Articulo de investigación

Influencia de los métodos de extracción en la composición bioactiva y lipídica de *Kalanchoe pinnata*

Influence of Extraction Methods on the Bioactive and Lipid Composition of Kalan-choe pinnata



Miguel Ángel Enríquez Estrella[1 2] https://orcid.org/0000-0002-8937-9664
Letty Zambrano Camacho[1] https://orcid.org/0009-0002-4707-566X
Franklin Villafuerte Carrillo[1 2] https://orcid.org/0000-0001-8322-6213
Armando Paredes Peralta[1] https://orcid.org/0000-0002-1644-0751

[1]Universidad Estatal Amazónica – UEA | Puyo - Pastaza | CP 160101
[2]Universidad Nacional de Cuyo | Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria | ICAI-Conicet | San Rafael 5600, Mendoza - Argentina

menriquez@uea.edu.ec

https://doi.org/10.26423/rctu.v13i1.1461
Páginas: 1- 9

Resumen

Kalanchoe pinnata, conocida como “hoja del aire”, es una planta medicinal ampliamente utilizada en la Amazonía ecuatoriana por sus propiedades terapéuticas y potencial funcional. El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de diferentes métodos de extracción sobre la composición bioactiva y lipídica de la especie. Se realizaron análisis fisicoquímicos, incluyendo índices de refracción, saponificación, yodo y peróxidos, así como la determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante mediante el método FRAP. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre métodos de extracción ($p < 0,05$). La extracción hidroalcohólica presentó el mayor contenido de polifenoles totales, mientras que la maceración mostró la mayor actividad antioxidante y estabilidad oxidativa, sugiriendo una mejor preservación de compuestos funcionales. El método Soxhlet registró mayores índices de saponificación y yodo, aunque también mayor oxidación lipídica. Se concluye que la selección del método de extracción depende del metabolito y funcionalidad deseada.

Palabras clave: estabilidad oxidativa, maceración, metabolitos secundarios, polifenoles, Soxhlet.

Abstract

Kalanchoe pinnata, commonly known as “air leaf,” is a medicinal plant widely used in the Ecuadorian Amazon due to its therapeutic properties and functional potential. The aim of this study was to evaluate the influence of different extraction methods on the bioactive and lipid composition of the species. Physicochemical analyses were performed, including refractive index, saponification, iodine, and peroxide values, as well as the determination of total polyphenols and antioxidant activity using the FRAP method. The results revealed significant differences among extraction methods ($p < 0.05$). Hydroalcoholic extraction showed the highest total polyphenol content, whereas maceration exhibited the greatest antioxidant activity and oxidative stability, suggesting better preservation of functional compounds. The Soxhlet method presented higher saponi-fication and iodine values, although it also showed greater lipid oxidation. It is concluded that the selection of the extraction method depends on the target metabolite and the desired functionality.

Keywords: maceration, oxidative stability, polyphenols, secondary metabolites, Soxhlet.

Recepción: 3 diciembre 2025 | Aprobación: 3 junio 2026 | Publicación: 30 junio 2026

1. Introducción

Las plantas medicinales han sido empleadas durante siglos por diversas culturas para la prevención y tratamiento de enfermedades, gracias a las propiedades terapéuticas presentes en uno o más de sus órganos [1]. Se estima que aproximadamente el 80 % de la población mundial recurre a la medicina tradicional, en la cual el 90 % de los tratamientos se basan en el uso de especies vegetales [2]. Se han identificado más de 70 000 especies de plantas medicinales distribuidas globalmente, lo que evidencia su relevancia en el ámbito de la salud pública y la farmacognosia [3].

Una de estas especies es *Kalanchoe pinnata*, conocida popularmente como "hoja del aire" o "planta milagrosa", denominaciones que reflejan su amplio uso etnomedicinal en distintas culturas. A esta planta se le atribuyen propiedades terapéuticas en el tratamiento de heridas, afecciones respiratorias inflamatorias, litiasis renal, úlcera gástrica, cáncer, infecciones pulmonares y artritis reumatoide, entre otras patologías. Originaria de Madagascar, *K. pinnata* se ha naturalizado en regiones tropicales y subtropicales, donde prospera en condiciones de alta pluviosidad (1000–2000 mm anuales) [4].

Taxonómicamente, *K. pinnata* pertenece al género Kalanchoe, familia Crassulaceae, orden Saxifragales. Es una planta vascular que puede alcanzar hasta un metro de altura, con hojas carnosas y dentadas, propagación asexual y notable adaptabilidad a diversos climas y tipos de suelo. Esta capacidad de colonización ha llevado a que, en ciertos ecosistemas frágiles, como las islas Galápagos, sea considerada una especie invasora [5]. En Ecuador, *K. pinnata* se encuentra distribuida en la región insular y en provincias amazónicas como Morona Santiago, Pastaza, Napo y Sucumbíos, donde forma parte del conocimiento ancestral de comunidades indígenas [5]. En la parroquia Ahuano (provincia de Napo), la especie crece tanto en jardines como en chakras kichwa y de forma silvestre, en condiciones ecológicas caracterizadas por altitudes entre 300 y 1200 m s.n.m., temperaturas promedio de 26°C, humedad relativa del 80 % y precipitaciones anuales entre 2500 y 4000 mm [6].

La importancia de comparar métodos de composición en *K. pinnata* radica en que los diferentes procedimientos de extracción, análisis y caracterización pueden influir significativamente en la identificación y cuantificación de compuestos bioactivos, lipídicos [7]. En este sentido, la caracterización de su perfil químico mediante métodos de extracción diferenciados constituye una estrategia clave para identificar y cuantificar compuestos con potencial terapéutico [8]. La escasa información impide establecer relaciones claras entre las técnicas de procesamiento y la eficiencia en la recuperación de compuestos con potencial terapéutico, así como definir parámetros estandarizados para su aprovechamiento restringiendo la posibilidad de identificar condiciones óptimas de operación que permitan maximizar la eficiencia extractiva sin comprometer las estructuras y métodos funcionales de interés, muchos de los cuales son susceptibles a degradación térmica, oxidativa o fotoquímica [8]. Como consecuencia, se generan inconsistencias en la reproducibilidad de los resultados reportados en la literatura y se dificulta la comparación entre estudios desarrollados en distintos contextos geográficos o bajo diferentes metodologías experimentales.

En este sentido, la caracterización comparativa mediante métodos de extracción diferenciados resulta fundamental para optimizar la obtención de metabolitos de interés, mejorar la reproducibilidad de los resultados y fortalecer la base científica que respalda su uso tradicional. Asimismo, este tipo de estudios contribuye a la generación de conocimiento local, promoviendo la valorización de especies vegetales en el marco de la bioeconomía, la sostenibilidad y el desarrollo de aplicaciones en la industria farmacéutica y nutracéutica.

Además, la estandarización de técnicas de extracción y análisis no solo permite validar científicamente el conocimiento ancestral vinculado a esta especie, sino también establecer parámetros de calidad y eficacia que respalden su aplicación en el ámbito biomédico [9]. El método de extracción desempeña un papel determinante en la eficiencia de recuperación de estos compuestos, ya que factores como temperatura, solvente y tiempo de contacto pueden influir en la estabilidad y biodisponibilidad de los metabolitos. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de los métodos de extracción en la composición bioactiva y lipídica de *K. pinnata*.

2. Materiales y Métodos

Localización

El estudio experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Química y Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), Ecuador. Las condiciones ambientales del laboratorio fueron controladas (temperatura promedio de 22 ± 2 °C y humedad relativa de 60 ± 5 %) para asegurar la estabilidad de las muestras y la reproducibilidad de los análisis.

Tipo de investigación

El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, con enfoque experimental y cuantitativo. Se orientó a identificar la influencia de los métodos de extracción en la composición bioactiva, lipídica y volátil de *K. pinnata*, obtenido mediante tres métodos de extracción diferenciados, con el propósito de comparar y cuantificar su composición bioactiva, lipídica y volátil. Este enfoque permitió establecer relaciones entre las técnicas empleadas y la calidad de los metabolitos extraídos.

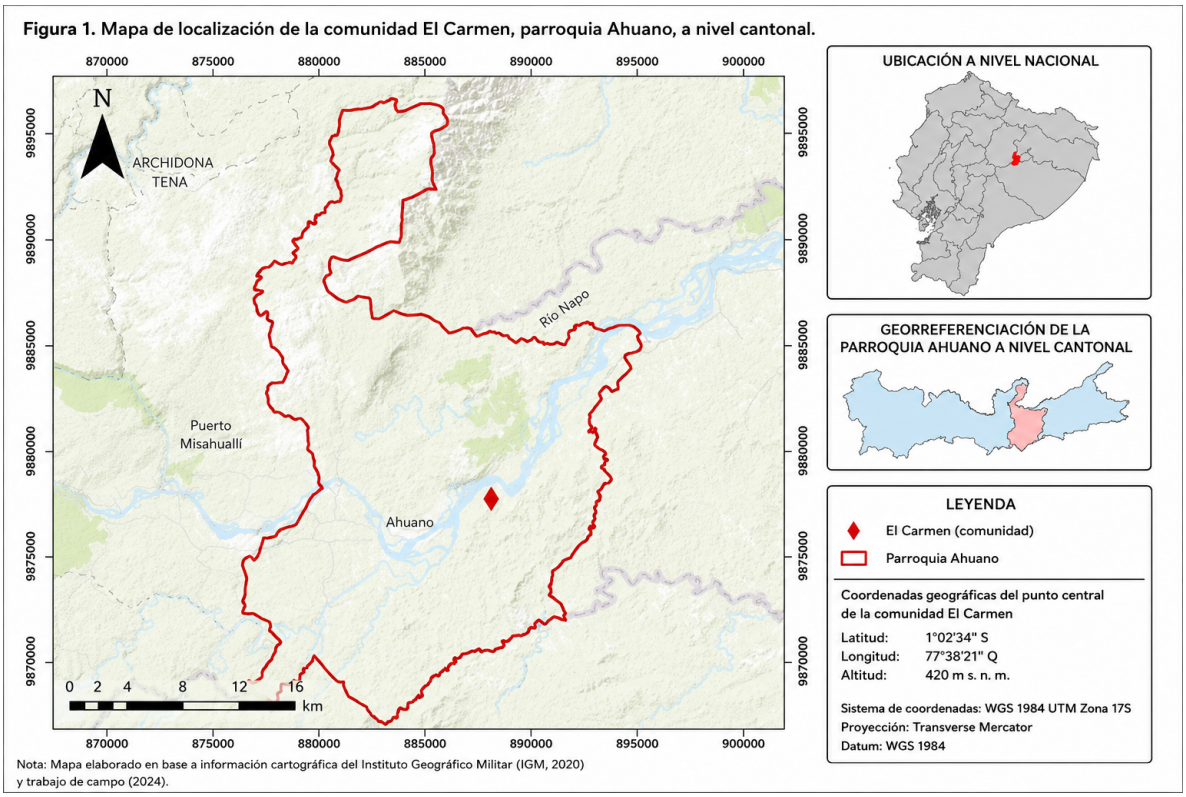

Figura 1: Localización – Especie *Kalanchoe pinnata*

Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental, empleando un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar la influencia de tres métodos de extracción (Soxhlet, maceración y extracción hidroalcohólica) sobre la composición bioactiva y lipídica de *K. pinnata*. Cada tratamiento fue realizado con un mínimo de tres réplicas biológicas independientes, y cada determinación analítica se efectuó por triplicado (réplicas analíticas), garantizando la precisión y reproducibilidad de los resultados. Los criterios de comparación entre métodos incluyeron: rendimiento extractivo (%), contenido de polifenoles totales (mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto), actividad antioxidante (µmol equivalentes de Trolox por gramo), e índices fisicoquímicos del extracto lipídico (índice de refracción, saponificación, peróxido y yodo).

Material Vegetal

Se utilizaron hojas frescas de *K. pinnata*, recolectadas en la comunidad El Carmen, parroquia Ahuano, cantón Tena, provincia de Napo, Ecuador (zona tropical húmeda). El material vegetal fue seleccionado manualmente considerando criterios de integridad fisiológica, ausencia de daño mecánico y fitopatológico [10].

Posteriormente, las hojas fueron lavadas con agua destilada para eliminar impurezas, escurridas y divididas en dos fracciones: una fracción fresca destinada a caracterización inicial y una fracción sometida a secado.

El secado se realizó en estufa de aire forzado a 40 °C hasta peso constante, con el fin de preservar compuestos termolábiles. El material seco fue molido hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo (<1 mm) y almacenado en recipientes herméticos protegidos de la luz y la humedad hasta su uso (Figura 1).

Método de Recolección

El diseño metodológico aplicado en esta investigación se resume en el diagrama de flujo presentado en la Figura 2. Este esquema ilustra de manera secuencial las etapas desarrolladas para la obtención y caracterización de extractos de *K. pinnata*. El proceso inicia con la recolección y acondicionamiento del material vegetal, seguido por la diferenciación entre hojas frescas y secas para aplicar métodos de extracción específicos: arrastre por vapor, Soxhlet, maceración y extracción hidroalcohólica.

Finalmente, se detallan los análisis fisicoquímicos realizados sobre los extractos obtenidos, incluyendo parámetros de calidad del aceite fijo (índice de refracción, peróxido, yodo y saponificación) y la determinación de compuestos bioactivos como polifenoles y antioxidantes. Este diagrama permite visualizar la trazabilidad del procedimiento y la relación entre las técnicas empleadas y los objetivos analíticos del estudio. La recolección de las especies se realizó en el mes de noviembre de 2025.

© 2026 Derechos de autor: Enríquez M. | Zambrano L. | Villafuerte F. | Paredes A.

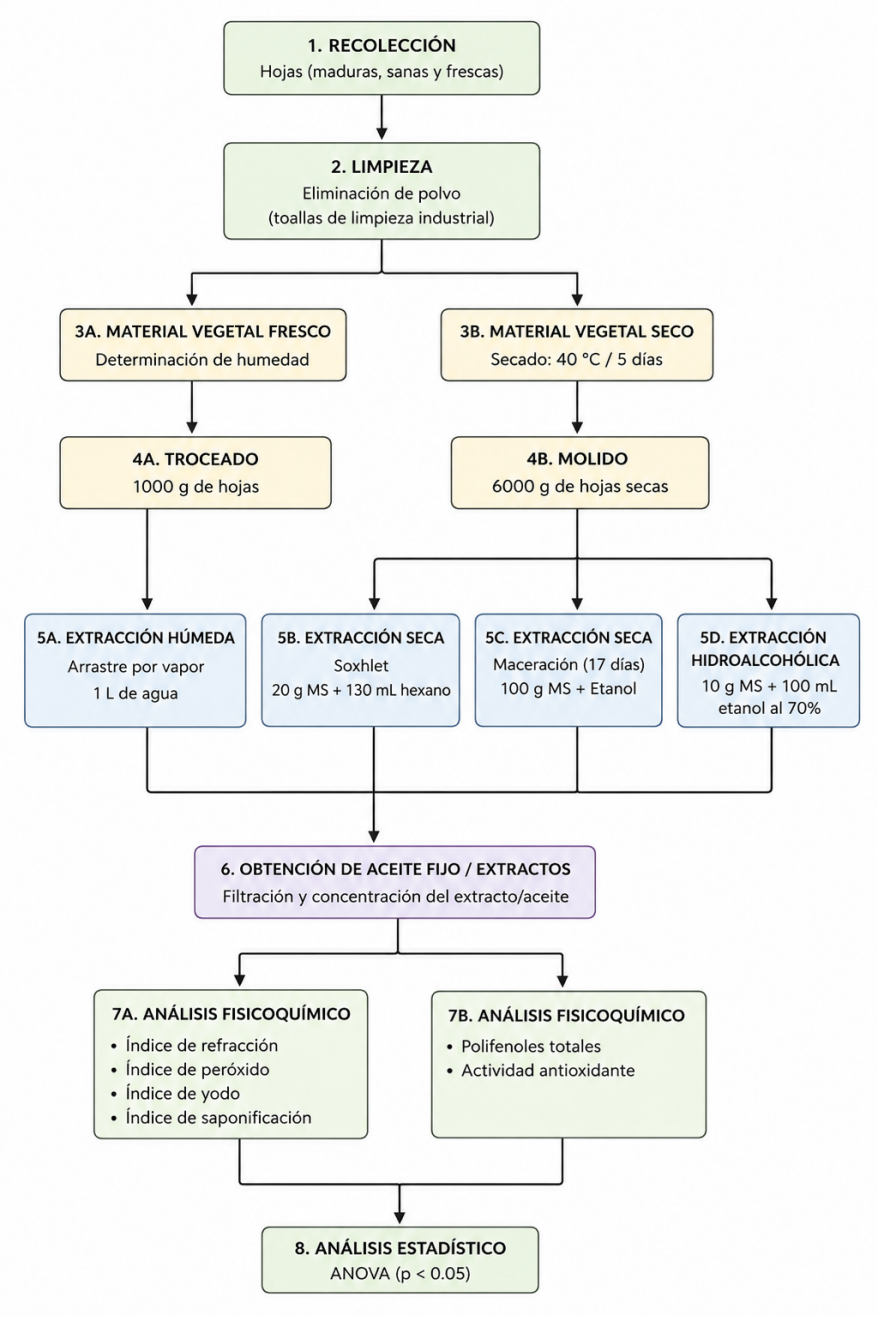

Figura 2: Diagrama de bloques de proceso de extracción de aceite fijo de *K. Pinnata*

Métodos de extracción

Extracción Soxhlet (extracto lipídico)

Se emplearon 20g de muestra seca pulverizada y 130 mL de hexano como solvente. La extracción se realizó en un sistema Soxhlet durante 6 horas continuas, asegurando ciclos de sifoneo constantes. Posteriormente, el solvente fue recuperado mediante evaporación en rotavapor (Büchi) a 40 °C bajo presión reducida. El extracto obtenido fue pesado para determinar el rendimiento extractivo y almacenado en frascos ámbar a 4 °C hasta su análisis.

Maceración (extracto hidroalcohólico en frío)

Se utilizaron 100 g de muestra seca, los cuales fueron sometidos a maceración con etanol al 70 % (relación sólido/solvente 1:10 p/v) durante 15 días a temperatura ambiente (25 ± 2 °C), en condiciones de oscuridad y con agitación manual periódica. Finalizado el proceso, el extracto fue filtrado utilizando papel filtro cualitativo y concentrado en rotavapor a 40 °C hasta la eliminación del solvente. El extracto concentrado fue almacenado en condiciones de refrigeración (4 °C) hasta su análisis.

Extracción hidroalcohólica (asistida por solvente)

Se empleó etanol al 70 % como solvente extractor en una relación sólido/solvente 1:10 (p/v). La extracción se realizó mediante agitación continua durante 2 horas a temperatura controlada de 40 °C. Posteriormente, el extracto fue filtrado y concentrado mediante rotavapor bajo condiciones similares a las descritas anteriormente.

Este método se diferencia de la maceración por el uso de condiciones controladas de temperatura y agitación, lo que favorece la eficiencia en la extracción de compuestos polares y semipolares.

Determinación del rendimiento extractivo

El rendimiento extractivo (%) se calculó mediante la relación entre la masa del extracto seco obtenido y la masa inicial de la muestra seca, según la ecuación:

$$Rendimiento(\%) = \frac{\text{Peso del extracto (g)}}{\text{Peso de la muestra seca (g)}} \times 100 \quad (1)$$

Análisis de compuestos bioactivos

Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific GENESYS 10S), midiendo la absorbancia a 765 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g), utilizando una curva de calibración previamente establecida.

Actividad antioxidante (FRAP)

La actividad antioxidante se evaluó mediante el método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Las muestras fueron incubadas a 37 °C durante 30 minutos y la absorbancia se midió a 593 nm. Los resultados se expresaron como µmol equivalentes de Trolox por gramo de extracto (µmol Trolox/g).

Análisis fisicoquímico del extracto lipídico

Los análisis fisicoquímicos se realizaron exclusivamente sobre los extractos obtenidos mediante Soxhlet, debido a su naturaleza lipídica.

- **Índice de refracción**: determinado a 25 °C mediante refractómetro digital (Norma ISO 280).
- **Índice de saponificación**: determinado por titulación con KOH (Norma ISO 3657).
- **Índice de peróxidos**: evaluado mediante titulación con tiosulfato de sodio, expresado en meq O_2/kg.
- **Índice de yodo**: determinado mediante el método de Wijs (Norma ISO 3961).

Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron expresados como media ± desviación estándar. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar diferencias significativas entre los métodos de extracción. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba post hoc de Tukey HSD para la comparación múltiple de medias. El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 29.

3. Resultados y Discusión

Efecto del método de extracción sobre la composición bioactiva

Los resultados correspondientes al contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante (FRAP) se presentan en la Tabla 1. Se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de extracción ($p < 0,05$), lo que confirma que las condiciones operativas influyen directamente en la recuperación y estabilidad de los compuestos bioactivos.

Tabla 1: Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante según el método de extracción

Método de extracción	Polifenoles totales (mg EAG/g)	Actividad antioxidante (µmol Trolox/g)
Maceración	$1,10 \pm 0,07^{b}$	$90,17 \pm 7,03^{a}$
Extracto hidroalcohólico	$2,45 \pm 0,08^{a}$	$50,69 \pm 2,06^{b}$

El extracto hidroalcohólico presentó el mayor contenido de polifenoles totales (2,45 mg EAG/g), lo que puede atribuirse a la mayor eficiencia del sistema etanol-agua en la solubilización de compuestos fenólicos de naturaleza polar y semipolar. Sin embargo, la maceración en frío mostró una actividad antioxidante significativamente superior (90,17 µmol Trolox/g), lo cual sugiere una mejor preservación de compuestos bioactivos funcionales. Este comportamiento indica que una mayor concentración de polifenoles no necesariamente se traduce en mayor capacidad antioxidante, lo que podría explicarse por la degradación parcial de compuestos termolábiles durante procesos asistidos por temperatura. Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan una mayor estabilidad de metabolitos fenólicos bajo condiciones de extracción no térmicas.

Efecto del método de extracción sobre las propiedades lipídicas

Las propiedades fisicoquímicas de los extractos lipídicos obtenidos mediante Soxhlet y maceración se presentan en la Tabla 2. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la mayoría de los parámetros evaluados.

© 2026 Derechos de autor: Enríquez M. | Zambrano L. | Villafuerte F. | Paredes A.

Tabla 2: Propiedades fisicoquímicas del extracto lipídico según el método de extracción

Parámetro	Soxhlet	Maceración
Índice de refracción	20,06 ± 0,65[a]	20,72 ± 0,52[a]
Índice de saponificación (mg KOH/g)	263,93 ± 5,91[a]	99,55 ± 3,34[b]
Índice de peróxidos (meq O_2/kg)	38,79 ± 1,21[a]	-
Índice de yodo (g I_2/100 g)	17,50 ± 0,56[a]	6,97 ± 0,46[b]

El método Soxhlet presentó valores significativamente superiores en el índice de saponificación, lo que indica una mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta. Asimismo, el mayor índice de yodo sugiere una mayor presencia de ácidos grasos insaturados, lo cual podría estar relacionado con una mayor reactividad química y potencial bioactivo.

No obstante, el elevado índice de peróxidos observado en Soxhlet (38,79 meq O_2/kg) evidencia un mayor grado de oxidación lipídica, probablemente inducido por las altas temperaturas del proceso. En contraste, la maceración presentó valores inferiores en los índices evaluados, lo que sugiere una mayor estabilidad oxidativa del extracto obtenido bajo condiciones suaves. El índice de refracción no mostró diferencias significativas entre métodos (p >0,05), lo que indica una composición estructural relativamente similar en términos de densidad óptica del extracto.

Análisis de Varianza

La Tabla 3 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a las variables fisicoquímicas y funcionales evaluadas en el estudio, con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos analizados.

En este contexto, los parámetros relacionados con la composición bioquímica, como el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante, junto con índices de calidad lipídica como el índice de saponificación, el índice de yodo y el índice de refracción, permiten establecer relaciones directas entre el método de obtención del extracto y sus propiedades funcionales.

Tabla 3: Propiedades fisicoquímicas del extracto lipídico según el método de extracción

Variable	F calculado	p-valor	Significancia	Normalidad	Homocedasticidad
Polifenoles totales	456,21	<0,0001	***	Cumple (p >0,05)*	Cumple (p >0,05)*
Actividad antioxidante	87,21	0,0007	***	Cumple (p >0,05)*	Cumple (p >0,05)*
Índice de refracción	1,92	0,2379	ns	Cumple (p >0,05)*	Cumple (p >0,05)*
Índice de saponificación	1750,03	<0,0001	***	Cumple (p >0,05)*	Cumple (p >0,05)*
Índice de yodo	631,68	<0,0001	***	Cumple (p >0,05)*	Cumple (p >0,05)*

Nota: ANOVA aplicado bajo verificación previa de supuestos paramétricos. La normalidad fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene (p >0,05 en todos los casos, indicando cumplimiento de supuestos). *Significancia estadística: **p <0,001; ns: no significativo. NS: no se obtuvo restricción metodológica ni exclusión de datos para las variables analizadas.

Determinación del rendimiento extractivo

Los resultados evidencian diferencias significativas (p <0,05) en el rendimiento de extracción entre los métodos evaluados (Tabla 4). El método hidroalcohólico presentó el mayor rendimiento (17,20 ± 0,60 %), aproximadamente el doble en comparación con la maceración convencional (8,50 ± 0,40 %), lo que indica una mayor eficiencia en la solubilización de compuestos bioactivos. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor polaridad del solvente hidroalcohólico, lo que favorece la extracción de metabolitos secundarios de naturaleza polar y semipolar, incrementando la difusión y ruptura de matrices celulares vegetales.

Tabla 4: Propiedades fisicoquímicas del extracto lipídico según el método de extracción

Método de extracción	Peso de muestra seca (g)	Peso de extracto seco (g)	Rendimiento (%)	Significancia
Maceración	10,00	0,85 ± 0,04	8,50 ± 0,40[b]	p <0,05
Extracto hidroalcohólico	10,00	1,72 ± 0,06	17,20 ± 0,60[a]	p <0,05

Nota: ANOVA aplicado bajo verificación previa de supuestos paramétricos. La normalidad fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene (p >0,05 en todos los casos, indicando cumplimiento de supuestos). *Significancia estadística: **p <0,001; ns: no significativo. NS: no se obtuvo restricción metodológica ni exclusión de datos para las variables analizadas.

4. Discusión

Los resultados evidencian que el método de maceración en frío constituye la técnica más eficiente para preservar la actividad antioxidante de los extractos de *K. pinnata*, alcanzando valores de 91,47 µmol Trolox/g. Este método, sin embargo, presentó una menor concentración de polifenoles totales (1,17 mg EAG/g) en comparación con la extracción hidroalcohólica, que reportó niveles superiores de polifenoles (2,5 mg EAG/g) pero con una capacidad antioxidante significativamente inferior (52,06 µmol Trolox/g). Este comportamiento sugiere que los procesos de extracción más agresivos inducen la degradación de compuestos fenólicos termolábiles, afectando negativamente la funcionalidad antioxidante.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Estrella *et al.*, (2022) [11] quienes demostraron que los métodos de extracción no térmicos, como el plasma frío y la maceración, favorecen la conservación de metabolitos fenólicos sensibles al calor, al evitar su degradación durante el procesamiento. Asimismo, Ioannou *et al.*, (2019) [12] confirmaron que la temperatura influye directamente en la degradación de flavonoides, siendo los compuestos aglicónicos más susceptibles al calor que sus formas glicosiladas. Complementariamente, Swarna (2025) [13] atribuyó la actividad antioxidante en extractos de *K pinnata* a la presencia de flavonoides y otros metabolitos secundarios, lo cual concuerda con los resultados del presente estudio, donde la maceración en frío favorece la preservación de dichos compuestos bioactivos.

Respecto a las propiedades fisicoquímicas del aceite, el elevado índice de saponificación obtenido mediante el método Soxhlet (263,93 mg KOH/g) indica una alta proporción de ácidos grasos de cadena corta, en concordancia con lo observado por Odunlami et al, (2023) [14] en aceites vegetales extraídos térmicamente. No obstante, el alto índice de peróxidos (38,79 meq O_2/kg) sugiere una mayor susceptibilidad a la oxidación, evidenciando que la aplicación de temperaturas elevadas puede comprometer la estabilidad del producto. Según Gilbraith *et al.*, (2021) [15], valores superiores a 30 meq O_2/kg indican un inicio de deterioro oxidativo, lo cual puede afectar la calidad y seguridad del aceite.

Los índices de refracción obtenidos (20,6 para maceración y 20,9 para Soxhlet) mostraron escasa variabilidad. Sin embargo, Menacho y Saavedra (2020) [16] sugieren que, incrementos en el índice de refracción pueden correlacionarse con el desarrollo de rancidez oxidativa, lo que posiciona al aceite obtenido por maceración en frío como potencialmente más estable. Por otro lado, el índice de yodo más elevado en la extracción Soxhlet (17,50 g I_2/100g) indica una mayor proporción de lípidos insaturados, compuestos asociados a una mayor actividad biológica. Roman-Lara *et al.*, (2025) [17] demostraron que el índice de yodo puede utilizarse como indicador directo de la insaturación lipídica, la cual está estrechamente relacionada con la funcionalidad biológica de los aceites.

La ausencia de compuestos volátiles detectada se atribuye al secado previo del material vegetal, en concordancia con lo señalado por Obregón-Díaz *et al.*, (2019) [18], quienes destacaron que la hidrodestilación de hojas frescas de *K. pinnata* permite recuperar hasta un 95,2 % de los componentes volátiles, entre ellos α-curcumeno (44,7 %) y 1-octen-3-ol (18,1 %), asociados a propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos resultados subrayan la importancia de complementar la maceración con técnicas analíticas específicas, como SPME-GC-MS, para una caracterización integral del perfil fitoquímico y volátil de la especie [19].

5. Conclusión

El estudio demostró que el método de extracción influye significativamente en la composición bioactiva y lipídica de *K. pinnata*. La extracción hidroalcohólica maximizó el contenido de polifenoles totales (2,45 mg EAG/g), mientras que la maceración en frío presentó la mayor actividad antioxidante (90,17 µmol Trolox/g), evidenciando que una mayor concentración de compuestos fenólicos no implica necesariamente mayor capacidad antioxidante. En la fracción lipídica, el método Soxhlet mostró mayor eficiencia extractiva (índices de saponificación e yodo), pero con mayor susceptibilidad a la oxidación, a diferencia de la maceración, que evidenció mayor estabilidad. El ANOVA confirmó diferencias significativas entre métodos (p <0,05), concluyéndose que la selección del método debe ajustarse al tipo de metabolito de interés, no existiendo un procedimiento único óptimo.

Este estudio será complementado en una segunda fase mediante la identificación de compuestos individuales utilizando cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS), así como la evaluación de la posible pérdida de compuestos volátiles durante el proceso de secado. Adicionalmente, se implementarán técnicas de secado no térmico, como la liofilización, y

© 2026 Derechos de autor: Enríquez M. | Zambrano L. | Villafuerte F. | Paredes A.

análisis cromatográficos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), con el fin de optimizar la preservación e identificación de metabolitos bioactivos y compuestos volátiles.

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

Financiamiento:
Los autores expresan que el financiamiento para el desarrollo de la investigación fue llevado por la Universidad Estatal Amazónica de la ciudad de Puyo, Ecuador.

Declaración sobre uso de inteligencia artificial generativa:
Los autores declaran que no se ha utilizado inteligencia artificial generativa en la elaboración del presente artículo.

Declaración de disponibilidad de datos:
Los datos que respaldan los resultados del estudio no están disponibles públicamente, pero pueden ser solicitados al autor de correspondencia menriquez@uea.edu.ec, previa justificación razonable.

Contribución de autor/es:
De acuerdo con la taxonomía CRediT, las contribuciones de los autores fueron las siguientes: Miguel Ángel Enríquez Estrella (40 %) participó en la visualización, revisión y edición del manuscrito, así como en la adquisición de financiamiento. análisis de datos, curación de datos y diseño metodológico.

Franklin Rolando Villafuerte Carrillo (25 %) contribuyó a la redacción del borrador original, validación, supervisión, desarrollo de software.

Letty Zambrano Camacho (20 %) participó en la conceptualización, revisión y edición del manuscrito.

Armando Paredes Peralta (15 %) contribuyó en la conceptualización, provisión de recursos y materiales, así como en la revisión y edición del manuscrito.

6. Referencias

1. ZEPEDA, M. E. F. y CASTRO, M. R. *Farmacognosia. Principios básicos*. Universidad Juárez del Estado de Durango, 2023. ISBN 978-607-503-263-4.
2. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Traditional medicine – Questions and answers*. World Health Organization, 2023. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/traditional-medicine. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2026].
3. ENRIQUEZ-ESTRELLA M. y ERAS-ORTEGA, L. Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de Guaviduca (Piper Carpunya Ruiz & Pav). *Biotecnia*. E2691. 2025, vol. 27. ISSN 1665-1456. Disp. desde DOI: 10.18633/biotecnia.v27.2691.
4. RAHMAN, RAFIA; AL-SABAHI, J. N.; GHAFFAR, A.; NADEEM, F. y UMAR, A. Phytochemical, morphological, botanical, and pharmacological aspects of a medicinal plant: *Kalanchoe pinnata*. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences* [online]. 2019, vol. 16, págs. 7-14 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disponible en: https://www.iscientific.org/wp-content/uploads/2020/11/2-IJCBS-19-16-2.pdf. A Review article.
5. TAJUDIN, N. J. e ISMAIL, I. N. A. Antimicrobial Activity of *Kalanchoe pinnata*: A review. *Malaysian Journal of Science Health & Technology*. 2022, vol. 8, n.º 1, págs. 31-37. Disp. desde DOI: 10.33102/mjosht.v8i1.245.
6. INAMHI. *Datos climáticos históricos de Ahuano, Napo, Ecuador* [online]. 2017. [Consulta: 20 mayo 2026]. Disponible en: https://weatherandclimate.com/ecuador/napo/ahuano. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
7. NAVARRO, L. G.; AGOSTO, J. G. e HIPÓLITO, C. N. Composición fitoquímica y propiedades antioxidantes de la planta mala madre *(kalanchoe pinnata)*. *South Florida Journal of Development* [online]. 2023, vol. 4, n.º 1, págs. 201-214 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.46932/sfjdv4n1-014.
8. ENRÍQUEZ, M. A.; VILLAFUERTE-MERA, F.; FIGUEROA, A. y MARIÑO, J. Efectos de los componentes bioactivos de frutas, vegetales, lácteos y plantas medicinales en la nutrición humana. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA* [online]. 2023, vol. 6, n.º 11, págs. 2-24 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.56124/allpa.v6i11.0055.
9. ENRIQUEZ ESTRELLA M. Á.; EL SALOUS, A.; TORRES RODRÍGUEZ S. H. y RICAURTE ORTIZ P. S. *Plantas Medicinales y Funcionales de la Amazonía Ecuatoriana: Principios Bioactivos y Usos Aplicados* [online]. 2025. [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.37572/EdArt_0310256806.
10. HEYDARI, M.; CARBONE, K.; GERVASI, F.; PARANDI, E.; ROUHI, M.; ROSTAMI, O.; ABEDI-FIROOZJAH, R.; KOLAHDOUZ-NASIRI, A.; GARAVAND, F. y MOHAMMADI, R. Cold Plasma-Assisted Extraction of Phytochemicals: A Review. *Foods* [online]. 2023, vol. 12, n.º 17, p. 3181 [Consulta: 20 mayo 2026]. ISSN 2304-8158. Disp. desde DOI: 10.3390/foods12173181.

11. ESTRELLA, M. E.; VEGA, K. M.; CAVADIANA H. U. y CAICEDO, L. T. Alimentos funcionales la tendencia de consumo del siglo XXI. *Reciena* [online]. 2022, vol. 2, n.º 1, págs. 10-19 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.47187/kmh29p98.

12. IOANNOU, I.; KRIZNIK, A.; CHEKIR, L. y GHOUL, M. Effect of the Processing Temperature on the Degradation of Food Flavonoids: Kinetic and Calorimetric Studies on Model Solutions. *Journal of Food Engineering and Technology* [online]. 2019, vol. 8, n.º 2, págs. 91-102 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.32732/jfet.2019.8.2.91.

13. SWARNA, W. M. In vitro, Anti-oxidant, and Anti-inflammatory Activity of Kalanchoe pinnata. *Archives of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* [online]. 2025, vol. 9, n.º 1, págs. 1-8 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.29328/journal.apps.1001064.

14. ODUNLAMI, O.; VERSHIMA, D. A.; TAGBO, C. V.; OGUNLADE, S. y NKONGHO, S. Microbial desalination cell technique - A review. *South African Journal of Chemical Engineering* [online]. 2023, vol. 46, n.º 46, págs. 312-329 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.1016/j.sajce.2023.08.013.

15. GILBRAITH, WILLIAM E.; CARTER, J. CHANCE; ADAMS, KRISTL L.; BOOKSH, KARL S. y OTTAWAY, JOSHUA M. Improving Prediction of Peroxide Value of Edible Oils Using Regularized Regression Models. *Molecules* [online]. 2021, vol. 26, n.º 23, pág. 7281 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.3390/molecules26237281.

16. MENACHO VILLALOBOS, J. L. y SAAVEDRA PEREZ, G. T. *Comparación fisicoquímica y la estabilidad oxidativa del aceite extraído a partir de semillas de guayaba (Psidium guajava) y semillas de chirimoya (Annona cherimola) por extracción en frío y caliente* [online]. Nuevo Chimbote, Perú, 2020 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14278/3593. bachelorthesis. Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

17. ROMAN LARA, M. M.; CHONG, K. J.; BILL, R. M. y GODDARD, A. D. A miniaturized iodine value assay for quantifying the unsaturated fatty acid content of lipids, lipid mixtures, and biological membranes. *Lipids* [online]. 2025, vol. 60, n.º 2 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.1002/lipd.12438.

18. OBREGÓN-DÍAZ, Y. Y PÉREZ-COLMENARES, A. Y OBREGÓN-ALARCÓN, K. Y APARICIO-ZAMBRANO, R. Y ROJAS-FERMÍN, L. Y USUBILLAGA, A. Y CARMONA, J. Volatile Constituents of the Leaves of *Kalanchoe pinnata* From the Venezuelan Andes. *Natural Product Communications* [online]. 2019, vol. 14, n.º 5 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.1177/1934578x19842703.

19. AATI, H. Y.; ATTIA, H. A.; ALANAZI, A. S.; AL TAMRAN, L. K. y WANNER, J. K. Phytochemical Characterization Utilizing HS-SPME/GC-MS: Exploration of the Antioxidant and Enzyme Inhibition Properties of Essential Oil from Saudi Artemisia absinthium L. *Pharmaceuticals* [online]. 2024, vol. 17, n.º 11, pág. 1460 [Consulta: 20 mayo 2026]. Disp. desde DOI: 10.3390/ph17111460.

Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una ***Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional.*** Se permite que otros remezclen, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.