

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE *Eucalyptus globulus* MEDIANTE VAPOR Y ACETATO DE ETILO

Extraction and characterization of *Eucalyptus globulus* essential oil using steam and ethyl acetate

Jhonny Iván Oporto Berrios¹

RESUMEN

En la valorización agroindustrial de productos naturales, la obtención de aceites esenciales demanda protocolos reproducibles que resguarden la calidad fitoquímica y, a la vez, reduzcan externalidades ambientales asociadas al proceso. Se desarrolló una extracción y caracterización cualitativa de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill. (eucalipto blanco) mediante destilación por arrastre de vapor y purificación con acetato de etilo, en el Centro de Tecnología Agroindustrial de la Universidad Mayor de San Simón, como práctica aplicada del Diplomado en Biodiversidad para la Producción de Plantas con Propiedades Medicinales e Insecticidas. La pregunta conductora se orientó a establecer el rendimiento obtenido y la evidencia cualitativa que sustenta la presencia de 1,8-cineol bajo condiciones operativas explícitas. El ensayo se ejecutó en dos lotes que totalizaron 2 277 g de biomasa, con tiempos de exposición al vapor de 60 y 180 minutos, recuperándose 29.5 mL de aceite esencial; el lote de mayor duración aportó el volumen principal y elevó el rendimiento por lote. La evaluación organoléptica registró un aceite de color amarillo pálido, aroma fresco y mentolado, y ausencia de impurezas visibles tras la clarificación. La cromatografía en capa fina, con eluyente hexano: acetato de etilo (8:2) y revelado con anisaldehído-sulfúrico, mostró un patrón compatible con monoterpenos oxigenados e identificó 1,8-cineol como componente predominante (R_f aproximado 0.65). En conjunto, los resultados sostienen la factibilidad técnica del esquema extracción–purificación–verificación cualitativa y ofrecen una base metodológica transferible para contextos educativos, comunitarios o de pequeña escala que requieren trazabilidad y control inicial de calidad.

Palabras clave: *Eucalyptol*, cromatografía en capa fina, trazabilidad del proceso, control organoléptico, química verde.

ABSTRACT

In the agroindustrial valorization of natural products, obtaining essential oils requires reproducible protocols that safeguard phytochemical quality while reducing environmental externalities associated with the process. An extraction and qualitative characterization of essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. (white eucalyptus) was developed using steam distillation and purification with ethyl acetate at the Agroindustrial Technology Center of University of San Simón, as an applied practice of the Diploma in Biodiversity for the Production of Plants with Medicinal and Insecticidal Properties. The guiding question focused on determining the yield obtained and the qualitative evidence supporting the presence of 1,8-cineole under explicit operational conditions. The assay was conducted on two batches totaling 2 277 g of biomass, with steam exposure times of 60 and 180 minutes, recovering 29.5 mL of essential oil; the longer-duration batch contributed the main volume and increased the yield per batch. Organoleptic evaluation recorded an oil with pale yellow color, fresh and mentholated aroma, and absence of visible impurities after clarification. Thin-layer chromatography, using hexane:ethyl acetate (8:2) eluent and revelation with anisaldehyde-sulfuric acid, showed a pattern compatible with oxygenated monoterpenes and identified 1,8-cineole as the predominant component (approximate R_f 0.65). Overall, the results support the technical feasibility of the extraction–purification–qualitative verification scheme and provide a transferable methodological basis for educational, community, or small-scale contexts requiring process traceability and initial quality control.

Keywords: *Eucalyptol*, thin-layer chromatography, process traceability, organoleptic control, green chemistry.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/wxtf4160jj54p>

Recibido: 16/02/2026

Aceptado: 20/06/2026

¹ Investigador independiente, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0000-5670-9041>. ivanjob@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos volátiles biosintetizados por las plantas, dominadas principalmente por monoterpenos y sesquiterpenos, cuya relevancia farmacológica, agroindustrial y sensorial depende tanto de su composición como de las condiciones de obtención (Bakkali et al., 2008; Burt, 2004; Miguel, 2010). Además de la presencia de componentes predominantes, su comportamiento biológico no suele responder a un único constituyente aislado, sino también a la arquitectura química del extracto y a las posibles interacciones entre compuestos mayoritarios y minoritarios, incluidas relaciones sinérgicas o aditivas (de Sousa et al., 2023; Ju et al., 2022). En la literatura reciente, su estudio ha dejado de centrarse únicamente en la obtención del extracto para incorporar criterios de rendimiento, integridad composicional, trazabilidad y sostenibilidad del proceso, especialmente en contextos donde se buscan métodos técnicamente viables y ambientalmente más responsables (Chemat et al., 2012, 2019; Kant y Kumar, 2022; Usman et al., 2023; Zhou et al., 2023). En esa línea, la extracción no constituye una fase meramente instrumental, sino una operación crítica que condiciona la estabilidad, la pureza relativa y la comparabilidad del producto final.

Dentro de este campo, *Eucalyptus globulus* Labill. ocupa un lugar relevante por el interés sostenido que despierta su aceite esencial en aplicaciones terapéuticas, respiratorias, cosméticas e higiénicas, así como por su proyección productiva en distintos contextos regionales (Dhakad et al., 2018; Rodrigues y Mazzafera, 2025; Silva et al., 2003). Su perfil fitoquímico suele estar dominado por 1,8-cineol, compuesto que ha sido ampliamente reconocido como marcador funcional por su recurrencia, su valor farmacológico y su utilidad para comparar lotes, métodos de extracción y perfiles químicos entre diferentes contextos de producción (Cai et al., 2021; Čmiková et al., 2023; Hoch et al., 2023). No obstante, la composición del aceite no es fija, ya que puede variar según factores botánicos, fenológicos, ambientales y operativos, lo que vuelve indispensable documentar con precisión las condiciones de recolección, procesamiento y análisis para sostener criterios básicos de estandarización y control de calidad (Almas et al., 2021; Benomari et al., 2023; Figueiredo et al., 2008; Mieres-Castro et al., 2024; Polito et al., 2023; Raut y Karuppayil, 2014).

En este contexto, la destilación por arrastre de vapor mantiene vigencia como método de extracción por su simplicidad operativa, bajo uso de reactivos y aplicabilidad en escalas académicas, artesanales y de pequeña producción. Su desempeño, sin embargo, depende de variables como el tiempo de destilación, la preparación

de la biomasa, la eficiencia de condensación y la estabilidad del sistema, factores que inciden de manera directa sobre el volumen recuperado y la preservación de compuestos termolábiles (Cassel et al., 2009; Chemat et al., 2019; Sareriya et al., 2024). Cuando la separación inicial presenta emulsiones o arrastre de humedad, la purificación con acetato de etilo puede funcionar como una operación complementaria de clarificación, siempre que se controle la remoción del solvente y se preserve la identidad química de la fracción volátil (Türkmenoğlu y Özmen, 2023; Zhou et al., 2023). Bajo estas condiciones, la cromatografía en capa fina adquiere valor como herramienta accesible de verificación cualitativa preliminar, útil para reconocer patrones compatibles con 1,8-cineol y con monoterpenos oxigenados en protocolos de bajo costo que priorizan reproducibilidad y trazabilidad (Wagner y Bladt, 1996).

En este contexto, se ejecutó una práctica experimental en el Centro de Tecnología Agroindustrial de la Universidad Mayor de San Simón, dentro del módulo de Métodos de laboratorio y técnicas artesanales para la obtención de principios activos, con el propósito de sistematizar un protocolo de extracción por arrastre de vapor y una purificación posterior con acetato de etilo. El estudio procesó 2 277 g de biomasa en dos lotes con tiempos de exposición diferenciados, registrando rendimiento, rasgos organolépticos y un perfil cualitativo inicial mediante cromatografía en capa fina, conforme a criterios metodológicos ampliamente utilizados para el reconocimiento preliminar de compuestos volátiles (Wagner y Bladt, 1996). La pregunta conductora se formuló en términos de desempeño y verificación: ¿cuál es el rendimiento obtenido y qué evidencia cualitativa sustenta la presencia del 1,8-cineol bajo las condiciones operativas descritas? A partir de ello, se establecieron como objetivos obtener el aceite esencial, mejorar su claridad mediante purificación e identificar su componente mayoritario mediante una técnica cromatográfica reproducible y de bajo costo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se desarrolló en el Centro de Tecnología Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales “Dr. Martín Cárdenas H.” de la Universidad Mayor de San Simón, en la ciudad de Cochabamba, Bolivia, en el marco del Diplomado en Biodiversidad para la Producción de Plantas con Propiedades Medicinales e Insecticidas. Esta localización no solo define el espacio físico de ejecución, sino también el carácter aplicado del trabajo, pues la práctica se

inscribió en un entorno de formación técnica orientado a la obtención de principios activos de origen vegetal mediante procedimientos reproducibles. En ese contexto, el laboratorio funcionó como unidad operativa para registrar condiciones de procesamiento, recuperación del aceite esencial y verificación cualitativa de su composición, manteniendo la trazabilidad de cada etapa. La localización institucional resulta relevante porque sitúa el estudio en un escenario de experimentación académica controlada, donde la extracción y la caracterización preliminar del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* se realizaron bajo condiciones verificables y con un propósito metodológico explícito.

Metodología

Unidades de análisis y delimitación

La investigación se estructuró como un estudio experimental-descriptivo, orientado a registrar el desempeño del proceso de destilación por arrastre de vapor y a documentar evidencias cualitativas sobre la composición y calidad del aceite esencial obtenido. El diseño se organizó a partir de dos lotes de biomasa procesados bajo el mismo arreglo técnico, diferenciados únicamente por el tiempo de exposición al vapor, con el fin de observar su relación con el volumen recuperado. En esta lógica, las unidades de análisis correspondieron a cada lote experimental y a las etapas sucesivas del procedimiento, desde la preparación del material vegetal hasta la verificación cromatográfica. Como variables operativas de control se consideraron la parte vegetal utilizada, la masa procesada, el tiempo de destilación, el solvente empleado en la purificación, el sistema de elución y las condiciones de almacenamiento. Esta delimitación responde a enfoques metodológicos que recomiendan explicitar los parámetros críticos de proceso para sostener trazabilidad, comparabilidad y control del desempeño extractivo (Chen et al., 2023; Machado et al., 2024; Sareriya et al., 2024).

Material vegetal y preparación de la biomasa

El material vegetal estuvo compuesto por hojas y ramas tiernas frescas de *Eucalyptus globulus*, recolectadas manualmente en horas de la mañana y procesadas el mismo día, con el propósito de reducir pérdidas por volatilización y preservar la fracción aromática previa a la destilación. La masa total trabajada fue de 2 277 g, distribuida en dos lotes experimentales de 1 112 g y 1 165 g. La selección de hojas y ramas tiernas respondió a su reconocida relevancia fitoquímica en la producción de compuestos volátiles, mientras que el manejo inmediato del material permitió disminuir variaciones asociadas a exposición prolongada al calor, radiación o

deshidratación. Antes de la destilación, la biomasa fue cortada manualmente en fragmentos de tamaño moderado para aumentar el área de contacto con el vapor y favorecer la transferencia de masa, evitando una trituration excesiva que pudiera compactar el lecho vegetal y alterar la circulación homogénea del vapor. Esta etapa se asumió como parte sustantiva del control metodológico, dado que la preparación de la biomasa influye directamente sobre rendimiento, estabilidad del proceso y comparabilidad entre corridas (Figueiredo et al., 2008; Machado et al., 2024; Sareriya et al., 2024).

Equipamiento y procedimiento de destilación por arrastre de vapor

La extracción del aceite esencial se realizó mediante un sistema manual de destilación por arrastre de vapor conformado por una caldera de acero inoxidable con calefacción eléctrica, una cámara de destilación con rejilla para sostener la biomasa, un serpentín de condensación y un recipiente decantador para la separación de fases. El procedimiento se basó en el principio de coevaporación de agua y compuestos volátiles, por el cual el vapor transporta la fracción aromática hasta el sistema de condensación, donde esta es recuperada en forma líquida para su posterior separación. Se efectuaron dos corridas independientes: el lote 1 fue sometido a destilación durante 60 minutos y el lote 2 durante 180 minutos, manteniendo la temperatura del sistema en valores compatibles con la generación de vapor sin exceder 100 °C. La variación del tiempo de destilación se definió como la principal variable de ajuste, por su incidencia directa en la liberación progresiva de volátiles y en el volumen recuperado. La literatura especializada ha señalado que la eficiencia de este tipo de extracción depende del control de variables como duración, condensación y estabilidad térmica, por lo que su documentación constituye parte del rigor metodológico del estudio (Chemat et al., 2019; Chen et al., 2023; Machado et al., 2024).

Separación de fases y purificación con acetato de etilo

Una vez concluida cada corrida, el destilado condensado se transfirió al recipiente decantador y se dejó en reposo para favorecer la separación por densidad entre la fase oleosa y el hidrolato. Durante esta etapa se observó emulsión parcial, lo que dificultó la delimitación nítida de ambas fases y justificó el uso de acetato de etilo como apoyo de partición. Se añadieron 5 mL de este solvente por muestra y, tras una agitación controlada, el sistema se dejó en reposo durante 20 minutos para favorecer la clarificación de la fracción orgánica. Posteriormente, el acetato de etilo fue eliminado por evaporación a temperatura ambiente, evitando exposición innecesaria

al calor con el fin de minimizar pérdidas selectivas de compuestos más volátiles. El aceite esencial recuperado se almacenó en frascos ámbar, en ambiente seco y protegido de la luz directa. Esta secuencia respondió a un criterio de purificación orientado a mejorar la observabilidad y el manejo del extracto sin alterar deliberadamente su identidad química, manteniendo condiciones compatibles con la conservación inicial de matrices volátiles y con prácticas de seguridad y control de residuos descritas para aceites esenciales (Prakash et al., 2024; Tamburlin et al., 2021; Zhou et al., 2023).

Caracterización organoléptica y cromatografía en capa fina

La caracterización del aceite esencial se realizó en dos niveles complementarios. En primer lugar, se efectuó un registro organoléptico descriptivo, considerando color, claridad, homogeneidad visual y perfil aromático como atributos observables del producto después de la separación y la purificación. Estos parámetros no se interpretaron como evidencia concluyente de composición, sino como indicadores iniciales de consistencia entre lotes y de las condiciones visibles del extracto obtenido. En segundo lugar, se aplicó cromatografía en capa fina como técnica de verificación cualitativa preliminar. Para ello se utilizaron placas de sílica gel F254 y un sistema de elución hexano: acetato de etilo (8:2). La revelación se efectuó mediante reactivo anisaldehído-sulfúrico y la lectura del cromatograma incluyó observación bajo luz ultravioleta. La TLC (cromatografía de capa fina) se asumió como una herramienta accesible para reconocer patrones de migración compatibles con el componente mayoritario esperado y con la presencia de monoterpenos oxigenados en la muestra, manteniendo en todo momento el alcance

cualitativo del método. Su utilización resulta coherente con procedimientos ampliamente aceptados para el reconocimiento preliminar de compuestos volátiles cuando no se dispone de instrumentación analítica de mayor resolución (Wagner y Bladt, 1996; Zych y Pyka-Pająk, 2025).

Registro de datos, análisis y criterio de rendimiento

El registro de datos se organizó por lote y por etapa del proceso, integrando variables de materia prima, operación y producto para sostener la trazabilidad integral del procedimiento. La información recopilada incluyó masa procesada, tiempo de destilación, volumen de aceite recuperado, observaciones organolépticas, condiciones de purificación, sistema cromatográfico y almacenamiento. El rendimiento se expresó como volumen de aceite esencial recuperado por 100 g de biomasa procesada (mL/100 g), calculado mediante la relación entre el volumen obtenido y la masa del lote correspondiente, multiplicada por cien. Esta forma de expresión se adoptó para evitar ambigüedades asociadas al uso impropio de porcentajes y para facilitar una lectura comparativa más precisa del desempeño extractivo. La consistencia metodológica del ensayo se sostuvo mediante control de condiciones y documentación explícita de los parámetros operativos, más que por repetición estadística, dado el carácter aplicado y formativo de la experiencia. En consecuencia, la Tabla 1 resume las variables experimentales controladas, mientras que la Figura 1 sintetiza la secuencia operativa de extracción, purificación y verificación cualitativa, facilitando la reconstrucción del protocolo y su eventual transferencia a contextos académicos o de pequeña escala.

Tabla 1. Parámetros experimentales controlados durante la extracción y purificación del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*.

Variable experimental	Condición aplicada
Parte de la planta	Hojas y ramas tiernas frescas
Masa total procesada	2 277 g, divididos en dos lotes
Masa por lote	1 112 g y 1 165 g
Tiempo de destilación	60 min (lote 1) y 180 min (lote 2)
Temperatura de destilación	≤100 °C
Solvente de purificación	Acetato de etilo (5 mL por muestra)
Tiempo de reposo para separación	20 min
Técnica de análisis cualitativo	Cromatografía en capa fina
Sistema de elución	Hexano: acetato de etilo (8:2)
Condiciones de almacenamiento	Frascos ámbar, ambiente seco y protegido de la luz directa

La tabla resume las variables operativas controladas durante la destilación por arrastre de vapor, la purificación con acetato de etilo y la verificación cualitativa del aceite esencial obtenido.



Figura 1. Flujo del proceso experimental de extracción y purificación del aceite esencial. El diagrama se incluye para hacer explícita la secuencia operativa y los puntos de control del proceso (preparación de biomasa, destilación, separación de fases, purificación con acetato de etilo, remoción de solvente, almacenamiento y verificación cualitativa por TLC), facilitando la replicación del procedimiento en contextos académicos y de pequeña escala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de extracción y dinámica del proceso

El procedimiento de extracción y purificación permitió recuperar 29.5 mL de aceite esencial a partir de 2 277 g de biomasa procesada. En el lote 1 se trabajó con 1 112 g de material vegetal y se obtuvieron 10 mL de aceite esencial, mientras que en el lote 2, con 1 165 g de biomasa, se recuperaron 19.5 mL. Expresado en términos comparables, el rendimiento fue de 0.9 mL/100 g para el primer lote y de 1.7 mL/100 g para el segundo, con un rendimiento global de 1.3 mL/100 g. Esta diferencia resulta metodológicamente significativa porque ambas corridas partieron de masas cercanas, de modo que la variación observada no puede atribuirse solo a la cantidad de biomasa procesada, sino al efecto combinado del tiempo de destilación y de la respuesta del sistema durante la liberación y recuperación de compuestos volátiles. En ese sentido, la Tabla 2 resume el desempeño comparativo del procedimiento bajo las condiciones operativas aplicadas.

Tabla 2. Rendimiento (mL/100 g) de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* por lote.

Lote	Masa procesada (g)	Volumen obtenido (mL)	Rendimiento (mL/100 g)
Lote 1	1 112	10.0	0.9
Lote 2	1 165	19.5	1.7
Total	2 277	29.5	1.3

El rendimiento se expresa como volumen de aceite esencial recuperado por 100 g de biomasa procesada (mL/100 g). Los volúmenes corresponden al aceite separado tras decantación y purificación, y el valor total sintetiza el rendimiento global del conjunto de corridas.

La diferencia entre lotes sugiere que el tiempo de exposición al vapor incidió de forma directa en la eficiencia de arrastre de los volátiles. Mientras el primer lote fue sometido a 60 minutos de destilación, el segundo permaneció 180 minutos bajo el mismo principio de operación, lo que coincide con la idea de que la recuperación del aceite esencial responde a una cinética progresiva y a una ventana temporal suficiente para vencer resistencias internas de transferencia de masa. Chemat et al. (2019) advierten que, aún en técnicas clásicas como

la destilación por arrastre de vapor, la eficiencia final depende del control del régimen térmico, del contacto entre vapor y biomasa y de la capacidad del sistema para condensar y separar adecuadamente la fracción aromática. Desde un enfoque más modelizado, Maharaj y McGaw (2020) sostienen que la remoción de constituyentes volátiles durante la destilación puede entenderse como un proceso dinámico donde la tasa de recuperación cambia conforme el sistema agota las fracciones más accesibles del material vegetal, lo que ayuda a interpretar por qué una mayor duración del proceso puede traducirse en un incremento sensible del volumen obtenido.

Este comportamiento también es coherente con estudios recientes de optimización en extracción de aceites esenciales. Sareriya et al. (2024) muestran que el tiempo de destilación constituye una variable crítica en la recuperación de aceite de *Eucalyptus* y que su ajuste puede modificar de manera apreciable el rendimiento final, aun cuando la masa procesada y el montaje general del sistema permanezcan relativamente estables. En la misma línea, Gaikwad et al. (2025) señalan que la eficiencia extractiva de los aceites esenciales no depende exclusivamente de la especie vegetal, sino también del contenido de humedad, de la duración del tratamiento y de las condiciones de operación. A la luz de estos aportes, el rendimiento observado en el presente estudio no debe leerse como un valor fijo inherente a *Eucalyptus globulus*, sino como el resultado integrado de un conjunto de decisiones técnicas que incluyen la preparación de la biomasa, la duración de la corrida, la estabilidad del sistema y la eficiencia de condensación. Desde esta perspectiva, el rendimiento adquiere valor no solo como dato cuantitativo, sino como indicador del comportamiento del protocolo bajo condiciones reproducibles de laboratorio.

Caracterización organoléptica y control inicial del producto

El aceite esencial obtenido presentó color amarillo pálido, aroma fresco y mentolado, densidad aparente menor que la del agua y ausencia de impurezas visibles luego de la separación y purificación. La fase oleosa recuperada se mantuvo homogénea y sin residuos flotantes, lo que permitió documentar un producto visualmente estable en el momento inmediato posterior al procesamiento. Estos rasgos no fueron interpretados como prueba concluyente de composición química, pero sí como indicadores descriptivos del estado del extracto y de la coherencia observable entre la destilación, la clarificación y el almacenamiento inicial. En estudios de extracción de aceites esenciales, este tipo de registro resulta metodológicamente pertinente porque aporta una

primera lectura sobre la presentación del producto, su limpieza visual y la posible presencia de emulsiones residuales o arrastres no deseados, aspectos que inciden en la interpretación posterior del análisis cualitativo.

La importancia de esta observación radica en que el control inicial del producto no se reduce a la medición del rendimiento. Bakkali et al. (2008) recuerdan que los aceites esenciales son matrices complejas cuya estabilidad y comportamiento dependen no solo de su composición, sino también de las condiciones de obtención y manipulación. En una línea semejante, Miguel (2010) subraya que la actividad y el valor aplicado de estos extractos se relacionan con la integridad de sus fracciones volátiles, condición que puede verse comprometida por oxidación, contaminación o manejo inadecuado durante el procesamiento. Por ello, el color, la claridad y el perfil aromático registrados en este estudio deben entenderse como evidencia descriptiva útil para sostener la trazabilidad del procedimiento y para valorar la consistencia del aceite obtenido, sin extrapolar estos atributos a una afirmación directa sobre pureza o potencia farmacológica. Lo relevante aquí es que el producto recuperado mostró una coherencia sensorial y visual compatible con un aceite esencial adecuadamente separado y conservado en su fase inicial de análisis.

Evidencia cromatográfica del 1,8-cineol y alcance de la verificación cualitativa

La cromatografía en capa fina permitió identificar zonas de migración compatibles con el patrón esperado para el 1,8-cineol, registrándose un R_f aproximado de 0.65 en el sistema eluyente hexano: acetato de etilo (8:2). Tras el revelado con anisaldehído-sulfúrico, se observaron áreas teñidas asociadas a monoterpenos oxigenados, lo que respalda la presencia de una familia química coherente con el perfil fitoquímico esperado para *Eucalyptus globulus*. Desde el punto de vista del resultado inmediato, el cromatograma ofreció una evidencia cualitativa preliminar que permitió sostener la presencia del compuesto marcador sin incurrir en afirmaciones cuantitativas sobre su proporción en la muestra. Ese matiz es importante, porque la utilidad de la TLC en este estudio no radica en sustituir técnicas instrumentales de mayor resolución, sino en ofrecer un umbral razonable de verificación accesible, reproducible y metodológicamente consistente con un protocolo de pequeña escala.

La lectura del cromatograma se refuerza cuando se la pone en relación con el conocimiento acumulado sobre la especie. Cai et al. (2021) señalan que el 1,8-cineol constituye uno de los compuestos más representativos y estudiados entre los monoterpenos oxigenados, tanto por

su recurrencia en matrices vegetales aromáticas como por su interés farmacológico. En el caso específico de *Eucalyptus globulus*, Dhakad et al. (2018) y Čmíková et al. (2023) coinciden en que su aceite esencial suele estar dominado por este compuesto, acompañado por otros terpenos en proporciones variables. Así, la evidencia cromatográfica obtenida en el presente trabajo no surge en un vacío interpretativo, sino que dialoga con un perfil fitoquímico ampliamente descrito para la especie. Wagner y Bladt (1996), además, destacan que la cromatografía en capa fina permite reconocer compuestos conocidos y familias químicas mediante la combinación de migración relativa y respuesta cromática, lo que justifica su empleo como técnica preliminar de reconocimiento cuando no se dispone de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas u otros métodos instrumentales más resolutivos.

El valor de este resultado depende también de reconocer su límite. La presencia de una banda compatible con 1,8-cineol y de una respuesta colorimétrica asociada a monoterpenos oxigenados no autoriza, por sí sola, a afirmar porcentajes de composición ni cumplimiento de estándares farmacopéicos. Juergens et al. (2020) y Hoch et al. (2023) documentan la relevancia terapéutica del 1,8-cineol, particularmente por sus propiedades mucolíticas, antiinflamatorias y broncodilatadoras, pero ese interés biomédico no sustituye el requisito analítico de cuantificación cuando se pretende verificar un uso medicinal normado. La European Directorate for the Quality of Medicines (2022) establece umbrales mínimos de contenido para aceites esenciales con finalidad farmacéutica, de modo que la TLC, aunque útil y pertinente, solo permite sostener una conclusión cualitativa preliminar: el protocolo aplicado produjo un extracto cuyo comportamiento cromatográfico es compatible con la presencia del marcador mayoritario esperado para la especie. En términos de rigor, esta formulación resguarda la validez del resultado y evita una sobreinterpretación de la evidencia disponible.

Purificación con acetato de etilo y estabilidad observada de la fase oleosa

La etapa de purificación con acetato de etilo cumplió una función operativa clara en el proceso, al facilitar la separación de fases y mejorar la claridad del aceite recuperado. Luego de la partición y de la remoción del solvente, la fase oleosa mostró menor turbidez, mayor transparencia y ausencia de residuos visibles, lo que favoreció una condición más estable y legible para el análisis cualitativo posterior. Este resultado es relevante porque en extracciones a pequeña escala la presencia de

emulsiones o de arrastre de agua residual puede comprometer tanto la observación organoléptica como la interpretación cromatográfica. En este estudio, la purificación no fue planteada como un procedimiento de modificación composicional deliberada, sino como una operación de clarificación destinada a mejorar la separación y la presentación del extracto bajo condiciones controladas de manejo.

La literatura apoya este uso técnico del solvente en etapas de fraccionamiento simple. Azmir et al. (2013) señalan que los solventes orgánicos pueden favorecer procesos de separación y aislamiento cuando se emplean bajo condiciones reguladas, mientras que Zhou et al. (2023) destacan que la pertinencia de estas estrategias depende de la escala del procedimiento, del propósito de pureza buscado y del control de pérdidas asociadas a evaporación o manipulación. En el caso presente, la utilidad del acetato de etilo se manifestó en un plano visible y operativo: permitió obtener una fase más homogénea y con mejor definición para su almacenamiento y verificación cualitativa. Esta observación también dialoga con la perspectiva de Chemat et al. (2012), quienes, desde la discusión sobre extracción verde, subrayan que el empleo de solventes debe valorarse no solo por su eficiencia, sino por el modo en que se controla su uso, su remoción y su impacto sobre la integridad del producto.

Desde el análisis del proceso, la purificación puede interpretarse como un componente del control inicial de calidad más que como una fase autónoma de refinamiento avanzado. La evidencia observada no autoriza a sostener que el acetato de etilo incrementó la pureza química en sentido cuantificable, pero sí permite afirmar que favoreció la separación de la fracción oleosa y mejoró su estabilidad visual inmediata. Esa distinción es importante para no atribuir al procedimiento más de lo que realmente mostró. Lo que el resultado confirma es que la secuencia destilación-decantación-purificación ofreció una vía técnicamente funcional para obtener un extracto más claro, homogéneo y apto para una caracterización preliminar. En términos de reproducibilidad, este hallazgo fortalece el valor práctico del protocolo, especialmente en contextos académicos o comunitarios donde la simplicidad operativa y la claridad del procedimiento constituyen condiciones esenciales para su transferencia.

Alcances analíticos del estudio y consistencia del protocolo

Considerados en conjunto, los resultados muestran que el protocolo aplicado fue capaz de producir un aceite esencial recuperable, visualmente estable y

cualitativamente coherente con el perfil esperado para *Eucalyptus globulus*. El rendimiento global de 1.3 mL/100 g, la mejor respuesta del lote sometido a mayor tiempo de destilación, la apariencia homogénea del aceite y la identificación cromatográfica compatible con 1.8-cineol no son hallazgos aislados, sino dimensiones complementarias de una misma lógica experimental. Chen et al. (2023) sostienen que, en procesos de extracción, la calidad metodológica depende de la explicitación de variables críticas y de la relación que estas guardan con los atributos observables del producto. Bajo esa lógica, los hallazgos del presente estudio permiten afirmar que el control de condiciones, aun en un esquema de pequeña escala, puede generar resultados técnicamente consistentes y comparables.

Al mismo tiempo, el alcance del estudio debe formularse con precisión. El número de corridas fue limitado a dos lotes y el análisis químico se mantuvo en un nivel cualitativo, por lo que no corresponde proyectar estos resultados hacia inferencias estadísticas ni hacia la certificación farmacopéica del producto. Kaya et al. (2020) advierten que variables como humedad ambiental, temperatura inicial del material vegetal y condiciones específicas del sistema pueden incidir de manera sensible en la extracción por vapor, mientras que la European Directorate for the Quality of Medicines (2022) deja claro que la conformidad con estándares medicinales exige cuantificación composicional. Por ello, el valor principal del trabajo no reside en cerrar la caracterización del aceite esencial, sino en demostrar la factibilidad de un protocolo trazable, reproducible y metodológicamente legible para contextos formativos y de pequeña producción. En este punto, la fortaleza del estudio radica en haber articulado rendimiento, observación del producto y verificación cromatográfica en una secuencia coherente, capaz de generar evidencia inicial robusta sin desbordar el alcance real de los métodos empleados.

CONCLUSIONES

El análisis expone que la obtención de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* mediante destilación por arrastre de vapor y purificación posterior con acetato de etilo constituyó una vía técnicamente factible y metodológicamente consistente en el contexto experimental descrito. La secuencia aplicada permitió articular preparación de biomasa, extracción, separación de fases, clarificación y verificación cualitativa dentro de un protocolo trazable, ejecutado bajo condiciones de control suficientes para sostener la comparabilidad del procedimiento. En esa medida, la experiencia desarrollada en el Centro de Tecnología Agroindustrial de la

Universidad Mayor de San Simón no solo confirmó la viabilidad operativa del esquema experimental, sino que mostró que un montaje de pequeña escala, cuando se documenta con precisión, puede producir resultados verificables y útiles para fines formativos, analíticos y de transferencia metodológica. El valor del estudio reside, por tanto, en haber convertido una práctica aplicada en una secuencia técnicamente legible, capaz de generar evidencia inicial robusta sobre el comportamiento del proceso y sobre las características del extracto recuperado.

En relación directa con la pregunta conductora, los resultados permitieron establecer el rendimiento obtenido y documentar la evidencia cualitativa que sustenta la presencia del componente mayoritario esperado bajo las condiciones operativas descritas. A partir de 2 277 g de biomasa procesada se recuperaron 29.5 mL de aceite esencial, con un rendimiento global de 1.3 mL/100 g, mientras que la comparación entre lotes mostró un desempeño superior en la corrida sometida a mayor tiempo de destilación. Esta diferencia confirmó que el rendimiento no depende únicamente de la masa procesada, sino también del comportamiento del sistema de arrastre de vapor, de la duración del tratamiento y de la eficiencia global de recuperación. De forma complementaria, la cromatografía en capa fina mostró un patrón compatible con 1.8-cineol y con la presencia predominante de monoterpenos oxigenados, lo que permitió sostener una verificación cualitativa preliminar coherente con el perfil fitoquímico esperado para *Eucalyptus globulus*, aunque sin atribuir a ese resultado un alcance cuantitativo que el diseño metodológico no permite afirmar.

La purificación con acetato de etilo desempeñó una función relevante en la estabilización inicial del producto obtenido, al favorecer una separación más clara entre fases y permitir la recuperación de una fracción oleosa visualmente homogénea, con menor turbidez y sin residuos visibles luego de la remoción del solvente. En términos descriptivos, el aceite esencial presentó color amarillo pálido, aroma fresco y mentolado, así como una apariencia continua y estable en el momento posterior al procesamiento, rasgos que mantuvieron coherencia con la secuencia de obtención y con el reconocimiento cromatográfico preliminar. Estos hallazgos no autorizan a afirmar pureza composicional ni cumplimiento de estándares farmacopéicos, pero sí permiten concluir que la cadena extracción–purificación–verificación cualitativa produjo un extracto técnicamente operativo, susceptible de evaluación inicial mediante criterios de rendimiento, observación organoléptica y reconocimiento cromatográfico. En este sentido, el estudio delimitó con claridad qué evidencias pueden sostenerse desde un

análisis cualitativo y qué aspectos requerirían una fase posterior de cuantificación instrumental.

En el plano metodológico y aplicado, el trabajo aporta un protocolo reproducible y de bajo costo para contextos educativos, comunitarios o de pequeña producción que busquen iniciar procesos de obtención y verificación preliminar de aceites esenciales sin infraestructura analítica compleja. Su principal contribución no radica en cerrar la caracterización química del aceite esencial, sino en ofrecer una ruta experimental ordenada, transparente y transferible, capaz de vincular enseñanza, práctica de laboratorio y aprovechamiento responsable de recursos vegetales con interés fitoquímico. Desde esta perspectiva, la experiencia muestra que la producción de conocimiento aplicado puede consolidarse a partir de procedimientos modestos, siempre que se sostengan en decisiones metodológicas explícitas, control de variables y una interpretación rigurosa del alcance real de la evidencia obtenida. Así, el estudio deja establecida una base pertinente para futuras etapas de cuantificación composicional, evaluación de estabilidad y análisis biológico, sin perder de vista que su aporte actual reside en la consistencia técnica del protocolo y en la claridad con que esta fue documentada.

BIBLIOGRAFÍA

- Almas, I., Innocent, E., Machumi, F., & Kisinza, W. (2021). Chemical composition of essential oils from *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maculata* grown in Tanzania. *Scientific African*, 12, e00758. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00758>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Benomari, F. Z., Sarazin, M., Chaib, D., Pichette, A., Boumghar, H., Boumghar, Y., & Djabou, N. (2023). Chemical variability and chemotype concept of essential oils from Algerian wild plants. *Molecules*, 28(11), 4439. <https://doi.org/10.3390/molecules28114439>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods, a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Cai, Z.-M., Peng, J.-Q., Chen, Y., Tao, L., Zhang, Y.-Y., Fu, L.-Y., Long, Q.-D., & Shen, X.-C. (2021). 1,8-Cineole: A review of source, biological activities, and application. *Journal of Asian Natural Products Research*, 23(10), 938-954. <https://doi.org/10.1080/10286020.2020.1839432>
- Cassel, E., Vargas, R. M. F., Martinez, N., Lorenzo, D., & Dellacassa, E. (2009). Steam distillation modeling for essential oil extraction process. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.017>
- Chemat, F., Abert-Vian, M., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615-8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., & Cravotto, G. (2019). Green extraction of natural products: Origins, current status, and future challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 248. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037>
- Chen, X., Guo, D., Gong, X., Wan, N., & Wu, Z. (2023). Optimization of steam distillation process for volatile oils from *Forsythia suspensa* and *Lonicera japonica* according to the concept of quality by design. *Separations*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.3390/separations10010025>
- Čmíková, N., Galovičová, L., Schwarzová, M., Vukic, M. D., Vukovic, N. L., Kowalczewski, P. Ł., Bakay, L., Kluz, M. I., Puchalski, C., & Kačániová, M. (2023). Chemical composition and biological activities of *Eucalyptus globulus* essential oil. *Plants*, 12(5), 1076. <https://doi.org/10.3390/plants12051076>
- de Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., Nunes, V. R. V., Gomes, R. C., & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>
- Dhakad, A. K., Pandey, V. V., Beg, S., Rawat, J. M., & Singh, A. (2018). Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 833-848. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8600>
- European Directorate for the Quality of Medicines. (2022). *European Pharmacopoeia* (11th ed.). Council of Europe.
- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213-226. <https://doi.org/10.1002/ffj.1875>
- Gaikwad, R. K., Mondal, I. H., Dash, K. K., Shaikh, A. M., & Béla, K. (2025). Effectiveness of sustainable oil extraction techniques: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101546. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101546>
- Hoch, C. C., Petry, J., Griesbaum, L., Weiser, T., Werner, K., Ploch, M., Verschoor, A., Multhoff, G., Bashiri Dezfouli, A., & Wollenberg, B. (2023). 1,8-cineole (eucalyptol): A versatile phytochemical with therapeutic applications across multiple diseases. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 167, 115467. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115467>
- Ju, J., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2022). Synergistic interactions of plant essential oils with antimicrobial agents: A new antimicrobial therapy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1740-1751. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1846494>
- Juergens, L. J., Worth, H., & Juergens, U. R. (2020). New perspectives for mucolytic, anti-inflammatory and adjunctive therapy with 1,8-cineole in COPD and asthma: Review on the new therapeutic approach. *Advances in Therapy*, 37(5), 1737-1753. <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01279-0>

- Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
- Kaya, D. A., Ghica, M. V., Dănilă, E., Öztürk, Ş., Türkmen, M., Albu Kaya, M. G., & Dinu-Pîrvu, C.-E. (2020). Selection of optimal operating conditions for extraction of *Myrtus communis* L. essential oil by the steam distillation method. *Molecules*, 25(10), 2399. <https://doi.org/10.3390/molecules25102399>
- Machado, C. A. T., Hodel, K. V. S., Lepikson, H. A., & Machado, B. A. S. (2024). Distillation of essential oils: An innovative technological approach focused on productivity, quality and sustainability. *PLoS ONE*, 19(2), e0299502. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299502>
- Maharaj, S., & McGaw, D. (2020). Mathematical model for the removal of essential oil constituents during steam distillation extraction. *Processes*, 8(4), 400. <https://doi.org/10.3390/pr8040400>
- Mieres-Castro, D. M. D., Maldonado, C. M., & Mora-Poblete, F. M. (2024). Enhancing prediction accuracy of foliar essential oil content, growth, and stem quality in *Eucalyptus globulus* using multi-trait deep learning models. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1451784. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451784>
- Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*, 15(12), 9252-9287. <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>
- Polito, F., Fratianni, F., Nazzaro, F., Amri, I., Kouki, H., Khammassi, M., Hamrouni, L., Malaspina, P., Cornara, L., & Khedhri, S. (2023). Essential oil composition, antioxidant activity and leaf micromorphology of five Tunisian *Eucalyptus* species. *Antioxidants*, 12(4), 867. <https://doi.org/10.3390/antiox12040867>
- Prakash, B., Singh, P. P., Gupta, V., & Raghuvanshi, T. S. (2024). Essential oils as green promising alternatives to chemical preservatives for agri-food products: New insight into molecular mechanism, toxicity assessment, and safety profile. *Food and Chemical Toxicology*, 183, 114241. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.114241>
- Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62, 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>
- Rodrigues, M., & Mazzafera, P. (2025). Essential oils from *Eucalyptus* species: A review of their activities, applications, and the Brazilian market. *Acta Botanica Brasilica*, 39, e20240111. <https://doi.org/10.1590/1677-941x-abb-2024-0111>
- Sareriya, K. J., Vanzara, P. B., & Maiti, S. (2024). Optimization of *Eucalyptus* essential oil extraction by applying response surface methodology in traditional distillation and its adaption to solar thermal process. *Sustainable Energy Research*, 11, 25. <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00118-y>
- Silva, J., Abebe, W., Sousa, S. M., Duarte, V. G., Machado, M. I. L., & Matos, F. J. A. (2003). Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of *Eucalyptus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(2-3), 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.007>
- Tamburlin, I. S., Roux, E., Feuillée, M., Labbé, J., Aussaguès, Y., El Fadle, F. E., Fraboul, F., & Bouvier, G. (2021). Toxicological safety assessment of essential oils used as food supplements to establish safe oral recommended doses. *Food and Chemical Toxicology*, 152, 112603. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112603>
- Türkmenoğlu, H., & Özmen, R. (2023). Deterpenation techniques for citrus essential oils: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 38(4), 407-415. <https://doi.org/10.1002/ffj.3758>
- Usman, M., Nakagawa, M., & Cheng, S. (2023). Emerging trends in green extraction techniques for bioactive natural products. *Processes*, 11(12), 3444. <https://doi.org/10.3390/pr11123444>
- Wagner, H., & Bladt, S. (1996). *Plant drug analysis: A thin layer chromatography atlas* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-00574-9>
- Zhou, W., Li, J., Wang, X., Liu, L., Li, Y., Song, R., Zhang, M., & Li, X. (2023). Research progress on extraction, separation, and purification methods of plant essential oils. *Separations*, 10(12), 596. <https://doi.org/10.3390/separations10120596>
- Zych, M., & Pyka-Pająk, A. (2025). TLC in the analysis of plant material. *Processes*, 13(11), 3497. <https://doi.org/10.3390/pr13113497>