido es el D-Limoneno al comparar las intensidades de los picos del patrón y del aceite esencial de naranja, ya que se puede asumir en un sistema analítico de interés que consista en muestras líquidas homogéneas la cuantificación se logra mediante una regresión lineal simple, correlacionando la altura o área del pico con la concentración.

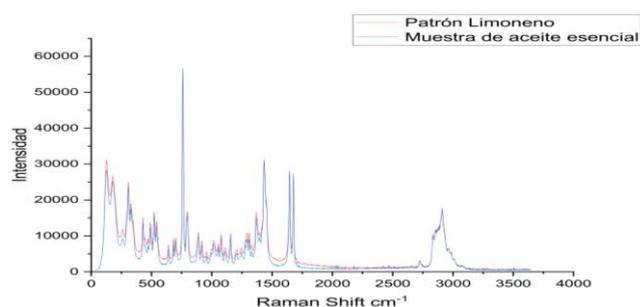
Figura 5. Análisis Raman de muestra de aceite esencial.



Fuente: Autores.

Se utilizó la cromatografía de capa fina para analizar el aceite esencial de naranja crudo (M_1), el D-Limoneno que coincide con la distancia de desplazamiento comparado con el patrón comercial utilizado (P) y otros compuestos que se encuentran en menor cantidad.

Figura 6. Comparación del patrón Raman del limoneno vs muestra de aceite esencial.



Fuente: Autores.

Imagen 10. Cromatofolio revelado con permanganato de potasio del Patrón D-Limoneno(P) y muestra de aceite esencial (M1).



Fuente: Autores.

Se calculó el factor de retención (R_f) del D-limoneno y el compuesto desconocido (mancha blanca), el cual es de 0,34 y 0,61 respectivamente, lo cual da indicios de que este último es un compuesto no polar que no se oxida con permanganato de potasio.

Destilación fraccionada al vacío del aceite esencial

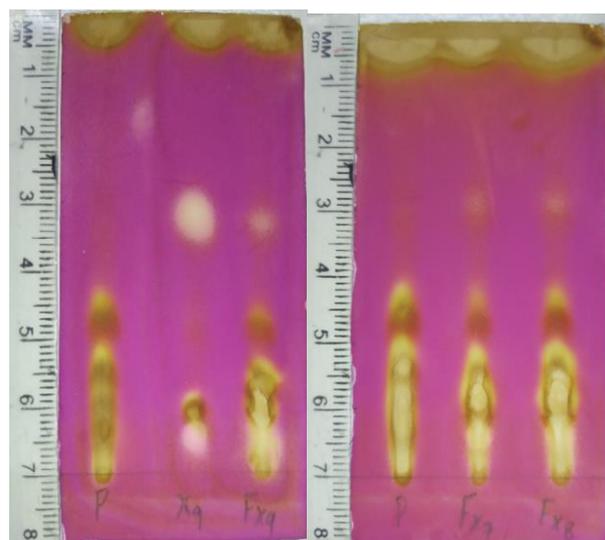
En algunos aceites existe una gran cantidad de terpenos. Esto sucede especialmente con los

aceites de limón y naranja, que contienen hasta 90% de D-limoneno (Pássaro y Londoño, 2012).

Desterpenar estos aceites esenciales tiene algunas ventajas, tales como aumentar la concentración de los ingredientes activos de sabor y aroma, incrementar la solubilidad del aceite esencial en la prueba de alcohol, aumentar la estabilidad y eliminar la aparición olores desagradables procedentes de la resinificación y enranciamiento (Pantoja et al., 2017), e incrementar el valor tanto del aceite esencial como de los terpenos purificados. Por lo anterior, se realizó destilación fraccionada al vacío del aceite esencial de cáscara de naranja.

La destilación al vacío se realizó a una temperatura de 66°C y una presión de 122 mmHg. Luego de 9 destilados se puede notar que en los fondos la concentración del D-limoneno es más alta en comparación a la muestra de aceite esencial crudo, y no se pueden observar otros compuestos en mayor cantidad.

Imagen 11. Cromatofolio revelado con permanganato de potasio de los fondos (F) después de 7,8 y 9 veces destilados.



Fuente: Autores.

Comparación del aceite esencial con aceites comerciales

Los aceites esenciales que se encuentran comercialmente suelen ser extraídos por compresión en frío y arrastre por vapor, y dependiendo del método utilizado se obtienen características fisicoquímicas diferentes, como el color, la densidad y el índice de refracción. En la tabla 12, se compararon algunas de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de naranja comercial de diferentes marcas obtenidos de las fichas técnicas.

Tabla 12. Comparación de propiedades fisicoquímicas.

Fuente	Aspecto	Olor	Densidad (g/ml)	Índice de refracción
Jabonarium	Líquido transparente amarillo-naranja	Característico, cítrico, fresco	0,835-0,855	1,4650-1,4820
Mar químicos	Líquido translúcido brillante, Naranja tartazina	Naranja dulce	0,897 – 0,934	1,4650 – 1,4850
Ventos	Líquido fluido transparente, incoloro	Cítrico, dulce, fresco	0,838- 0,850	1,4680-1,4780
Sigma-Aldrich	Líquido amarillo o naranja	-	0,842- 0,846	1,4720-1,4740
Autores	Líquido Translúcido	Característico de la naranja	0,830	1,4389

Fuente: Adaptado de Jabonarium, Mar químicos, Ventos y Sigma-Aldrich.

Las características fisicoquímicas de los aceites esenciales suelen tener ligeras variaciones, ya que estas dependen de la madurez de la fruta de la cual se extrajo el aceite, el método de extracción utilizado, el lugar de cultivo de la fruta, entre otros; y por tanto no existe un parámetro o valor estándar para poder clasificar el aceite esencial de naranja.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un aceite esencial de cáscara de naranja, caracterizado por su translucidez e incoloridad, mediante los métodos de arrastre de vapor e hidrodestilación asistida por microondas. El

rendimiento de extracción y el consumo energético del método de arrastre de vapor fueron del 0,26% y 1,3 MJ/g de aceite, respectivamente. En contraste, la hidrodestilación asistida por microondas presentó un rendimiento de extracción del 0,19% y un consumo energético de 2,11 MJ/g de aceite.

El método de arrastre de vapor permite obtener un mayor rendimiento y facilita el uso de una mayor cantidad de materia prima. Sin embargo, la hidrodestilación se caracteriza por un tiempo de extracción más corto, aunque el volumen del sistema es limitado.

Las características fisicoquímicas y organolépticas del aceite esencial obtenido mediante ambos métodos de extracción son similares entre sí y coinciden con los reportes de otros autores, a excepción del índice de refracción. Además, al comparar las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido con los resultados consignados en fichas técnicas de diferentes marcas, se concluye que no existe un estándar que defina de manera precisa los parámetros fisicoquímicos que debe cumplir un aceite esencial. Este aceite resulta ideal para su aplicación en la industria cosmética, ya que durante el proceso de extracción no se experimentaron alteraciones en sus propiedades, encontrándose libre de compuestos nocivos para la salud, como los parabenos.

La investigación en ciencias desempeña un papel fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos sostenibles que contribuyen a la valorización de residuos y al aprovechamiento de recursos naturales. En este estudio, se evidenció la importancia de aplicar métodos de extracción eficientes para obtener aceites esenciales a partir de subproductos agroindustriales, lo que no solo permite su incorporación en diversas industrias, sino que también minimiza el impacto ambiental asociado a su desecho. Además, la exploración de diferentes técnicas, como el arrastre de vapor y la hidrodestilación asistida por microondas, resalta la relevancia del análisis comparativo en la optimización de procesos. Este tipo de

investigaciones fortalece el conocimiento científico y fomenta la implementación de soluciones innovadoras para la gestión sostenible de los recursos, demostrando que la ciencia es un motor clave en el Instituto Universitario de la Paz para el progreso tecnológico, económico y ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los laboratorios de Química del Instituto Universitario de la Paz, bajo la dirección de la Oficina de Investigaciones de UNIPAZ, por su valiosa colaboración.

REFERENCIAS

- Adlard, E. R. (2010). Handbook of essential oils: Science, technology and applications. *Chromatographia*, 72(9-10), 10-21.
- Agricola, T. (2012, 10 de mayo). Índice de madurez Archives - www.tecnicoagricola.es. <https://www.tecnicoagricola.es/etiqueta/indice-de-madurez/>
- Asma Farhat, Fabiano-Tixier, A.-S., El Maataoui, M., Maingonnat, J.-F., Romdhane, M., et al. (2011). Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism. *Food Chemistry*, 125(1), 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.110>
- AZoM. (2024, 19 de marzo). Raman Spectroscopy in Characterization of Encapsulated Flavors. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16581>
- Balboa, L. (2016). Equipo experimental para la destilación por arrastre de vapor (DAV) de aceites esenciales, caso: cáscara de naranja dulce (*Citrus sinensis*). *Revista Tecnológica*, 12(18), 12-14. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-75322016000100003&lng=es&nrm=iso
- Bousbia, N., Vian, M. A., Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2008). A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 409-413. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.034>
- Cómo conservar los aceites esenciales. (2023, 26 de abril). <https://aromasfenpal.com/blog/general/conservar-aceites-esenciales/>
- Galagovsky, L. (1995). Química orgánica: fundamentos teórico-prácticos para el laboratorio. EUDEBA.
- Galindo-Segura, L. A., Pérez-Vázquez, A., Ramírez-Martínez, A., López-Romero, G., & Gómez-Merino, F. C. (2023). El manejo del bagazo de naranja en la zona centro del Estado de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 41, e1673. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1673>
- HANNA instruments. (s. f.). Determinación del índice de peróxidos. <https://www.hannainst.es/blog/116/determinacion-del-indice-de-peroxidos>
- Isac-García, J., Dobado, J. A., Calvo-Flores, F. G., & Martínez-García, H. (2015). *Experimental Organic Chemistry: Laboratory Manual*. Academic Press.
- Jentzsch, P. V., & Ciobotă, V. (2014). Raman spectroscopy as an analytical tool for analysis of vegetable and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 29(5), 287-295. <https://doi.org/10.1002/ffj.3203>
- Maximiliano, H. M., Del, E. S. H., Faustino, O. C., F, B. C. E., María, M. G., Fonnesu, L., Rametta, G., Pinna, G., Müller, E., Picht, B., Jimmy, H. M., David, H. M., & Schmieder, F. (2022). Conceptos en disputa, disputas sobre conceptos. <https://hdl.handle.net/10016/36007>
- Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism. (2011). *Food Chemistry*, 125(1), 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.110>

- Montes, S. (2019, 9 de enero). Seis países alrededor del mundo reciclan más de 50% de su basura durante el año. *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/seis-paises-alrededor-del-mundo-reciclan-mas-de-50-de-su-basura-durante-el-ano-2813051>
- Olabinjo, O. O., & Oliveira, A. L. (2020). Comparative study of extraction yield and antioxidant property of sweet orange peels (*Citrus sinensis*) essential oil. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 12(2), 184-192. <https://doi.org/10.17508/cjfst.2020.12.2.06>
- Organic Chemistry Lab Techniques (Nichols). (2022, 7 de abril). *Chemistry LibreTexts*. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Organic_Chemistry_Lab_Techniques_\(Nichols\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Organic_Chemistry_Lab_Techniques_(Nichols))
- Pantoja Chamorro, A., Hurtado Benavides, A., & Martínez Correa, H. (2017). Evaluación del rendimiento, composición y actividad antioxidante de aceite de semillas de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Información Tecnológica*, 28(1), 35-46. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100005>
- Pássaro Carvalho, C., & Londoño Londoño, J. (2012). *Industrialización de cítricos y valor agregado*. Editorial Lasallista.
- Quantitative analysis using Raman spectroscopy without spectral standardization. (s. f.). ADS. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4555\(199909\)30:9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4555(199909)30:9)
- Revilla Fuentes, J. P., & Rivera Guillen, L. E. (2014). Evaluación de la extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de la cáscara de naranja tipo valenciana del Sur del Perú.
- Shan, Y. (2016). *Comprehensive Utilization of Citrus By-Products*. Elsevier Science & Technology Books. ISBN 9780128098608.
- Suquillo, N. R. G., Arévalo, I. A. S., & Lozada, A. F. V. (2017). Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío. *Enfoque UTE*, 8(2), 15-32. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.153>
- Treid, I. (2023, 31 de agosto). Exportaciones de naranjas en Colombia incrementaron 1,47%, en los primeros 5 meses de 2023. *Treid*. <https://www.treid.co/post/exportaciones-de-naranjas-en-colombia-incrementaron-1-47-en-los-primeros-5-meses-de-2023>
- Trujillo, C. A. O., Giraldo, D. C. V., & Barrera, L. E. P. (2021). Diseño de una planta piloto para extracción de metabolitos naturales (antioxidantes) a partir de tomate chonto. *Revista Teinova*, 5, 6-18. <https://doi.org/10.23850/25007211.3323>
- Velázquez-Nuñez, M. J., Avila-Sosa, R., Palou, E., & López-Malo, A. (2012). Antifungal activity of orange (*Citrus sinensis* var. Valencia) peel essential oil applied by direct addition or vapor contact. *Food Control*, 31(1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.029>
- Veliz-Jaime, M. Y., & González-Díaz, Y. (2017). Evaluación técnico-económica para la obtención de aceites esenciales y su impacto en el medioambiente. *Ciencia en su PC*, 4, 103-115. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181353794008>