



Evaluación de la Características Fisicoquímicas del Aceite Eucalipto a partir de dos Métodos de Destilación

Evaluation of the Physicochemical Characteristics of Eucalyptus Oil from two Distillation Methods

Autores

Silvio Moreira¹

<https://orcid.org/0009-0001-9402-0306>

Christian Rivadeneira¹

<https://orcid.org/0000-0002-1131-6460>

Jorge Tumbaco²

<https://orcid.org/0009-0008-8308-679X>

Wilmer Ponce^{2*}

<https://orcid.org/0000-0002-4250-5184>

¹ Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías.
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
Portoviejo, Ecuador.

² Instituto Nacional de Investigaciones,
Estación Experimental Portoviejo.
Portoviejo, Ecuador.

* Autor para correspondencia.
wilmer.ponce@iniap.gob.ec

Citacion sugerida: Moreira, S., Rivadeneira, C., Tumbaco, J. & Ponce, W. (2024). Evaluación de las Características Fisicoquímicas del Aceite de Eucalipto a partir de dos Métodos de Destilación. Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología. RIEMAT, 9(2), pp. 35-47. <https://doi.org/10.33936/riemat.v9i2.7043>

Recibido: 26/08/2024

Aceptado: 20/09/2024

Publicado: 15/10/2024

Resumen

La extracción por arrastre de vapor de agua y la hidrodestilación, son métodos que aún son de interés de investigación para la extracción de aceites esenciales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las características fisicoquímicas de aceite esencial de eucalipto. La extracción se realizó por arrastre de vapor e hidrodestilación por un tiempo de 122 y 140 minutos. Al aceite obtenido se le determinó el índice de refracción, densidad, solubilidad, acidez, color, índice de yodo, ácidos grasos y rendimiento. Los resultados indicaron que la hidrodestilación (HD) con un tiempo de extracción de 140 minutos, arrojó un porcentaje superior al 40% en comparación con los demás tratamientos. No hubo diferencias perceptibles en el índice de yodo y las estadísticas de refracción. La densidad relativa exhibió valores más altos en el tratamiento de arrastre de vapor (AV) como en el de control, en comparación al resto. El nivel de acidez fue mayor en el grupo de control, posiblemente debido a una mayor presencia de ácidos grasos libres saturados causados por un almacenamiento inadecuado o exposición a la luz. El análisis del perfil de ácidos grasos reveló que el contenido total de insaturados fue más alto en el aceite comercial, seguido por la hidrodestilación de monoinsaturados y el arrastre de vapor de poliinsaturados. Se concluyó que se deben continuar realizando investigaciones sobre el método de HD comparado con otros más novedosos para comprobar su efectividad.

Palabras clave: Aceite esencial; arrastre de vapor; características fisicoquímicas; extracción; hidrodestilación; rendimiento.

Abstract

Steam extraction and hydrodistillation are still interesting to researchers who want to extract essential oils. This study aimed to evaluate the physicochemical characteristics of eucalyptus essential oil. The extraction was carried out by steam drag and hydrodistillation for 122 and 140 minutes. The refractive index, density, solubility, acidity, color, iodine value, fatty acids, and yield were determined for the oil obtained. The results indicated that hydrodistillation (HD), with an extraction time of 140 minutes, yielded a percentage greater than 40% compared to the other treatments. There were no discernible differences in iodine value and refraction statistics. The relative density exhibited higher values in the vapor entrainment (AV) treatment and the control compared to the rest. The acidity level was higher in the control group, possibly due to a higher presence of saturated free fatty acids caused by inadequate storage or exposure to light. Fatty acid profile analysis revealed that the total unsaturated content was highest in the commercial oil, followed by hydrodistillation of monounsaturated and vapor carryover of polyunsaturated. It was concluded that research should continue to be carried out on the HD method compared to other newer ones to verify its effectiveness.

Keywords: Essential oil; steam entrainment; physicochemical characteristics; extraction; hydrodistillation; yield.





1. Introducción

El eucalipto (*Eucalyptus grandis*) es un árbol de hoja perenne nativo de Australia, que se introdujo a Ecuador en 1860 (Edah et al. 2019), distribuidos principalmente en la Sierra, con más de 20.000 has de cultivo (MAG, 2017), que, hasta la actualidad se ha utilizado por sus propiedades medicinales en la industria farmacéutica (Sharma et al., 2023), como aditivo en la industria alimentaria (Ahmad et al., 2023) y también en la industria maderera y papelera (Moreno et al. 2016). Del árbol de eucalipto se puede obtener extracto esencial el cual es considerado un aceite con grandes propiedades biológicas, contenidos en glándulas secretoras inmersas de su tejido foliar, siendo metabolitos secundarios, que proporcionan aromas y sabor, constituidos por mezclas de hidrocarburos, compuestos oxigenados y residuos no volátiles (Ebadollahi et al. 2020).

En Ecuador existen un sinnúmero de empresas que promueven la producción de aceites esenciales (AEE) de eucalipto, debido a sus amplios usos y a la gran diversidad de especies disponibles en el país (Quispe Solano et al. 2022). Así mismo, existe un mayor interés a nivel mundial por parte de los consumidores en utilizar recursos provenientes de productos vegetales, sobre todo de origen natural, debido a la preocupación existente en el uso de productos químicos sintéticos nocivos y/o aditivos en los alimentos (Romero, 2018). Sin embargo, para ello se requiere la aplicación de métodos de obtención eficientes y de caracterización, para conseguir productos de calidad (Ebadollahi et al. 2020).

Debido que las propiedades de un aceite esencial dependen de la especie, ubicación geográfica, temporada, hoja, tiempo de cosecha y extracción, para obtener buenos resultados de rendimiento, continuamente se estudian diversos y novedosos métodos para producir alta calidad, rendimiento máximo y mantener la química para especies como eucalipto (Immaroh et al. 2021). Colina-Márquez et al. (2022) señala que existen diferentes métodos para obtener aceites esenciales, como la extracción por solventes, maceración, prensado, que requieren largos períodos de tiempo, además, existen técnicas complementarias que mejoran los rendimientos como la extracción asistida por microondas libre de solventes (MWA-SD) pero son demasiado costosas.

La extracción de los AEE se puede realizar por métodos convencionales como la destilación con arrastre de vapor, hidrodestilación, entre otros (Immaroh et al. 2021; Granados et al. 2015). La extracción por arrastre de vapor ocurre cuando el vapor entra en contacto con las células de la planta, rompiendo y liberando su esencia, quedando atrapada en las gotas de agua del vapor que luego se condensa en el destilador, permitiendo la separación de compuestos volátiles de otros relativamente no volátiles (Cedeño et al. 2019). La hidrodestilación es una variación de la extracción en la que el material a extraer se encuentra en el mismo recipiente que el agua de la que se extrajo, por lo que se calienta y los vapores resultantes se condensan y posteriormente se separan (Gutiérrez-Jiménez et al. 2018).

Moreno et al. (2016) estudiaron el efecto de la humedad de la hoja de eucalipto y el tiempo de extracción sobre el rendimiento de aceite esencial, teniendo en cuenta parámetros como la temperatura de vapor, la presión de extracción, la porosidad de lecho, flujo de vapor y temperatura de condensación, determinando que la mejor extracción se alcanza cuando las hojas tienen una humedad entre 25 y 30% y se extraen con tiempos entre 98 y 126 min. Cedeño et al. (2019) obtuvieron aceite esencial de la hoja de eucalipto usando para ello dos métodos diferentes de extracción, siendo el primer método por arrastre de vapor y luego se utilizó la destilación con solventes orgánicos por medio del Soxhlet, donde determinaron que el método por arrastre de vapor permite obtener un producto mucho más puro.

En Ecuador es poco lo que se conoce sobre las características de los aceites esenciales de la planta de *Eucalyptus grandis* (Farinango, 2021).), así como de métodos de extracción óptimos que impliquen costos accesibles (Edah et al. 2019). En Manabí es limitada la información sobre la composición de los árboles de eucalipto que crecen localmente, de los cuales podrían aprovecharse sus bondades para la industria alimentaria o química, debido a que tal como lo mencionan Ikbal y Pavela (2019), sus compuestos químicos bioactivos son ciertamente prometedores, acrecentando su importancia para la industria alimentaria, farmacéutica y química.

Las hojas de eucalipto tienen amplias aplicaciones en todo el mundo. En Ecuador se utiliza como antiséptico,

repelente, perfume, antiinflamatorio, analgésico, mientras en la industria alimentaria se utiliza como ingrediente adicional para el aroma y sabor, además, como conservante natural, entre otros usos industriales (Granados et al. 2015). Gracias a que contiene más de 100 compuestos diferentes (Boukhatem et al. 2014), con propiedades antioxidantes, expectorantes, diuréticas, antimicrobianas y antifúngicas (Romero, 2018).

Es necesario promover el uso de métodos tradicionales, para determinar si son eficientes, debido que los estudios actuales se están dejando de enfocar en métodos más tradicionales por más novedosos, pero que para muchos son poco costables.

Es por ello, que resulta necesario realizar determinaciones para conocer el rendimiento de aceites esenciales, como el de eucalipto sin que estas afecten sus características físicas (Edah et al. 2019). Por tal razón se plantea la evaluación de métodos más convencionales como la destilación por arrastre con vapor (DAV) y la hidrodestilación (HD), que poseen simplicidad y fácil operación (Cedeño et al. 2019; Colina-Márquez et al. 2022).

2. Materiales y Métodos

2.1. Ubicación

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología y Calidad del INIAP ubicado en Km 12 Vía Santa Ana y en el laboratorio de aceites y grasas de la empresa “La Fabril S.A.”, ubicada en el Km 5.5. de la vía Manta-Montecristi, en la ciudad de Montecristi.

2.2. Recolección del material vegetal

Las hojas de eucalipto “*Eucalyptus grandis*” se obtuvieron en una plantación comercial La Teodomira de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, provincia de Manabí (Ecuador). Para el efecto, se realizará un análisis visual y obtención de hojas tiernas, para evitar usar hojas con presencia de magulladuras, cortes o lesiones. El material se trasladó al laboratorio de Bromatología para la respectiva experimentación.

2.3. Procesamiento del material vegetal

Se manejó el método descrito por Cedeño et al. (2019), con algunas modificaciones. Las hojas se seleccionaron y limpiaron, para luego secarlas en sombra por 24 h, además de reducir el tamaño de las hojas a 2x2 cm. Después de este tiempo, se procedió a determinar la humedad de cada muestra en una termobalanza marca METLER TOLEDO.

2.4. Procedimientos de extracción de AEE

Los equipos se diferenciaron por la fuente de calentamiento. La hidrodestilación estuvo conformada por una estufa, cámara de extracción, condensador y recolector de aceite; mientras que, para el arrastre de vapor, se utilizó un generador de vapor mediante uso de dos estufas, cámara de extracción, condensador y recolector de aceite (Cedeño et al., 2019; Nolzco Cama et al., 2020).

2.4.1. Hidrodestilación

Se depositaron las hojas en un equipo de extracción tipo Clevenger (vidrio Pirex) fabricado en Perú. La muestra a destilar se colocó en el balón de precipitación. Se calentó directamente el balón de 1000 mL, con agua destilada y 500 g de hojas, además de un matraz de 250 mL, una placa calefactora digital, un termómetro de vidrio, un condensador, conexiones de vidrio, tapones y mangueras de goma, de acuerdo a lo indicado por Colina-Márquez et al. (2022). Se observa el equipo utilizado en la Figura 1.



Figura 1

Equipo empleado en la hidrodestilación.



Fuente: Los autores

2.4.2. Arrastre de vapor

Se utilizó el método de Cedeño et al. (2019). Se agregó 1 L de agua destilada al balón de 500 mL generador de vapor. Se pesaron 500 g de las hojas seleccionadas en una balanza analítica y se determinó su humedad con ayuda de una termobalanza. Luego, se colocó en el balón de precipitación de tres bocas de 500 mL. Se calentó el primer balón hasta la ebullición, y se generó vapor al segundo balón. Se observa el equipo utilizado en la Figura 2.

Figura 2

Equipo empleado en la destilación por arrastre de vapor.



Fuente: Los autores

2.5. Tratamientos

Se observa en la Tabla 1 la descripción de los tratamientos evaluados, donde cada una contó con tres repeticiones, siendo en total 15 unidades experimentales.

Tabla 1*Combinación de los tratamientos del presente estudio.*

Tratamientos	Tiempo de extracción	Métodos de extracción
T0 (Control)	-	AEE comercial
T1	140 min	Arrastre de vapor (AV)
T2	122 min	Arrastre de vapor (AV)
T3	140 min	Hidrodestilación (HD)
T4	122 min	Hidrodestilación (HD)

Fuente: Los autores

2.6. Características físicas

Para la evaluación de las propiedades físicas se procedió con la lectura del aceite a 20 °C.

2.6.1. Índice de Refracción

Se realizó con un refractómetro manual analógico, donde primero se limpió el prisma y luego con la ayuda de un capilar se depositaron dos gotas de aceite esencial sobre el prisma.

2.6.2. Densidad Relativa

Se llevó a cabo bajo el método AOAC Official Method 920.212 (1995). Esta medida se expresó en g/cc Se utilizó la Ecuación 1.

$$Densidad = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} * D \text{ (g/mol)} \quad (1)$$

Para obtener la densidad se restó el peso en g del picnómetro lleno, con el peso en g del picnómetro vacío y luego se dividió para la resta del peso en g del picnómetro lleno con agua para el peso en g del picnómetro vacío. Por último, se multiplicó por la densidad del agua.

2.6.3. Solubilidad

La solubilidad se realizó utilizando etanol (70% v/v) y en un tubo Eppendorf de 1,5 mL se adicionaron 100 µL de etanol al 70% v/v y 2 µL del AE; la mezcla se homogenizó en un vortex a 20 rpm hasta que la muestra quedó totalmente homogénea.

2.6.4. Acidez

Se utilizó el método de NC-ISO 660 (2001) citado por Sarracent-López y Gandón-Hernández (2016), como se observa en la Ecuación 2.

$$\text{Índice de acidez (\% ácido oléico)} = \frac{V * c * M}{P} \quad (2)$$

Se multiplicó el volumen (V) de la solución valorada de hidróxido de potasio utilizado, mL para la concentración exacta (c), en moles por litro, de la solución de hidróxido de potasio utilizada, mol/L y por la masa molecular (M) del ácido en que se expresó el resultado (ácido oleico=282), g/mol equivalente de ácido oleico, lo cual se divide entre la masa (P) en g (g) de la muestra utilizada.

2.7. Características ópticas

2.7.1. Color análogo y digital

Para determinar el color digital se usó el colorímetro automático Lovibond PFX990, equipo que mide de acuerdo con las escalas Lovibond® RYBN aplicando el Método AOCS Cc 13e-92 (2017).



Para determinar el color análogo se utilizó el colorímetro Lovibond Model Fx con las escalas RY, de acuerdo al método AOCS RY (2014).

2.8. Características químicas

2.8.1. Perfil de ácidos grasos

Se utilizó el cromatógrafo de gases Trace 1300 de Thermo Scientific, de acuerdo a la metodología AOCS Official Method Ce 1h-05 (2005), sobre determinación de ácidos grasos cis-, trans-, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en aceites y grasas por GLC capilar.

2.8.2. Índice de Yodo

Se utilizó el método AOCS Cd-1d-92, donde se utilizó la Ecuación 3.

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{(B - S * M * 12,69)}{\text{Peso (g) muestra ensayada}} \quad (3)$$

Dónde (B) es el volumen en mL del titulante utilizado en el blanco; (S) es el volumen en mL del titulante utilizado en la muestra ensayada y (M) es la molaridad de la solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

2.9. Rendimiento

El rendimiento se determinó mediante la Ecuación 4.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso de aceite esencial}}{\text{Peso de hojas utilizadas}} * 100\% \quad (4)$$

2.10. Análisis estadístico

El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA), con un diseño bifactorial, por lo que se llevó a cabo un análisis de varianza ANOVA al 5% y una prueba de medias de comparación del test de Duncan al 5%. Cabe mencionar que todos los datos fueron analizados por triplicado y los resultados procesados en el programa Infostat versión 2020.

3. Resultados y Discusión

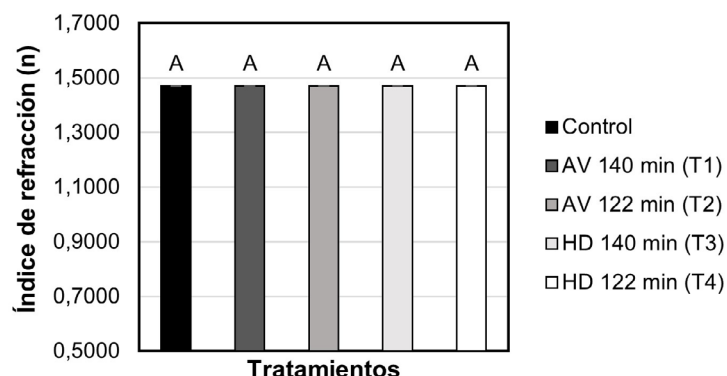
3.1. Características físicas

3.1.1. Índice de Refracción

Se puede observar en la Figura 3 que no existe diferencia significativa ($p < 0,05$) a nivel estadístico entre los tratamientos evaluados, es decir que los resultados del índice de refracción en el control (AEE comercial) es igual a los obtenidos con los métodos de HD y AV, siendo de $1,470 \pm 0,001$, determinando que el tiempo y método de extracción no afecta esta característica. Abbas et al. (2022), señaló que con el método de HD se consiguen valores de $1,393 \pm 0,03$ y Torrenegra et al. (2019), señala que con el método de AV este parámetro se encuentra entre $1,475 \pm 0,006$, siendo similares a los obtenidos en el presente estudio. Los estudios de Quispe Solano et al. (2022), determinaron que el índice de refracción en AEE debe oscilar entre 1,29-1,50, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable para todos los tratamientos.

Figura 3

Resultados del índice de refracción de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado.



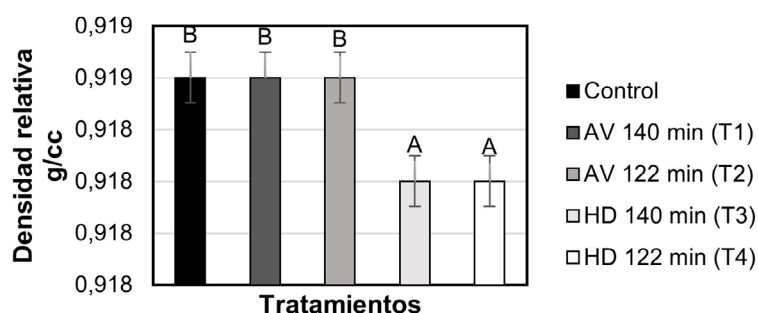
Fuente: Los autores

3.1.2. Densidad Relativa

La Figura 4 refleja una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos evaluados. El control, AV 140 min y 122 min presentan una igualdad estadística en sus resultados, con 0,919 g/cc en su densidad relativa, mientras los tratamientos HD 140 min y HD 122 min indican similitud estadística con una densidad de 0,918 g/cc. Los resultados difieren con los reportados por Abbas et al. (2022), quienes indicaron valores de $0,890 \pm 0,003$ g/cc con el uso de HD y con AV Cisneros Hilario (2022), reportaron 0,86 g/mL (0,86 g/cc), siendo menores a los obtenidos en el presente estudio. Boukhatem et al., (2014), señalan que a mayor índice de densidad relativa el aceite contiene menos impurezas y más nutrientes favorables.

Figura 4

Resultados del índice de la densidad relativa de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado.



Fuente: Los autores

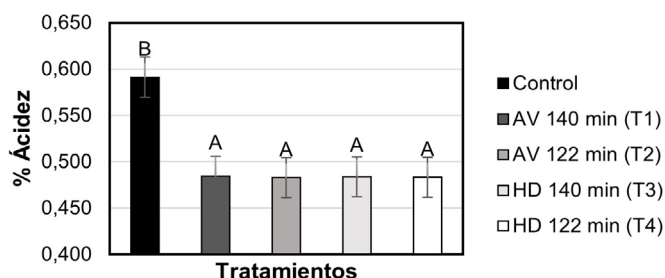
3.1.3. Solubilidad y Acidez

Con respecto a la solubilidad, se determinó que todos los tratamientos fueron insolubles, donde no se evidencia efectos por el método ni tiempos de extracción. El control observado en la Figura 5 presentan un porcentaje de acidez (0,591%) mayor al resto de tratamientos, siendo este significativamente diferente de los demás. Los tratamientos evaluados en el estudio no muestran señal de diferencia estadística. Los estudios difieren con los reportados por Quispe Solano et al. (2022), los cuales fueron valores de 1,82% con HD. Asimismo, Calderón y Llor (2023) reportaron valores de 1,07%, siendo más altos que los que se reportaron.

Abbas et al. (2022), indican que tanto mayor es el índice de acidez, existe mayor contenido de ácidos grasos libres, lo cual disminuye la calidad del aceite. Se puede observar que con los métodos evaluados se obtuvieron % más bajos en comparación al control.

Figura 5

Resultados de % acidez de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado.



Fuente: Los autores

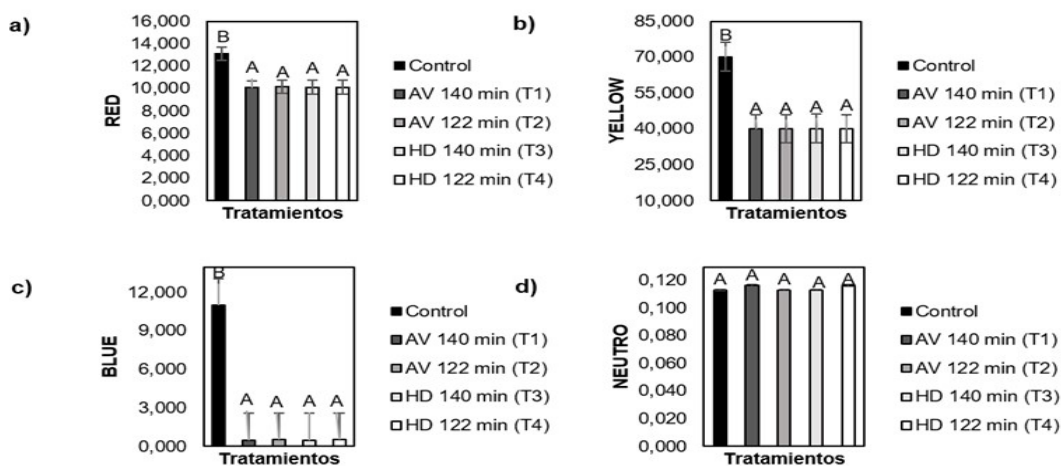
3.2. Características ópticas

3.2.1. Color digital

Se presenta una diferencia estadística ($p < 0,05$) en las tonalidades de rojos, siendo el control quien presenta más tonalidad rojiza (Figura 6a). Sucede lo mismo en la coordenada de color amarillo, siendo el control quien tiene mayor tonalidad (Figura 6b). Para la coordenada de color azul el control también muestra mayor tonalidad (Figura 6c). El color neutro se mantiene sin deferencia estadística aparente ($p < 0,05$) (Figura 6d). De tal manera que los métodos utilizados y los tiempos de extracción fueron iguales entre sí, pero diferentes al control con respecto al color digital. Abbas et al., (2022) indican que el color apropiado del aceite esencial de eucalipto debe ser entre un amarillo claro y brillante.

Figura 6

Resultados del colorímetro (digital) de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado. Red (a), Yellow (b), Blue (c), Neutro (d).



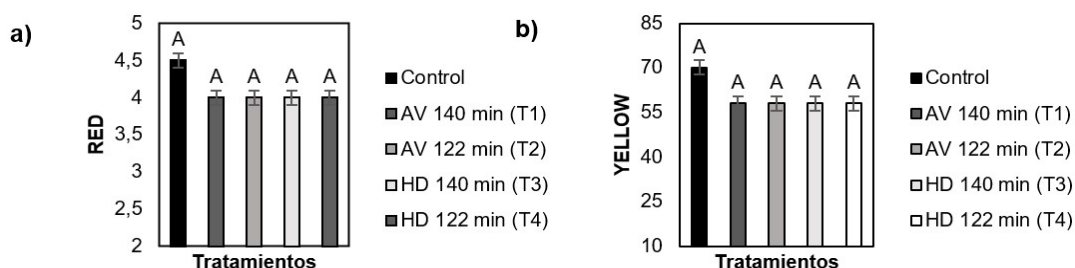
Fuente: Los autores

3.2.2. Color análogo

No se presenta notoriedad a niveles estadístico ($P < 0,05$) en las coordenadas de rojo y amarillo. Se nota un ligero incremento en el control con referencia a ambas coordenadas de color con el análisis de color análogo.

Figura 7

Resultados del colorímetro (análogo) de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado. Red (a), Yellow (b).



Fuente: Los autores

3.3. Características químicas

3.3.1. Perfil de ácidos grasos

Se compara el perfil de ácidos grasos tomando como referencia un aceite comercial. Se observa en la Tabla 2 un ligero incremento en el aceite comercial con referencia al total de sus ácidos saturados, con un valor de 28,20% debido a la activación de acetil-CoA por posible utilización de altas temperaturas, los tratamientos presentan ácido saturado de 27,2%. El ácido graso monoinsaturados del aceite comercial es de 36% mientras que el tratamiento con arrastre de vapor cuenta con 37,1%, mientras la hidrodestilación 38,2%, debido a la menor presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga existentes. Por otra parte, los resultados de los poliinsaturados muestran que el aceite comercial presenta 35,7% y el arrastre de vapor 35,8%; mientras que el proceso de hidrodestilación un 36,4%. Las grasas trans indican valor más elevado en aceite comercial con 0,7% mientras que en ambos tratamientos 0,5%. Oliveira et al., (2023) indicaron que el proceso de destilación no afecta la recuperación de los compuestos de mayor interés en ácidos grasos. De hecho, el presente estudio presentó que el perfil de ácidos grasos vario entre tratamientos, sin embargo, no fue algo significativo. Ngo et al., (2020) indicaron que porcentajes de grasas trans en aceite de eucalipto se encuentra $\leq 1\%$. Sharma et al., (2023) señala que, si el aceite se muestra muy saturado, significa que es bueno para hacer jabón.

Tabla 2

Identificación y cuantificación de perfil de ácidos grasos del aceite comercial de eucalipto y de los dos métodos de extracción evaluados (AV y HD).

Descripción	Perfil de Ácidos Grasos (AEE Comercial)	Perfil de Ácidos Grasos (Arrastre De Vapor)	Perfil de Ácidos Grasos (Hidrodestilación)
C14:0 (Mirístico)	0,3	0,2	0,3
C16:0 (Palmítico)	22,9	22,6	22,7
C18:0 (Esteárico)	4,4	4,0	4,1
C20:0 (Araquídico)	0,3	0,2	0,3
C22:0 (Behénico)	0,3	0,2	0,3
Total Saturados %	28,2	27,2	27,3
Oleico	35,9	37	38
Gadoleico	0,1	0,1	0,2
Total Monoinsaturados %	36	37,1	38,2
C18:2 (trans-9,trans-12) methylester	0,2	0,1	0,2
HC- C18 (2)	0,1	0,1	0,2
C18:2 (n-6) (Linoleico)	32,4	32,6	32,7
C18:3 ttc	= 0,2	C18:3 ttc = 0,1	C18:3 ttc = 0,2
C18:3 (n-3/n-6) (Linoleico)	2,6	2,8	2,9
Total Poliinsaturados %	35,7	35,8	36,4
%Trans	0,7	0,5	0,5

Fuente: Los autores

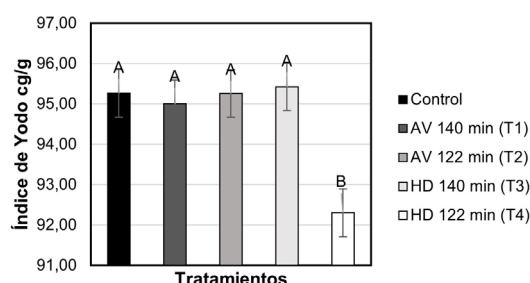


3.3.2. Índice de Yodo

Los análisis estadísticos del índice de yodo no presentan una estadística significativa diferente ($p < 0,05$) (Figura 8), el control presente 95,26 cg/g. El pico más alto del valor de yodo se encontró en el tratamiento HD 140 min (T3) con un valor de 95,42 cg/g, la respuesta más baja se encuentra en el tratamiento HD 122 min (T4), con un índice de yodo de 92,30 cg/g. Kiferle et al., (2019) señalan que cuanto mayor sea el índice de yodo, más insaturaciones están presentes en la grasa. En el presente trabajo se puede decir que HD 122 min (T4) presentó mayor cantidad de grasas saturadas al presentar valores más bajos de Y (cg/g) en comparación a los demás tratamientos.

Figura 8

Resultados del índice de Yodo de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado.



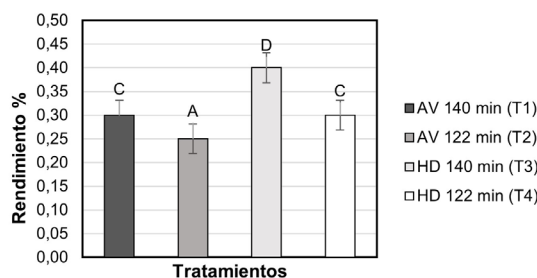
Fuente: Los autores

3.4. Rendimiento

Se observa en la Figura 9 una notoria diferencia significativa ($p < 0,05$) en función del rendimiento. Se presentan los resultados de mayor a menor, donde el tratamiento HD 140 min (T3) indica 0,40% del rendimiento, HD 122 min (T4) y HD 122 min (T4) presentan un rendimiento del 30% y como un menor valor AV 122 min (T2) con apenas 25%. Los resultados difieren con lo reportado por Quispe Solano et al. (2022) quienes indicaron valores de 0,58%, Torrenegra et al. (2019) reportaron 0,72% para AV con tiempos de extracción de hasta 160 min. Mientras López De La Cruz y Caso Orihuela (2015) reportaron 0,767% y Nolasco Cama et al. (2020) 0,80% para HD siendo diferentes a los reportados en el presente trabajo. De tal manera que el presente estudio determinó que el mayor tiempo de extracción para HD es el más eficiente para rendimiento. Mientras HD 122 min es igual a nivel estadístico con AV 140 min, indicando que la HD es más eficiente que AV.

Figura 9

Resultados del rendimiento de acuerdo al tiempo y método de extracción aplicado.



Fuente: Los autores

4. Conclusiones

En el análisis del rendimiento obtenido para la extracción de AEE, se evidenció que hidrodestilación (HD) con un tiempo de extracción 140 min presentó un mayor rendimiento con un 40%, en comparación con el resto de tratamientos lo cual coincide con la literatura consultada. Además, no se presentó una diferencia estadística con respecto al índice de yodo y refracción. Por otra parte, la densidad relativa presentó valores altos en los tratamientos de arrastre de vapor (AV) y control. La acidez fue mayor en el control debido a la presencia de mayor cantidad de ácidos grasos libres saturados, causados por un posible mal almacenamiento o presencia de luz. Las coordenadas de color rojo, amarillo y azul fueron mucho mayor con respecto al control, debido a un posible proceso oxidativo del centro de la muestra evaluada. Los resultados del perfil de los ácidos grasos indicaron que el total de los insaturados fue mayor en el aceite comercial, en monoinsaturado la hidrodestilación y en poliinsaturados arrastres de vapor. Con el presente estudio se demostró que, a pesar de las diferencias existentes entre los resultados de ambos tratamientos, ambos son mejores que el control del aceite comercial, debido a su alto rendimiento. Se concluye que el proceso de hidrodestilación, es la mejor opción para futuras aplicaciones e investigaciones.

Referencias bibliográficas

- Abbas, A., Anwar, F., Alqahtani, S., Ahmad, N., Al-Mijalli, S., Shahid, M., and Iqbal, M. (2022). Hydro-Distilled and Supercritical Fluid Extraction of *Eucalyptus camaldulensis* Essential Oil: Characterization of Bioactives Along with Antioxidant, Antimicrobial and Antibiofilm Activities. Dose-Response, 20(3), 1–12. <https://doi.org/10.1177/15593258221125477>
- Ahmad, R. S., Imran, M., Ahmad, M. H., Khan, M. K., Yasmin, A., Saima, H., Abbas, K., Chaudhary, R., and Rahim, M. A. (2023). Eucalyptus essential oils (G. A. Nayik & M. J. B. T.-E. O. Ansari (eds.); pp. 217–239). In *Essential Oils* (pp. 217-239). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91740-7.00005-0>
- AOAC 920.212. (1995). Specific gravity. (Apparent) of Oils, Pycnometer method. Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- AOCS Official Method Cc 13e-92. (2017). Commercial fats and oils. Color of Fats and Oil, Lovibond (ISO Method). <https://pdfcoffee.com/qdownload/aocs-cc-13e-92-color-2017-3-pdf-free.html>
- AOCS Official Method Cd-1d-92. (2009). Sampling and analysis of commercial fats and oils. Iodine Value of Fats and Oils, Cyclohexane-Acetic Acid Method. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. <https://pdfcoffee.com/qdownload/aocs-cd-1d-92-pdf-free.html>.
- AOCS Ce 1h-05. (2005). Determination of cis-, trans-, saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in vegetable or non-ruminant animal oils and fats by capillary GLC. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, Sixth edition. <https://www.aocs.org/attain-lab-services/methods/methods/search-results?method=111777>
- Boukhatem, M. N., Amine, F. M., Kameli, A., Saidi, F., Walid, K., and Mohamed, S. M. (2014). Quality assessment of the essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill of Blida (Algeria) origin. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 17(3), 303–315. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILCPA.36.303>
- Calderón, M., y Llor, M. (2023). Influencia del tiempo y contenido de humedad en el rendimiento del aceite esencial obtenido de hojas de eucalipto frescas y liofilizadas [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. https://repositorio.espa.edu.ec/bitstream/42000/2059/1/TIC_AI21D.pdf
- Cedeño, A., Moreira, C., Muñoz, J., Muñoz, A., Pillasaguay, S., y Riera, M. (2019). Comparación de métodos de destilación para la obtención de aceite esencial de eucalipto. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 6(1), 1-13. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/472/383
- Cisneros Hilario, C. B. (2022). Mejora del proceso de destilación por arrastre con vapor de agua para incrementar el nivel de producción de aceites esenciales. Chimbote – 2022. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/114836/Cisnero_HCB-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y



- Colina-Márquez-Márquez, J. Ángel., Contreras, E., Ruiz, J., y Monroy, L. (2022). Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrus maxima*). *Revista Ing-Nova*, 1(1), 85–98. <https://doi.org/10.32997/rin-2022-3729>
- Ebadollahi, A., Ziaee, M., and Palla, F. (2020). Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules*, 25(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/molecules25071556>
- Edah, A., Ede, R., Stanley, V., and Samuel, J. (2019). Physicochemical Properties and Antimicrobial activities of Essential oil extracted from *Eucalyptus globulus* leaves. *Physicochemical. International Journal of Chemical Science*, 3(5), 1–4. <https://www.chemicaljournals.com/assets/archives/2019/vol3issue5/3-4-32-899.pdf>
- Farinango Guzmán, W. D. (2021). Diseño de un proceso industrial para obtener aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus* labill) en la empresa IFG innovaciones agropecuarias Ibarra-Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16743>
- Granados, C., Santafé, G., y Acevedo, D. (2015). Composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Eucalyptus camaldulensis* de Norte de Santander (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 235–240. <https://doi.org/10.31910/ruca.v18.n1.2015.477>
- Gutiérrez-Jiménez, E., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Bolaños, L., Samaniego-Gaxiola, J. A. y García-González, F. (2018). Efecto de aceites naturales como antimicrobiano en condiciones in vitro y detección de fitoquímicos activos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 141–150. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1707-4>
- Ikbal, C., and Pavela, R. (2019). Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. *Journal of Pest Science*, 92(3), 971–986. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01089-6>
- Immaroh, N., Kuliahari, D., and Nugraheni, S. (2021). Review: *Eucalyptus globulus* essential oil extraction method. *International Conference on Green Agro-industry and Bieconomy*, 733. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012103>
- Kiferle, C., Ascrizzi, R., Martinelli, M., Gonzali, S., Mariotti, L., Pistelli, L., Flamini, G., and Perata, P. (2019). Effect of Iodine treatments on *Ocimum basilicum* L.: Biofortification, phenolics production and essential oil composition. *PLoS ONE*, 14(12), e0226559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226559>
- López De La Cruz, R. P., y Caso Orihuela, N. V. (2015). Rendimiento y composición química de aceites esenciales de *Eucalyptus archeri* y *Schinus molle* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3508>
- Ministerio de agricultura y Ganadería (MAG). (2017). El Eucalipto genera impactos sobre la naturaleza. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/eucalipto-impactos-naturaleza-incendios-fuego.html>
- Moreno, J., López, G., and Siche, R. (2016). Modeling and optimization of extraction process of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 147–154. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.02.05>
- Ngo, T. C. Q., Tran, T., H., and Le, X. T. (2020). The effects of influencing parameters on the *Eucalyptus globulus* leaves essential oil extraction by hydrodistillation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1), 12126. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012126>

- Nolazco Cama D., Villanueva-Quejia, E., Hatta Sakoda, B., y Tellez Monzon, L. (2020). Extracción y caracterización química del aceite esencial de Eucalipto obtenido por microondas y ultrasonido. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 274–284. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.661>
- Oliveira, C. S. D., Moreira, P., Cruz, M. T., Pereira, C. M. F., Silva, A. M. S., Santos, S. A. O., & Silvestre, A. J. D. (2023). Exploiting the Integrated Valorization of Eucalyptus globulus Leaves: Chemical Composition and Biological Potential of the Lipophilic Fraction before and after Hydrodistillation. *In International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/ijms24076226>
- Quispe Solano, M. A. Corilla Flores, D. D., Asto Hinojosa, R., De La Cruz A. H. y Manyari Cervantes, G. M. (2022). Capacidad antioxidante de aceite esencial de hojas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) extraído por energía ultrasónica. *Ciencia agroalimentaria*, 1(1), 19–29. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/jafs/article/view/1437/1605>
- Romero, M. (2018). Usos tradicionales y actuales de los aceites esenciales. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82290/TFG%20-%20Maria%20Romero%20Alcedo.pdf;jsessionid=9FDB4520FD6E3F03CA7980FFB546A5C1?sequence=1&isAllowed=y>
- Sarracent-López, A., y Gandón-Hernández, J. (2016). Estudio de la transformación del aceite de soya usado en ésteres etílicos de ácidos grasos. *Tecnología Química*, 36(3), 417–438. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852016000300009&script=sci_arttext
- Sharma, A., Kumar, V., Mittal, C., Rana, D. V., Dabral, K., and Parveen, G. (2023). Role of essential oil used pharmaceutical cosmetic product. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 2(3), 147–157. <https://doi.org/10.55544/jrasb.2.3.19>
- Torrenegra, A. M. E., Granados, C. C., y León, M. G. (2019). Extracción, caracterización y actividad antioxidante del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill. *Revista Cubana de Farmacia*, 52(1), 1–12. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubfar/rcf-2019/rcf191g.pdf>