

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Microencapsulación de compuestos fenólicos de mieles
monoflorales de eucalipto y aguacate en cera de abeja**

Hilemne Elizabeth Miranda Terán

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERA QUÍMICA

Quito, 10 de diciembre de 2024

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Microencapsulación de compuestos fenólicos de mieles monoflorales de
eucalipto y aguacate en cera de abeja**

Hilemne Elizabeth Miranda Terán

**Nombre del profesor, Título académico
PhD**

José Francisco Álvarez Barreto,

José Miguel Álvarez Suárez, PhD

Quito, 10 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Hilemne Elizabeth Miranda Terán

Código: 00215770

Cédula de identidad: 1724769698

Lugar y fecha: Quito, 10 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour *et al.* (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour *et al.* (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo mejorar la protección y la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos extraídos de mieles monoflorales de aguacate y eucalipto a través de la microencapsulación en cera de abeja. Compuestos fenólicos extraídos de las mieles fueron microencapsulados en cera de abeja, utilizando la técnica de emulsión-evaporación de solvente. Se determinó la eficiencia de los microencapsulados evaluando su contenido de fenoles (Folin-Ciocalteu), y capacidad antioxidante (FAPP y DPPH), antes y después de su liberación controlada en fluidos biológicos simulados: saliva, gástrico e intestinal. Los resultados indicaron que la miel de aguacate presenta un mayor contenido fenólico y capacidad antioxidante en comparación con la miel de eucalipto. Las eficiencias de encapsulación fueron del 49.6 % y del 23.5 % para los extractos de aguacate y eucalipto, respectivamente. Las pruebas de digestión *in vitro* demostraron una retención significativa de la capacidad antioxidante, especialmente durante la fase gástrica e intestinal, que es donde se requiere de su mayor bioaccesibilidad. Esto indica que, la microencapsulación en cera de abeja es una estrategia efectiva para proteger y liberar de manera controlada los compuestos fenólicos de mieles monoflorales, destacando su potencial en el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras claves: Miel monofloral, compuestos fenólicos, microencapsulación, capacidad antioxidante, cera de abeja, digestión *in vitro*.

ABSTRACT

The present study aimed to improve the protection and bioaccessibility of phenolic compounds extracted from monofloral avocado and eucalyptus honeys through microencapsulation in beeswax. Phenolic compounds extracted from the honeys were microencapsulated in beeswax using the emulsion-solvent evaporation technique. The efficiency of the microencapsulated products was determined by evaluating their phenolic content (Folin-Ciocalteu) and antioxidant capacity (FRAP and DPPH) before and after their controlled release in simulated biological fluids: saliva, gastric, and intestinal. The results indicated that avocado honey exhibits higher phenolic content and antioxidant capacity compared to eucalyptus honey. The encapsulation efficiencies were 49.6% and 23.5% for avocado and eucalyptus extracts, respectively. The *vitro* digestion tests demonstrated significant retention of antioxidant capacity, particularly during the gastric and intestinal phases, where their bioaccessibility is most required. This indicates that microencapsulation in beeswax is an effective strategy for protecting and controlling the release of phenolic compounds from monofloral honeys, highlighting its potential for the development of functional foods.

Keywords: Monofloral honey, phenolic compounds, microencapsulation, antioxidant capacity, beeswax, *in vitro* digestion.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. METODOLOGÍA	15
2.1 Extracción en fase sólida de compuestos fenólicos de miel	15
2.2 Microencapsulación de los extractos polifenólicos de miel	15
2.3 Digestiones <i>in vitro</i> de los microencapsulados	16
2.4 Evaluación de capacidad Antioxidante	17
2.4.1 Cuantificación de contenido total de fenoles (TPC).	17
3.4.2 Capacidad antioxidante (AC).	18
2.5 Eficiencia de extracción y encapsulación	18
2.6 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	19
2.7 Análisis estadístico	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1 Caracterización de mieles y extractos.....	21
3.2 Evaluación de la microencapsulación.....	25
3.3 Digestiones <i>In vitro</i> de los microencapsulados.....	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5. BIBLIOGRAFÍA	37
6. ANEXOS	45
Anexo A. Curva de calibración para determinación de contenido de fenoles	45
Anexo B. Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante por el método FRAP	46
Anexo C. Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante con el radical DPPH	47

Anexo D. Evaluación estadística de significancia para TPC de las digestiones de los extractos	48
Anexo E. Evaluación estadística de significancia para TPC de las digestiones de los microencapsulados.....	49
Anexo F. Evaluación estadística de significancia para TPC entre microencapsulados y extractos de aguacate	50
Anexo G. Evaluación estadística de significancia para TPC entre microencapsulados y extractos de eucalipto.....	51
Anexo H. Evaluación estadística de significancia para AC por FRAP de las digestiones de los extractos.....	52
Anexo I. Evaluación estadística de significancia para AC por FRAP de las digestiones de los microencapsulados	53
Anexo J. Evaluación estadística de significancia para AC por FRAP entre microencapsulados y extractos de aguacate.....	54
Anexo K. Evaluación estadística de significancia para AC por FRAP entre microencapsulados y extractos de eucalipto	55
Anexo L. Evaluación estadística de significancia para AC por DPPH de las digestiones de los extractos.....	56
Anexo M. Evaluación estadística de significancia para AC por DPPH de las digestiones de los microencapsulados	57
Anexo N. Evaluación estadística de significancia para AC por DPPH entre microencapsulados y extractos de aguacate.....	58
Anexo O. Evaluación estadística de significancia para AC por DPPH entre microencapsulados y extractos de eucalipto	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización antioxidante de las mieles de aguacate y eucalipto 21

Tabla 2: Evaluación de capacidad antioxidante de los microencapsulados 26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro infrarrojo de los extractos fenólicos de miel.....	23
Figura 2. Comparación de TPC entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto.....	28
Figura 3: Comparación de AC por FRAP entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto	31
Figura 4. Comparación de AC por DPPH entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto	32

1. INTRODUCCIÓN

La miel, utilizada durante siglos en la medicina tradicional para tratar infecciones bacterianas, dio lugar a la apiterapia como rama de la medicina alternativa (Pozo Yépez, 2016). Su composición química incluye al menos 181 sustancias, como ácidos fenólicos, flavonoides, enzimas, ácido ascórbico, ácidos orgánicos y proteínas, responsables de sus propiedades antimicrobianas, atribuidas a su alta osmolaridad y la presencia de peróxido de hidrógeno, y de su capacidad antioxidante, proveniente principalmente de los polifenoles transferidos del polen y néctar de las flores recolectados por las (Yung An *et al.*, 2016). En Ecuador, donde el consumo anual de miel alcanza 601 toneladas, predominan las mieles poliflorales por su accesibilidad, aunque las monoflorales, obtenidas de una sola especie floral, están ganando relevancia científica y comercial debido a su perfil único de compuestos (Beltrán Ayala & Vásquez Robalino, 2020). En la región interandina, destacan mieles monoflorales como las de aguacate y eucalipto; siendo la miel de eucalipto la más común. Por otro lado, la miel de aguacate posee mayor concentración de compuestos bioactivos, lo que se traduce en una superior capacidad antioxidante, eliminación de superóxidos, quelación de iones metálicos y protección contra la peroxidación lipídica en membranas de eritrocitos humanos (García-Tenesaca *et al.*, 2018).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que las plantas producen a través de la vía del ácido shikímico, ya sea durante su crecimiento o en respuesta a condiciones de estrés ambiental, como infecciones microbianas, lesiones o radiación ultravioleta (Ayoub *et al.*, 2023). Estos tienen al menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo; de acuerdo con su estructura se clasifican en ácidos fenólicos (moléculas simples con un solo anillo aromático) y los polifenoles (moléculas con dos o más anillos aromáticos), como flavonoides, lignanos y estilbenos. Los principales

polifenoles en la miel son, entre los ácidos fenólicos, los ácidos hidroxibenzoicos (como el ácido gálico) y los hidroxicinámicos (como el ácido ferúlico y clorogénico); mientras que los flavonoides presentes incluyen hesperetina, crisina, quercetina, kaempferol y miricetina (Grgić *et al.*, 2020).

Estas moléculas son altamente sensibles a diversas condiciones ambientales, como el calor, pH extremo, luz, oxígeno y actividad enzimática. Estas condiciones catalizan su degradación, reduciendo su estabilidad y funcionalidad. Esta sensibilidad representa una limitación para su aplicación en formulaciones alimentarias a nivel industrial, donde los procesos térmicos y la exposición a factores ambientales comprometen su eficacia como ingredientes funcionales y antioxidantes naturales. Adicionalmente, una vez ingeridos los polifenoles, el proceso metabólico también afecta su biodisponibilidad y bioactividad (Cao *et al.*, 2021).

Los polifenoles inician su viaje metabólico con la ingestión y la digestión inicial. En el estómago, bajo condiciones ácidas, algunos flavonoides pueden experimentar degradación a ácidos fenólicos. La absorción principal ocurre en el intestino delgado, aunque su biodisponibilidad es limitada, con solo un 5% a 10% de los polifenoles ingeridos siendo absorbidos, debido a su compleja estructura molecular y su presentación como ésteres o glicósidos. Posteriormente, los polifenoles absorbidos son conducidos al hígado a través del sistema portal, donde experimentan biotransformaciones como glucuronidación, sulfatación y metilación, aumentando así su solubilidad en agua y preparándolos para la excreción. Aquellos polifenoles que no se absorben en el intestino delgado, aproximadamente el 90-95%, alcanzan el intestino grueso, donde la microbiota intestinal los metaboliza en formas más simples, pero menos bioactivas (Bešlo *et al.*, 2023).

Con fines de aumentar la disponibilidad de los compuestos fenólicos y brindar protección ante condiciones ambientales, se propone la microencapsulación de estos. La encapsulación es un proceso en el que se rodean compuestos activos con una pared protectora. En este estudio se evalúa la microemulsión y evaporación del solvente usando como surfactante Tween 80. El agente encapsulante es esencial para la liberación controlada y la protección de los compuestos activos. Los agentes encapsulantes más comunes incluyen polisacáridos, lípidos y proteínas, reconocidos como seguros (GRAS) y biodegradables. Estos materiales forman cápsulas estables y adaptables, compatibles con compuestos hidrofílicos e hidrofóbicos, facilitando la protección y liberación controlada de bioactivos (Grgić *et al.*, 2020). La cera de abeja, por su composición química rica en ésteres, ácidos grasos y alcoholes de cadena larga, actúa como una matriz lipídica hidrofóbica ideal para encapsular polifenoles, protegiéndolos de la humedad y el oxígeno (Chatzidaki *et al.*, 2015). Además, su capacidad para formar microemulsiones con gotas menores a 100 nm aumenta la superficie de interacción, mejora la absorción en el tracto gastrointestinal y asegura estabilidad frente a la degradación durante el procesamiento y la digestión, favoreciendo una biodisponibilidad sostenida (Garavand *et al.*, 2021).

En años recientes, diversos estudios han abordado la encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de fuentes como frutas y vegetales. Por ejemplo, de plantas medicinales se ha buscado encapsular curcumina (Silvestre *et al.*, 2023) o catequinas provenientes del té verde empleando gelación iónica y atomización (Cutrim *et al.*, 2019); así como de orígenes frutales de uva y vino como son los taninos (Ricci *et al.*, 2022). En el caso de componentes apícolas, en la miel, se han documentado esfuerzos para mejorar la estabilidad y liberación controlada de sus polifenoles mediante técnicas de encapsulación. Por ejemplo, investigaciones previas han explorado el uso de matrices

como maltodextrinas, goma de tara y almidón de papa para encapsular miel y propóleo, obteniendo mejoras en la protección de compuestos bioactivos (Ligarda-Samanez *et al.*, 2023). Sin embargo, hay poca información específica sobre la encapsulación de polifenoles extraídos directamente de mieles monoflorales, lo que subraya la necesidad de profundizar en este campo.

De esta manera, el presente proyecto tuvo como objetivo general proteger a los compuestos fenólicos, de mieles monoflorales de eucalipto y aguacate, a través de microencapsulación en cera de abeja, por el método de emulsión-evaporación de solvente, a fin de disminuir su degradación durante el metabolismo y aumentar la bioaccesibilidad. Para esto, fue necesario extraer los compuestos fenólicos presentes en las mieles monoflorales de eucalipto y aguacate a través de extracción en fase sólida (cartuchos de resina C18). Luego de esto, fue importante microencapsular los extractos polifenólicos en cera de abeja utilizando microemulsión y evaporación del solvente, para finalmente, evaluar la capacidad antioxidante y el perfil de liberación controlada de los compuestos fenólicos encapsulados en fluidos biológicos simulados (saliva, gástrico e intestinal).

2. METODOLOGÍA

2.1 Extracción en fase sólida de compuestos fenólicos de miel

Para la extracción de polifenoles, siguiendo el método propuesto por Kaškonienė *et al.* (2009), se preparó una solución de miel de abeja en agua acidificada (pH=2) a una concentración final de 0.5 g/mL; esta dilución evita la saturación de las columnas y la acidificación ayuda a romper las interacciones entre los polifenoles y otros componentes de la miel. Por otro lado, las columnas Sep-Pak C18 se activaron pasando 10 mL de metanol y lavando con 10 mL de agua destilada, en ambos casos, dos veces. A continuación, se colocó la solución de miel en las columnas activadas. Una vez finalizada la filtración de la dilución de miel, las columnas se lavaron con agua destilada dos veces para eliminación de residuos de azúcares y se realizó la elución de polifenoles utilizando 10 mL de metanol en dos lavados. Finalmente, el extracto metanólico se concentró en estufa a 45°C por 2 días para la evaporación del solvente. Los extractos se conservaron a -20°C para su posterior uso.

Debido a la diferencia de contenido total de fenoles que se establece en la bibliografía, se realizó el proceso 3 veces para la miel de eucalipto y solo una vez para la de aguacate.

2.2 Microencapsulación de los extractos polifenólicos de miel

Se utilizó el método de emulsión-evaporación de solvente, acorde al proceso descrito por Salcedo (2021) se encapsuló el compuesto activo (compuestos fenólicos) dentro de una matriz lipídica, compuesta por cera de abeja al 5% p/v en acetato de etilo, se mantuvo la solución cubierta con parafilm para evitar la evaporación del solvente. En paralelo se realizó la dilución de los extractos en dimetilsulfóxido (DMSO), de modo que se obtuvo

una concentración final de 0.22 mg de extracto por cada μL de DMSO. De esta manera, la fase orgánica se preparó mezclando 1 mL de la matriz lipídica con 23 μL de extractos disueltos (10% masa de extracto/masa de cera) en 20 mL de acetato de etilo; esta se mantuvo a una temperatura de 60°C para mantener la cera en fase líquida.

Por otro lado, se preparó una fase acuosa con Tween 80 al 0.5% v/v; misma que se mantuvo a 80°C. Para crear la emulsión, primero se añadió la fase acuosa a un tubo falcon, luego se incorporó la fase orgánica y se homogenizó mediante vortex por un minuto. Finalmente, la mezcla se añadió a 220 mL de agua destilada a 4°C; se realizaron 4 corridas de la emulsión. El proceso de evaporación del solvente se llevó a cabo durante 24 horas, con agitación a 800 rpm. Una vez completada esta etapa, se secó la muestra mediante liofilización durante 8 días, resultando en los microencapsulados (MP).

Durante el proceso se tomó en consideración que las muestras son fotosensibles, por lo que, todas las soluciones se protegieron de la luz envolviéndolas en papel aluminio y se trabajó con fuente de luz indirecta. Las condiciones experimentales fueron establecidas a partir de pruebas preliminares llevadas a cabo en el Laboratorio de Biomateriales de la Universidad San Francisco de Quito.

2.3 Digestiones *in vitro* de los microencapsulados

Las muestras de los encapsulados polifenólicos fueron sometidas a digestión en soluciones simuladas de fluidos biológicos, siguiendo un procedimiento adaptado a partir de Ghibaud *et al.* (2018). Se diluyeron 20 mg de muestra en 3 mL de una solución simulada de saliva, previamente preparada con 10 mg/mL de α -amilasa en una solución salina tamponada con fosfato (PBS); esta se incubó por 2 minutos. Una vez completado el tiempo se separó 1.5 mL de solución para futuros análisis. Posteriormente, se añadió a

la muestra anterior 1.5 mL de fluido gástrico simulado preparada con 3 mg/mL de pepsina porcina en una solución de NaCl 125 mM, KCl 7 mM, NaHCO₃ 45 mM, (pH 2.5) y se incubaron durante 90 min a 37 °C con agitación a 50 rpm; nuevamente se separó 1.5 mL. Después, se incorporó 0.75 ml de fluido intestinal simulado preparado con 1 mg/mL de pancreatina y 1.5 mg/mL de extracto de bilis porcino en una solución NaCl 22 mM, KCl 3.2 mM, NaHCO₃ 7.6 mM (pH 8) y se continuó la incubación durante 3 horas en las condiciones descritas con anterioridad. Las alícuotas separadas en cada etapa de la digestión, se filtraron (filtros de jeringa PTFR, 0.22 µm) y se realizaron los análisis para evaluación de capacidad antioxidante.

2.4 Evaluación de capacidad Antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante se realizó a la miel originaria, el extracto resultante y los microencapsulados. Para la primera, en el caso de la miel de aguacate, se utilizó una dilución de 0.075g/mL; y para eucalipto de 0.25g/mL. Los extractos, en la concentración empleada en el apartado 3.2, se diluyen 7 µL y 10 µL/mL para aguacate y eucalipto, respectivamente. En el caso de los microencapsulados, se requiere de la liberación de los polifenoles, por lo que, se diluyó 10 mg/mL en una solución de DMSO, con 3 minutos de agitación en vortex, y en agitación orbital a 80 rpm por 15 minutos; el resultante se filtró (filtros de jeringa de 0.22 µm).

2.4.1 Cuantificación de contenido total de fenoles (TPC).

Se realizó acorde al Manual de Procedimientos del Laboratorio de Análisis de Alimentos de la USFQ (2024). Consistió en incubar en la oscuridad por 5 minutos 500 µL del reactivo Folin-Ciocalteu en una solución 10%v/v con 100 µL de muestra. Posteriormente se añadieron 400 µL de carbonato de sodio (75 g/L) y se incubaron en la oscuridad por 2h. La lectura se realizó mediante espectrofotometría UV-visible a 760 nm. Como

estándar, se empleó ácido gálico (GAE), la curva de calibración se encuentra en el Anexo A.

3.4.2 Capacidad antioxidante (AC).

Para capacidad antioxidante se analizaron las muestras por FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), mide por la capacidad de un antioxidante para reducir un complejo de hierro (Fe^{3+}) a hierro ferroso (Fe^{2+}), lo que genera un cambio de color que se puede medir espectrofotométricamente (Abdullah & Mazlan, 2020). Para esta solución, se mezcló TPTZ 10 mM en agua acidificada a pH 2, con cloruro férrico hexahidratado a concentración 5.4 g/L y buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 3.6) en proporción 1:1:10. Se emplearon 900 μL de la solución con 100 μL de muestra que se incuban por 15 min antes de la lectura en el espectrofotómetro UV-visible a 539 nm.

Adicionalmente, se determina AC por el método de Radical DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl), que mide la capacidad de los antioxidantes para neutralizar radicales libres (Abdullah & Mazlan, 2020). Este se encuentra en una solución en metanol 250 mM. 790 μL se incuban con 10 μL de muestra durante 10 minutos, previo a la lectura a 517 nm. Ambos métodos utilizan Trolox como el estándar de calibración (TE), que se observa en los Anexos B y C.

2.5 Eficiencia de extracción y encapsulación

Una vez determinado el contenido total de fenoles en la miel, los extractos y los microencapsulados, acorde a los procedimientos descritos en la sección 2.4, se calcularon los contenidos teóricos de fenoles para cada una de las matrices originales (mieles y extractos, dependiendo del proceso) y los contenidos reales tras la extracción y encapsulación. La eficiencia de extracción (%p/p) se determinó a partir del contenido de

fenoles totales en el extracto etanólico y la relación con el contenido inicial presente en la miel de partida, considerando la masa de cada matriz involucrada (Ecuación 1). Por su parte, la eficiencia de encapsulación (%p/p) se calculó relacionando el contenido de fenoles totales presentes en los microencapsulados con el contenido de fenoles en la solución madre utilizada para la encapsulación, teniendo en cuenta el volumen de dicha solución y la masa total de los microencapsulados obtenidos (Ecuación 2).

$$\text{Eficiencia de extracción (\%p/p)} = \frac{[GAE]_{\text{extracto}} * \text{masa}_{\text{extracto}}}{[GAE]_{\text{miel}} * \text{masa}_{\text{miel}}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiencia encapsulación (\%p/p)} = \frac{[GAE]_{MP} * \text{masa}_{MP}}{[GAE]_{\text{extracto}} * [\text{sol madre}]_{\text{extracto}} * V} \quad (2)$$

2.6 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Los grupos funcionales de los extractos de mieles obtenidos fueron analizados utilizando un espectrómetro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Para ello, se empleó el espectrómetro FTIR Agilent Cary 630. Las mediciones se realizaron en un rango espectral de 1000 a 4000 cm^{-1} . Los espectros obtenidos fueron procesados utilizando el software OriginPro (2025) para facilitar su interpretación e insertar los números de onda correspondientes a las bandas principales.

2.7 Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por cuadruplicado y los datos obtenidos se utilizaron para el análisis estadístico. La significancia estadística se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Minitab® 21.1 (2024). Se trabajó con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$) y se aplicó el método de comparación múltiple de Tukey

para determinar diferencias significativas entre las variables consideradas: la fuente de los polifenoles, la etapa de digestión y el estado de microencapsulación o no, en función de las respuestas obtenidas en los ensayos de Folin-Ciocalteu, FRAP y DPPH.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de mieles y extractos

El análisis de las mieles mostró que la miel de aguacate presenta un contenido fenólico total de (0.935 ± 0.021) mg GAE/g, mientras que la miel de eucalipto presenta un contenido de (0.266 ± 0.007) mg GAE/g (Tabla 1). Estos resultados indican que la miel de aguacate tiene un contenido fenólico 3.5 veces mayor que la miel de eucalipto.

Tabla 1. Caracterización antioxidante de las mieles de aguacate y eucalipto

	Aguacate		Eucalipto	
	Miel	Extracto	Miel	Extracto
TPC [mg GAE/ g]	0.935 ± 0.021	61.578 ± 0.291	0.266 ± 0.007	38.378 ± 0.748
AC (FRAP) [μ mol TE/g]	1.835 ± 0.005	95.371 ± 0.268	0.738 ± 0.017	84.235 ± 4.686
AC (DPPH) [μ mol TE/g]	0.855 ± 0.020	77.383 ± 3.589	0.598 ± 0.006	56.043 ± 3.589

Al comparar estos valores con los reportados en la bibliografía, se observa que el contenido fenólico de la miel de aguacate es ligeramente inferior al rango de 1.031 a 1.378 mg GAE/g encontrado en un estudio previo realizado durante dos años para considerar cambios climatológicos (Serra Bonvehi *et al.*, 2019). Por otro lado, para la miel de eucalipto, el contenido obtenido está dentro del rango reportado en estudios para la zona andina ecuatoriana (0.4771 mg GAE/g) (García-Tenesaca *et al.*, 2018), aunque es inferior al rango más amplio observado para mieles de eucalipto de diversas regiones (0.1129 a 0.8386 mg GAE/g) (Bobis *et al.*, 2020). Estas diferencias pueden atribuirse a la influencia de factores como el origen floral, geográfico y las condiciones climáticas locales.

Entre los compuestos fenólicos más comunes identificados en estas mieles se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides y lignanos. Los ácidos fenólicos incluyen el ácido cafeico, dihidrocafeico, ferúlico, protocatéquico y p-hidroxibenzoico. En cuanto a

los flavonoides, se destacan la quercetina, el kaempferol (en diversas formas glucósidas y rutinosidas) y la luteolina. Además, se ha identificado el lignano medioresinol en mieles de Loja, provincia productora que obtuvo el mayor contenido fenólico en la caracterización (Cabezas-Mera *et al.*, 2023). Realizando la comparación de perfiles fenólicos entre las dos mieles, se reporta que el ácido abscísico 2-trans, 4-trans y el ácido abscísico 2-cis, 4-trans son exclusivos de la miel de aguacate (Serra Bonvehi *et al.*, 2019). Esto refuerza su singularidad química en comparación con otras mieles y llega a permitir su identificación en análisis de autenticidad.

En lo que respecta a capacidad antioxidante, determinada por DPPH, los valores obtenidos para las mieles estudiadas, (0.855 ± 0.020) $\mu\text{mol TE/g}$ para aguacate y (0.598 ± 0.006) $\mu\text{mol TE/g}$ para eucalipto. Estos están acordes a la bibliografía, en donde se reporta 0.841 y 0.443 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente. Por otro lado, en el método FRAP, se reportan valores de 4.253 y 1.430 $\mu\text{mol TE/g}$ para las mieles de aguacate y eucalipto, respectivamente (García-Tenesaca *et al.*, 2018). En el caso de las mieles empleadas, si bien se cumple la tendencia reportada que la miel de aguacate tiene mayor capacidad antioxidante que la de eucalipto, la diferencia observada con los valores referenciales es significativa. Especialmente si se considera que, en comparación con el mismo estudio, la miel de aguacate tiene mayor contenido fenólico, pero menor capacidad antioxidante.

Generalmente, se establece la correlación entre el contenido fenólico y capacidad antioxidante; sin embargo, en estudios en compuestos fenólicos presentes en especias desarrollados por Lu *et al.*, muestran que, de las 19 especias analizadas, solo 3 muestran una correlación clara entre su contenido fenólico y la capacidad antioxidante. Por ejemplo, dos especias de similar contenido fenólico difieren en más de 5 veces en su capacidad antioxidante (Lu *et al.*, 2011). Esta falta de correlación sugiere que, además del contenido

fenólico, factores como la estructura de los compuestos y las interacciones con otros componentes dentro de la matriz alimenticia influyen en la capacidad antioxidante y por ende generan alta variabilidad en los resultados (Cao *et al.*, 2021).

Después del proceso de extracción en fase sólida, se obtuvieron los extractos cuyas características se presentan en la Tabla 1. De esto se observa que el contenido de fenoles se concentró en 65.8 veces en la miel de aguacate, y en 144.1 para la miel de eucalipto. Esto resulta en una eficiencia de extracción del 44.05% y de 53.12% para las mieles de aguacate y eucalipto, respectivamente. Acorde a Yung *et al.*, la eficiencia global de extracción de las columnas C18 es de 74.2% (2016); donde la mayor recuperación se da en el contenido de flavonoides, y se determina menor afinidad por los ácidos fenólicos. Con el fin de identificar los grupos funcionales de los polifenoles extraídos, se realizó un análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), cuyo espectro se encuentra en la Figura 1.

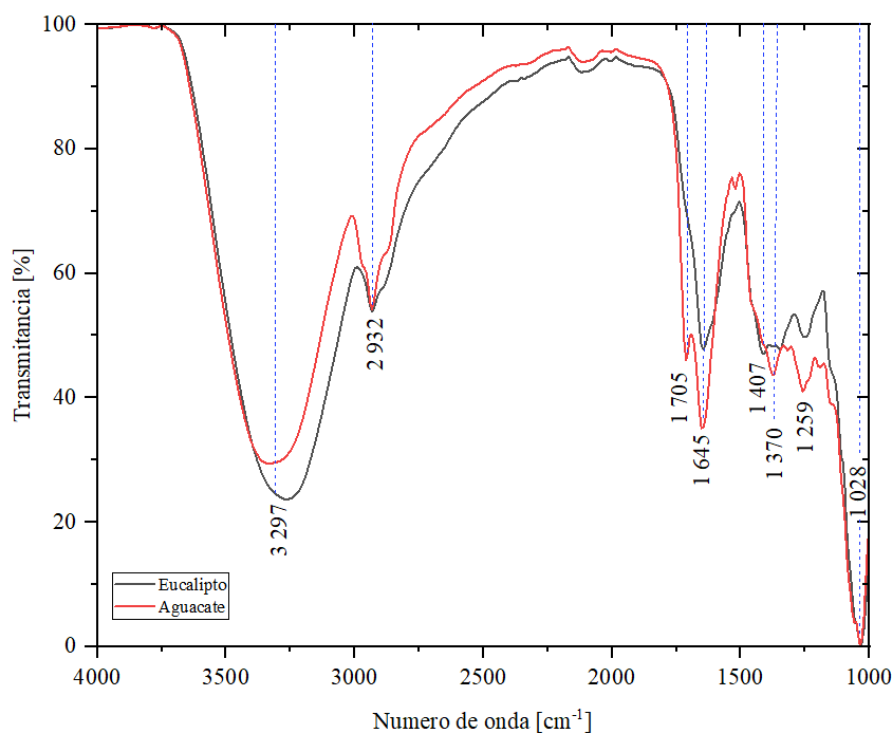


Figura 1. Espectro infrarrojo de los extractos fenólicos de las mieles

Los espectros muestran picos característicos. La región de $3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ indica un estiramiento simétrico y asimétrico del grupo hidroxilo polimérico (O–H), un estiramiento vinculado por puentes de hidrógeno, que es característico de los compuestos polifenólicos. En la región de 2932 cm^{-1} , se pueden observar las vibraciones de estiramiento de --CH , --CH_2 y --CH_3 , derivadas de los carbohidratos y azúcares que no fueron eliminados en la extracción (Wongsa *et al.*, 2022). Mientras que el pico de 1705 cm^{-1} reflejan el estiramiento en grupos carboxílicos; como se observa, solamente está presente en el extracto de aguacate debido a que solo en este se ha llegado a reportar el ácido abscísico. Adicionalmente, el grupo carbonilo (como en el ácido cafeico o ferúlico) que generalmente se encuentran en 1645 cm^{-1} (Kozłowicz *et al.*, 2020). Los picos en la región de $1407\text{--}1259\text{ cm}^{-1}$, corresponden a las deformaciones de O–H, C–O, C–H y C=C, están relacionados con los anillos aromáticos en los compuestos fenólicos. Dentro de estos, se destaca el pico en 1259 cm^{-1} ; este estiramiento se debe al C–O del pirano, típico de los anillos C de los flavonoides. Finalmente, el pico observado entre $950\text{--}1225\text{ cm}^{-1}$ podría atribuirse a varios C–H aromáticos en el plano (Wongsa *et al.*, 2022).

La capacidad antioxidante medida por el ensayo FRAP para el extracto de aguacate muestra un valor 50 veces más alto que el de su miel de procedencia, siendo de $95.371\text{ }\mu\text{mol TE/g}$. En la miel de eucalipto, cuyo extracto tiene un valor de $84.235\text{ }\mu\text{mol TE/g}$, también se refleja un aumento significativo en la capacidad antioxidante. La misma tendencia se observa al evaluar mediante DPPH, donde los extractos presentan valores más altos. No obstante, el extracto de aguacate mantiene una capacidad antioxidante superior en comparación con el extracto de eucalipto; aunque, tomando como base la diferencia inicial de las mieles, esta brecha se redujo considerablemente, excepto en DPPH.

Esta diferencia en los resultados obtenidos para los tres métodos sugiere relación con la diferencia entre los mecanismos de los métodos para identificar y cuantificar contenido de fenoles y capacidad antioxidante, respectivamente. Folin-Ciocalteu y FRAP son métodos basados en la transferencia de electrones (SET). En este caso, la eficiencia antioxidante depende de la capacidad del compuesto para donar electrones. DPPH, por otro lado, es un método mixto, ya que involucra tanto la transferencia de electrones (SET) como la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT). En este caso, el contenido fenólico sigue siendo importante, pero también influye la capacidad del antioxidante para donar átomos de hidrógeno (Munteanu & Apetrei, 2021), lo cual puede hacer que algunos compuestos fenólicos tengan una mayor eficiencia antioxidante en este ensayo que en los otros. Con esto en mente, Bendary *et al.* (2013), determinaron actividad de eliminación del radical DPPH de diferentes compuestos fenólicos, indicando que el grupo catecol, tiene una eficiencia significativamente más alta que los demás compuestos. Este se ha reportado en mieles poliflorales de Brasil (Costa dos Santos *et al.*, 2022); este grupo se encuentra en el ácido caféico, quercetina y luteolina en el anillo B; la presencia de estos compuestos en mayor cantidad que otros como kaempferol y naringenina, generan la diferencia que mantienen los extractos por este método.

3.2 Evaluación de la microencapsulación

Del proceso de microencapsulación hay que considerar que la cera de abeja tiene un contenido de polifenoles. El perfil de compuestos fenólicos en la cera de abeja incluye compuestos como el pinobanksin, que es el principal flavonoide presente, constituyendo aproximadamente 85.7% de los flavonoides totales en la cera de abeja. Además, se incluye el ácido protocatecuico-O-hexóxido, que representa el 3.4%, y algunos otros como el kaempferol (Sawicki *et al.*, 2022). Aunque el contenido de fenoles es bajo en

relación con los productos apícolas más estudiados, este incide en los resultados de la evaluación antioxidante de los microencapsulados. Por lo que, los microencapsulados blanco (sin compuesto activo), también fueron evaluadas. Sus resultados y de los microencapsulados con el extracto encapsulado se observan en la Tabla 2. Con base en el contenido de fenoles totales, se determinaron eficiencias de encapsulación que están influenciadas por las matrices de encapsulación utilizadas, así como la interacción de estas con los compuestos fenólicos y flavonoides, de modo que, para los compuestos originarios de la miel de aguacate se obtuvo (49.617 ± 1.831) %, mientras que para eucalipto (23.533 ± 4.457) %.

Tabla 2: Evaluación de capacidad antioxidante de los microencapsulados

	Blanco	Aguacate*	Eucalipto*
TPC [mg GAE/ g]	2.620 ± 0.236	2.778 ± 0.103	0.821 ± 0.156
Eficiencia de encapsulación (%)	N/A	49.617 ± 1.831	23.533 ± 4.457
AC (FRAP) [$\mu\text{mol TE/g}$]	0.852 ± 0.286	5.761 ± 0.897	3.282 ± 0.606
AC (DPPH) [$\mu\text{mol TE/g}$]	6.205 ± 0.579	13.074 ± 0.471	10.386 ± 0.604

*Los valores presentados para los microencapsulados de aguacate y eucalipto muestran solamente el efecto debido a los polifenoles del extracto.

El efecto del agente encapsulante y sus condiciones en la experimentación, especialmente la temperatura en la cera de abeja debe, fue evaluada por Arredondo *et al.*, (2017), que indica que deben ser superiores al punto de inicio de fusión de 50.64°C , pero establece que lo óptimo es trabajar en condiciones del pico de fusión (determinado por calorimetría diferencial de barrido) que está en 63.09°C para evitar la solidificación prematura, que podría causar coalescencia de gotas y desestabilización del sistema. Por esta razón, se observa una diferencia significativa en las eficiencias de encapsulación al compararlas con otros estudios que utilizaron este agente encapsulante. Por ejemplo, en

el caso de la curcumina, se reportaron eficiencias que oscilan entre el 75 % y el 98 %, alcanzando los valores más altos a una temperatura de 65 °C en la fase orgánica. (Salcedo García, 2021).

Si bien se evita el calentamiento por la degradación de los polifenoles, los estudios sobre el efecto de la temperatura en los mismos aún son muy variados, dependiendo del origen botánico de la miel. Para casos como la miel de colza, en tratamientos a 100°C se incrementó en un 15% la recuperación de polifenoles debido a que permite romper los enlaces formados entre compuestos fenólicos y polisacáridos (Antony & Farid, 2022). Por otro lado, Villacrés-Granda *et al* (2021) determinaron que, para la miel de eucalipto en tratamiento a 60°C, el contenido total de fenoles se redujo a la mitad. El comportamiento de las mieles respecto a la temperatura llega a ser indicador de la diferencia en eficiencia de encapsulación observada.

Con el fin de comparar la microencapsulación de compuestos apícolas, en el estudio de Ligarda *et al.*, se realizó microencapsulación de extracto etanólico de propóleo y miel de abeja, empleando el método de microemulsión donde, el agente encapsulante empleado era una mezcla de maltodextrina, almidón modificado y goma de tara. En este se obtuvieron eficiencias que van desde el 20.93% hasta 58.64%, dependiendo de la formulación del agente encapsulante (2023). Además, se reporta una tendencia similar en el incremento de la actividad antioxidante por DPPH por sobre los métodos de transferencia de electrones (Folin y FRAP), volviéndose este el mecanismo principal para la actividad antioxidante. Esta tendencia también fue observada por Wang *et al.*, (2022) al encapsular polifenoles como quercetina, naringenina y naringina (también presentes en las mieles) en una matriz de caseína, registró un incremento de la actividad antioxidante en un 10%. Esto sugiere que la microencapsulación no solo incrementa la estabilidad de

los polifenoles, sino que también protege su estructura, permitiendo que mantengan o incluso incrementen su capacidad antioxidante, particularmente en aquellos con grupos catecol o metoxifenólicos, como el ácido ferúlico

3.3 Digestiones *In vitro* de los microencapsulados

Los microencapsulados y los extractos diluidos previamente se sometieron al proceso de digestión *in vitro* que consiste en las etapas de simulación de fluido saliva, gástrico e intestinal. En un modelo de gestión estático, las condiciones de pH, la adición de enzimas y los tiempos de incubación permanecen constantes para cada etapa del proceso (saliva, gástrico, intestinal), sin simular cambios dinámicos como la variación progresiva del pH, las fuerzas peristálticas que afectan la desintegración física de los alimentos o la secreción continua de fluidos que ocurren *in vivo* (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020). La comparativa entre el contenido total de fenoles de los extractos y las mieles para los diferentes fluidos se observa en la Figura 2.

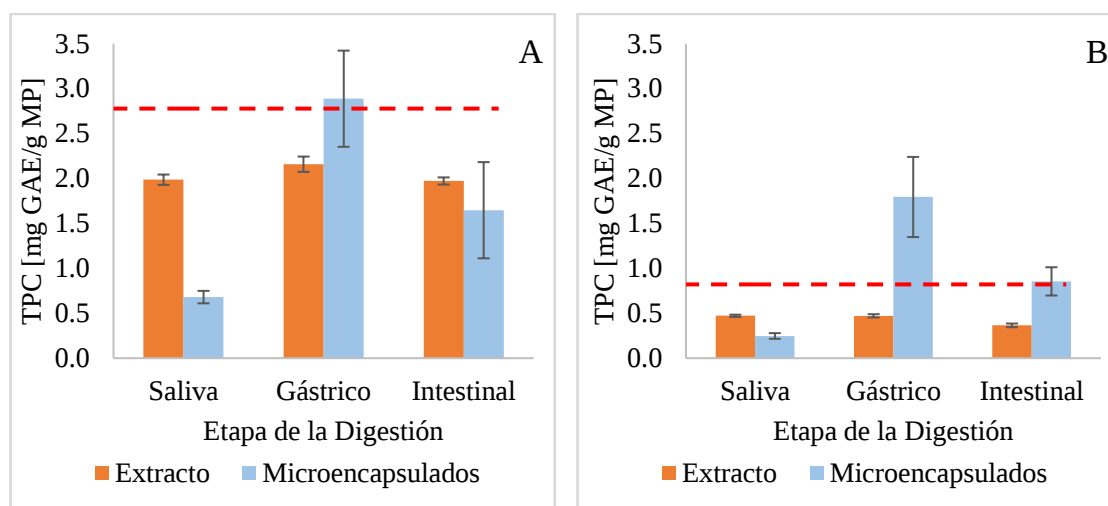


Figura 2. Comparación de TPC entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto

Se establece como base el contenido sin digerir de los polifenoles en los extractos que hay por gramo de microencapsulado (línea segmentada roja). En primer lugar, acorde al análisis de ANOVA y comparaciones de Tukey (Anexo D) se estableció diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre el TPC de los extractos de la miel de aguacate y eucalipto, siendo superior la primera; y entre las etapas de la digestión. En el caso de la digestión, para ambas fuentes de compuestos fenólicos se tiene una degradación inicial en el fluido salival que es estadísticamente similar tanto a gástrico como a intestinal; posteriormente no existe cambio significativo en el fluido gástrico, y finalmente una reducción con diferencia significativa en el gástrico con medida semejante a la inicial en saliva. La misma tendencia y significancia estadística se cumple para los microencapsulados (Anexo E). En los microencapsulados existe mayor cantidad de fenoles totales en las etapas de digestión gástrica, e intestinal (solo para eucalipto), que en el extracto inicial. Esto indica que la liberación máxima se encuentra en el fluido gástrico, y que existe protección ante la degradación después de la digestión en el intestino.

En el caso de este estudio, debido a la presencia de azúcares en los extractos, la digestión en fluido simulado de saliva adquiere relevancia debido a que la α -amilasa salival hidroliza los enlaces α -1,4-glucosídicos presentes en los carbohidratos complejos, lo que genera productos como maltosa, dextrinas y otros oligosacáridos más pequeños (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020) capaces de reducir agentes oxidantes, actuando como interferencias en la prueba de Folin (García-Tenesaca *et al.*, 2018); este efecto, generalmente, lleva a una sobreestimación del TPC en esta etapa. Por otro lado, después de la etapa gástrica, los ácidos fenólicos tienen un ligero incremento, mientras que los flavonoides no suelen registrar cambios significativos (Liu *et al.*, 2019). En este caso, el contenido total fenólico en los extractos disminuye en 29% para aguacate y 44% para eucalipto; principalmente dado por la degradación inicial en el fluido oral. Estos están

acordes a lo reportado por Seraglio *et al.* (2017), que para mezclas de mieles se reduce desde un 25.7% hasta 59.2%; donde los compuestos fenólicos de mayor degradación son el ácido cafeico (21.7%), narigenina (16.14%) y quercetina (14.88%).

En función del contenido total de fenoles empleando aguacate como fuente, el análisis ANOVA, Anexo F, muestra que no existe significancia estadística entre la encapsulación y el extracto no encapsulado ($p>0.05$). Sin embargo, para eucalipto como fuente, sí se obtiene diferencia estadística significativa (Anexo G) con el tratamiento de encapsulación en comparación con el control sin encapsular. Esta diferencia se observa principalmente por la digestión en fluido gástrico, donde la recuperación de los polifenoles supera el 160%. Esto puede relacionarse con la eficiencia determinada para la encapsulación que difería significativamente entre las dos fuentes, siendo inferior en eucalipto; sugiriendo una subestimación en este último caso al no liberar completamente el compuesto activo para el análisis. Esto, a su vez, se relaciona con el contenido de compuesto activo en la superficie de los microencapsulados, indicando que es superior en los microencapsulados de aguacate y por ende sufren mayor degradación. Por otro lado, el extracto de eucalipto tiene menor contenido fenólico, por lo que la cantidad de azúcares es superior; sugiriendo mayor interferencia en el análisis.

Adicionalmente, se evaluó capacidad antioxidante por FRAP (Figura 3) en comparación con la capacidad antioxidante del extracto sin digerir por gramo de micropartícula (línea segmentada roja). De los extractos, se obtuvo que, existe una diferencia estadística significativa entre la fuente en la capacidad antioxidante (Anexo H), siendo aquellos que provienen de aguacate los que tienen valores mayores. Por otro lado, la etapa de la digestión no afecta a las medidas por FRAP; sin embargo, sí existe una degradación inicial desde el contenido sin digerir de 28.8% para aguacate y 29.9% para

eucalipto. Esto es consistente con la reducción del 7.75 al 25.02% en capacidad antioxidante para digestión de mixes de mieles (Seraglio *et al.*, 2017).

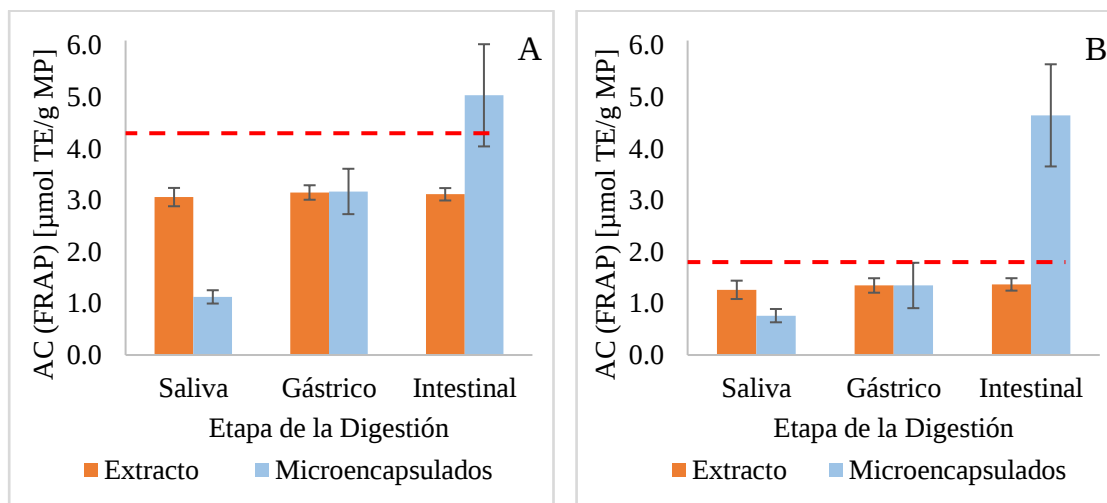


Figura 3: Comparación de AC por FRAP entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto

En el caso de los microencapsulados, para capacidad antioxidante por FRAP solo la etapa de la digestión es estadísticamente significativa, mas no la fuente, con un aumento entre cada etapa (Anexo I). Esto sugiere que, si bien existe una degradación en el contenido de fenoles de los microencapsulados, aquellas de mayor valor biológico se mantienen o sufren transformaciones dadas al pH ácido del estómago, que es donde se obtiene el mayor incremento de contenido fenólico. Se determina que los compuestos con mayor actividad antioxidante en esas condiciones son el ácido gálico y la catequina (Bermúdez-Soto *et al.*, 2007). Sin embargo, las moléculas de mayor actividad antioxidante en el pH ácido del estómago no son las que proporcionan la capacidad antioxidante en el pH ligeramente básico de la etapa intestinal; entre estos se encontrarían la quercetina, hesperidina y el ácido 3,4-Dihidroxibenzoico (Seraglio *et al.*, 2017).

Durante la digestión, el estrés oxidativo generado en el intestino delgado y el colon hace que los antioxidantes sean esenciales, ya que contribuyen a equilibrar los radicales libres y promueven la salud general al influir positivamente en la microbiota intestinal (Naliyadhara *et al.*, 2023). Dado que en la fase gástrica ocurre la mayor liberación de antioxidantes y que estos adquieren su mayor relevancia funcional en las fases gástrica e intestinal, el análisis de significancia del tratamiento se centra en estas etapas. De la misma manera que en el contenido de fenoles totales, en capacidad antioxidante determinada por FRAP, el tratamiento de microencapsulación es estadísticamente significativo solo para los compuestos fenólicos de miel de eucalipto (Anexos J y K) en donde se tiene una media de capacidad antioxidante de dos veces mayor en los microencapsulados que en el extracto base.

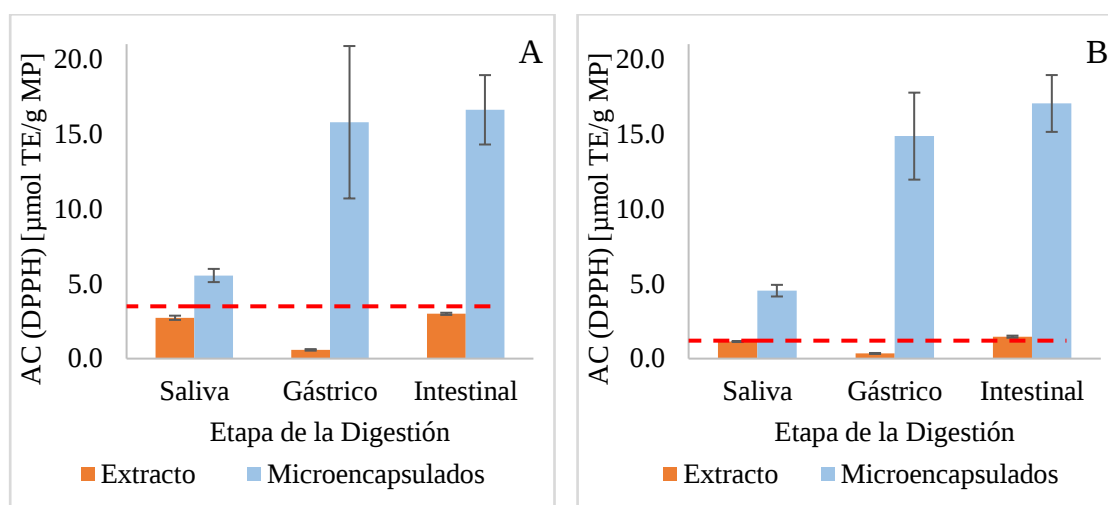


Figura 4. Comparación de AC por DPPH entre digestiones y origen botánico de MP y extractos de (A) aguacate y (B) eucalipto

Finalmente, analizando la capacidad antioxidante por radical DPPH (Figura 4) y comparando con la capacidad antioxidante del extracto sin digerir que hay por gramo de microencapsulado (línea segmentada roja), se observa que la tendencia en los extractos, de ambas fuentes, es una disminución entre las fases de digestión saliva y gástrico;

mientras que en el fluido intestinal no se identifica un cambio estadísticamente significativo del contenido en la digestión en saliva (Anexo L). Un comportamiento similar se ha reportado donde no existe diferencia estadística significativa entre la capacidad antioxidante por DPPH en las mieles sin digestión y después del fluido intestinal, incluso para un tipo de miel este valor es ligeramente superior al inicial. Adicionalmente, destaca una disminución del 43% del contenido inicial en la fase gástrica (Seraglio *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos indican reducciones del 83% para aguacate y 71% para eucalipto en esta etapa. Mientras que, al evaluar las pérdidas en la fase intestinal, solo ocurre en el extracto de aguacate con una reducción del 14%.

Por otro lado, los microencapsulados, en ambos casos muestran mayor capacidad antioxidante que la base obtenida en el extracto sin digerir. Además, existe un incremento en el fluido gástrico, en el fluido intestinal no existe diferencia significativa (Anexo M). En este caso, no se reporta diferencia significativa al momento de comparar entre las fuentes. Se determina que, el tratamiento con microencapsulación tanto para aguacate (Anexo N) como para eucalipto (Anexo O) genera un incremento significativo de 4.76 y 14.21 veces superior al extracto sin digestión.

Las comparaciones, tanto entre fuentes como con la bibliografía son un reto debido a las interacciones entre compuestos antioxidantes y constituyentes dietéticos, como minerales, carbohidratos y proteínas, que pueden llevar a la formación de complejos y, en consecuencia, causar cambios en la estructura química, el peso molecular y la solubilidad de los polifenoles durante la digestión simulada, lo que resulta en la disminución o el aumento de la bioaccesibilidad de las sustancias (Argyri *et al.*, 2006). Por lo que, se observa variación de las tendencias del mismo compuesto fenólico cuando

la matriz alimenticia es diferente. De igual manera, los métodos y protocolos de digestión generan diferencias entre los resultados al comparar con la bibliografía.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio destaca la viabilidad de la microencapsulación para proteger y liberar compuestos fenólicos de mieles monoflorales de manera controlada en el tracto digestivo, al detectarse el incremento de la capacidad antioxidante en la digestión por sobre lo determinado en los extractos sin digerir. Además, los ensayos de digestión *in vitro* revelaron una liberación significativa de compuestos fenólicos en la etapa gástrica, seguida de una disminución en la fase intestinal menor que en los extractos sin encapsular. Las diferencias en la eficiencia de encapsulación y liberación de compuestos bioactivos se atribuyen a las interacciones específicas entre las matrices lipídicas y los compuestos fenólicos. La extracción con columnas Sep Pack C18 muestra eficiencias de recuperación de polifenoles de 44.1% y 53.1% para las mieles de aguacate y eucalipto respectivamente. La microencapsulación mediante el método de emulsión-evaporación del solvente utilizando cera de abeja como agente encapsulante logró una eficiencia moderada de 49.6% y 23.5%, siendo mayor para los extractos de aguacate.

Se recomienda realizar análisis mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS) para identificar y cuantificar con mayor precisión el perfil fenólico presente en las mieles, los extractos, como en los microencapsulados, lo que permitirá establecer relaciones más claras entre los compuestos específicos y su bioactividad. Adicionalmente, es importante caracterizar la morfología de las partículas encapsuladas mediante técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM), ya que la forma y distribución de las partículas influyen directamente en su comportamiento durante las digestiones simuladas. Para optimizar la eficiencia de encapsulación, se sugiere evaluar condiciones experimentales alternativas, como el ajuste de la temperatura durante el proceso de encapsulación y el uso de otros agentes encapsulantes que requieran

temperaturas de procesamiento menores, para evitar la degradación de los polifenoles. Asimismo, se recomienda ampliar los estudios hacia modelos de digestión dinámicos o implementación de digestiones *in vivo*. Finalmente, es necesario explorar aplicaciones funcionales de los microencapsulados en matrices alimenticias, considerando su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento para garantizar su funcionalidad bioactiva en productos finales y evaluar las interacciones de los agentes encapsulantes con diversas matrices alimenticias.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, S. S. S., & Mazlan, A. N. (2020). Quantification of polyphenols and antioxidant activity in several herbal and green tea products in Malaysia. *Materials Today: Proceedings*, 31, A106–A113. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1083>
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12042107>
- Argyri, K., Komaitis, M., & Kapsokefalou, M. (2006). Iron decreases the antioxidant capacity of red wine under conditions of in vitro digestion. *Food Chemistry*, 96(2), 281–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.035>
- Arredondo-Ochoa, T., García-Almendárez, B. E., Escamilla-García, M., Martín-Belloso, O., Rossi-Márquez, G., Medina-Torres, L., & Regalado-González, C. (2017). Physicochemical and antimicrobial characterization of beeswax–starch food-grade nanoemulsions incorporating natural antimicrobials. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijms18122712>
- Ayoub, W. S., Ritu, Zahoor, I., Dar, A. H., Farooq, S., Mir, T. A., Ganaie, T. A., Srivastava, S., Pandey, V. K., & Altaf, A. (2023). Exploiting the polyphenolic potential of honey in the prevention of chronic diseases. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100373>
- Beltrán Ayala, P., & Vásconez Robalino, J. (2020). Análisis de los costos de producción de miel de abeja en Ecuador como insumo en la generación de políticas públicas que estimulen su producción: caso Pichincha. *Uniandes EPISTEME. Revista Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7, 1326–1340.

- Bendary, E., Francis, R. R., Ali, H. M. G., Sarwat, M. I., & El Hady, S. (2013). Antioxidant and structure–activity relationships (SARs) of some phenolic and anilines compounds. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.07.002>
- Bermúdez-Soto, M.-J., Tomás-Barberán, F.-A., & García-Conesa, M.-T. (2007). Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion. *Food Chemistry*, 102(3), 865–874. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.025>
- Bešlo, D., Golubić, N., Rastija, V., Agić, D., Karnaš, M., Šubarić, D., & Lučić, B. (2023). Antioxidant Activity, Metabolism, and Bioavailability of Polyphenols in the Diet of Animals. In *Antioxidants* (Vol. 12, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox12061141>
- Bobis, O., Moise, A. R., Ballesteros, I., Reyes, E. S., Durán, S. S., Sánchez-Sánchez, J., Cruz-Quintana, S., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties. In *Food Chemistry* (Vol. 325). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126870>
- Cabezas-Mera, F. S., Atencia-Carrera, M. B., Villacrés-Granda, I., Proaño, A. A., Debut, A., Vizuite, K., Herrero-Bayo, L., Gonzalez-Paramás, A. M., Giampieri, F., Abreu-Naranjo, R., Tejera, E., Álvarez-Suarez, J. M., & Machado, A. (2023). Evaluation of the polyphenolic profile of native Ecuadorian stingless bee honeys (Tribe: Meliponini) and their antibiofilm activity on susceptible and multidrug-resistant pathogens: An exploratory analysis. *Current Research in Food Science*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100543>

- Cao, H., Saroglu, O., Karadag, A., Diaconeasa, Z., Zoccatelli, G., Conte-Junior, C. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Ou, J., Bai, W., Zamarioli, C. M., de Freitas, L. A. P., Shpigelman, A., Campelo, P. H., Capanoglu, E., Hii, C. L., Jafari, S. M., Qi, Y., Liao, P., Wang, M., ... Xiao, J. (2021). Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. In *Food Frontiers* (Vol. 2, Issue 2, pp. 109–139). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fft2.65>
- Chatzidaki, M. D., Mitsou, E., Yaghmur, A., Xenakis, A., & Papadimitriou, V. (2015). Formulation and characterization of food-grade microemulsions as carriers of natural phenolic antioxidants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 483, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.03.060>
- Costa dos Santos, A., Carina Biluca, F., Brugnerotto, P., Valdemiro Gonzaga, L., Carolina Oliveira Costa, A., & Fett, R. (2022). Brazilian stingless bee honey: Physicochemical properties and aliphatic organic acids content. *Food Research International*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111516>
- Cutrim, C. S., Alvim, I. D., & Cortez, M. A. S. (2019). Microencapsulation of green tea polyphenols by ionic gelation and spray chilling methods. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 56, Issue 8, pp. 3561–3570). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03908-1>
- Garavand, F., Jalai-Jivan, M., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2021). Encapsulation of phenolic compounds within nano/microemulsion systems: A review. In *Food Chemistry* (Vol. 364). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130376>

- García-Tenesaca, M., Navarrete, E. S., Iturralde, G. A., Villacrés Granda, I. M., Tejera, E., Beltrán-Ayala, P., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2018). Influence of botanical origin and chemical composition on the protective effect against oxidative damage and the capacity to reduce in vitro bacterial biofilms of monofloral honeys from the andean region of ecuador. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1). <https://doi.org/10.3390/ijms19010045>
- Ghibaudo, F., Gerbino, E., Hugo, A. A., Simões, M. G., Alves, P., Costa, B. F. O., Campo Dall'Orto, V., Gómez-Zavaglia, A., & Simões, P. N. (2018). Development and characterization of iron-pectin beads as a novel system for iron delivery to intestinal cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 170, 538–543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.06.052>
- Grgić, J., Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., & Bucić-Kojić, A. (2020). Role of the encapsulation in bioavailability of phenolic compounds. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 10, pp. 1–36). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9100923>
- Kaškonienė, V., Maruska, A., Kornysova, O., Ligor, M., Kaškonienė, V., Maruška, A., Kornysova, O., Charczun, N., Ligor, M., & Buszewski, B. (2009). *Quantitative and qualitative determination of phenolic compounds in honey*. <https://www.researchgate.net/publication/228494420>
- Kozłowicz, K., Różyło, R., Gładyszewska, B., Matwijczuk, A., Gładyszewski, G., Chocyk, D., Samborska, K., Piekut, J., & Smolewska, M. (2020). Identification of sugars and phenolic compounds in honey powders with the use of GC–MS, FTIR spectroscopy, and X-ray diffraction. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73306-7>

- Ligarda-Samanez, C. A., Choque-Quispe, D., Moscoso-Moscoso, E., Huamán-Carrión, M. L., Ramos-Pacheco, B. S., De la Cruz, G., Arévalo-Quijano, J. C., Muñoz-Saenz, J. C., Muñoz-Melgarejo, M., Quispe-Quezada, U. R., Gutiérrez-Gómez, E., Luciano-Alipio, R., Zamalloa-Puma, M. M., Álvarez-López, G. J., & Sucari-León, R. (2023). Microencapsulation of Propolis and Honey Using Mixtures of Maltodextrin/Tara Gum and Modified Native Potato Starch/Tara Gum. *Foods*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/foods12091873>
- Liu, G., Ying, D., Guo, B., Cheng, L. J., May, B., Bird, T., Sanguansri, L., Cao, Y., & Augustin, M. (2019). Extrusion of apple pomace increases antioxidant activity upon: In vitro digestion. *Food and Function*, 10(2), 951–963. <https://doi.org/10.1039/c8fo01083h>
- Lu, M., Yuan, B., Zeng, M., & Chen, J. (2011). Antioxidant capacity and major phenolic compounds of spices commonly consumed in China. *Food Research International*, 44(2), 530–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.055>
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Naliyadhara, N., Kumar, A., Kumar Gangwar, S., Nair Devanarayanan, T., Hegde, M., Alqahtani, M. S., Abbas, M., Sethi, G., & Kunnumakkara, A. (2023). Interplay of dietary antioxidants and gut microbiome in human health: What has been learnt thus far? *Journal of Functional Foods*, 100, 105365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105365>

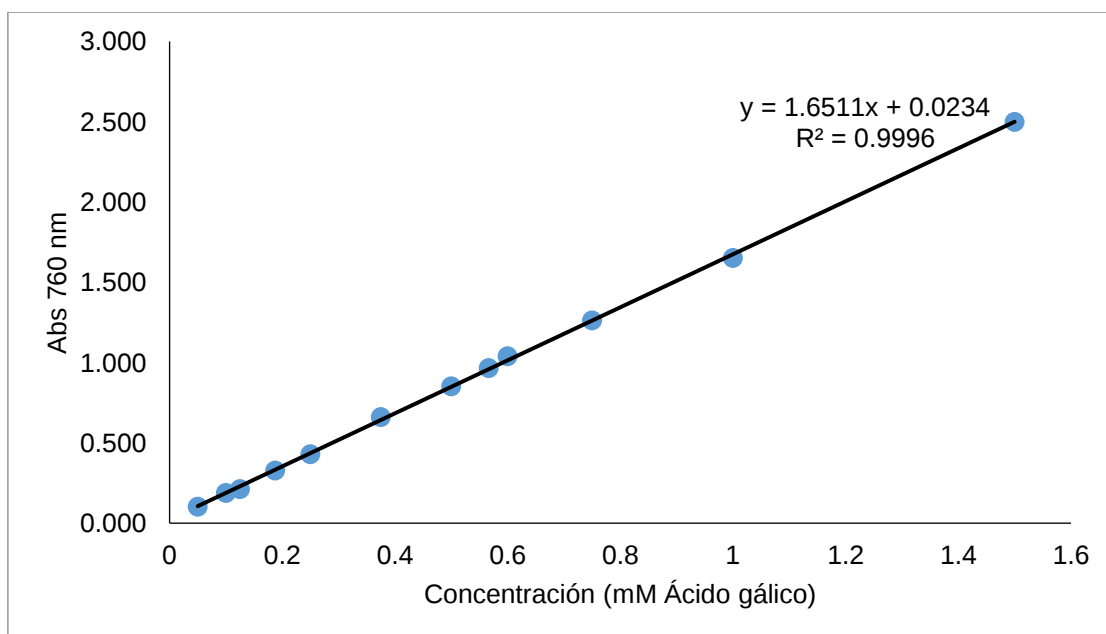
- Pozo Yépez, G. M. (2016). *ANÁLISIS DE POLIFENÓLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE MIELES DE ABEJA DE AGUACATE, ALFALFA Y EUCALIPTO COMO TRATAMIENTO ALTERNATIVO DE INFECCIONES DE INTERÉS VETERINARIO CAUSADAS POR STAPHYLOCOCCUS EPIDERMIDIS Y AUREUS*. UDLA.
- Ricci, A., Arboleda Mejia, J. A., Versari, A., Chiarello, E., Bordoni, A., & Parpinello, G. P. (2022). Microencapsulation of polyphenolic compounds recovered from red wine lees: Process optimization and nutraceutical study. *Food and Bioprocess Processing*, 132, 1–12. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.12.003](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.12.003)
- Salcedo García, E. A. (2021). *Evaluación de la microencapsulación de curcumina empleando cera de abeja y manteca de cacao como materiales encapsulantes*. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ.
- Sawicki, T., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Hanus, P. (2022). The Profile of Polyphenolic Compounds, Contents of Total Phenolics and Flavonoids, and Antioxidant and Antimicrobial Properties of Bee Products. *Molecules*, 27(4). <https://doi.org/10.3390/molecules27041301>
- Seraglio, S. K. T., Valese, A. C., Daguer, H., Bergamo, G., Azevedo, M. S., Nehring, P., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2017). Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds, minerals, and antioxidant capacity of *Mimosa scabrella* Benth honeydew honeys. *Food Research International*, 99, 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.024>

- Serra Bonvehi, J., Ventura Coll, F., & Orantes Bermejo, J. F. (2019). Characterization of avocado honey (*Persea americana* Mill.) produced in Southern Spain. *Food Chemistry*, 287, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.068>
- Silvestre, F., Santos, C., Silva, V., Ombredane, A., Pinheiro, W., Andrade, L., Garcia, M., Pacheco, T., Joanitti, G., Luz, G., & Carneiro, M. (2023). Pharmacokinetics of Curcumin Delivered by Nanoparticles and the Relationship with Antitumor Efficacy: A Systematic Review. In *Pharmaceuticals* (Vol. 16, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ph16070943>
- Villacrés-Granda, I., Proaño, A., Coello, D., Debut, A., Vizuite, K., Ballesteros, I., Granda-Albuja, G., Rosero-Mayanquer, H., Battino, M., Giampieri, F., & Alvarez-Suárez, J. M. (2021). Effect of thermal liquefaction on quality, chemical composition and antibiofilm activity against multiresistant human pathogens of crystallized eucalyptus honey. *Food Chemistry*, 365, 130519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130519>
- Wang, X., & Zhao, Z. (2022). Improved encapsulation capacity of casein micelles with modified structure. *Journal of Food Engineering*, 333, 111138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111138>
- Wojtunik-Kulesza, K., Oniszcuk, A., Oniszcuk, T., Combrzyński, M., Nowakowska, D., & Matwijczuk, A. (2020). Influence of in vitro digestion on composition, bioaccessibility and antioxidant activity of food polyphenols—a non-systematic review. In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>

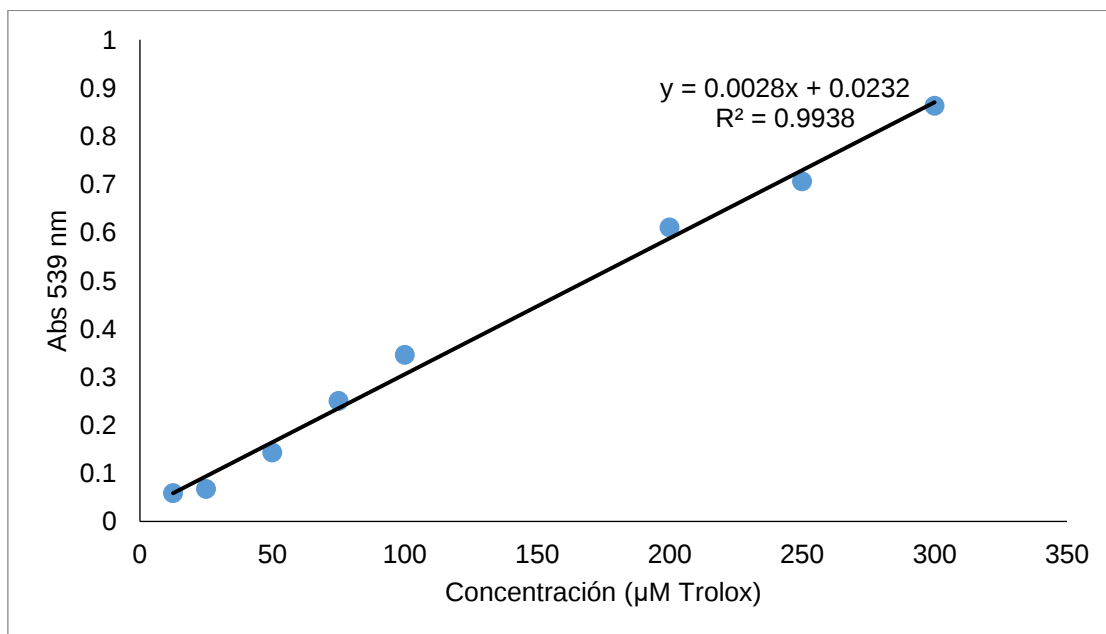
- Wongsa, P., Phatikulrungsun, P., & Prathumthong, S. (2022). FT-IR characteristics, phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10669-z>
- Yung An, C., Hossain, M. M., Alam, F., Islam, M. A., Khalil, M. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Efficiency of Polyphenol Extraction from Artificial Honey Using C18 Cartridges and Amberlite® XAD-2 Resin: A Comparative Study. *Journal of Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8356739>

6. ANEXOS

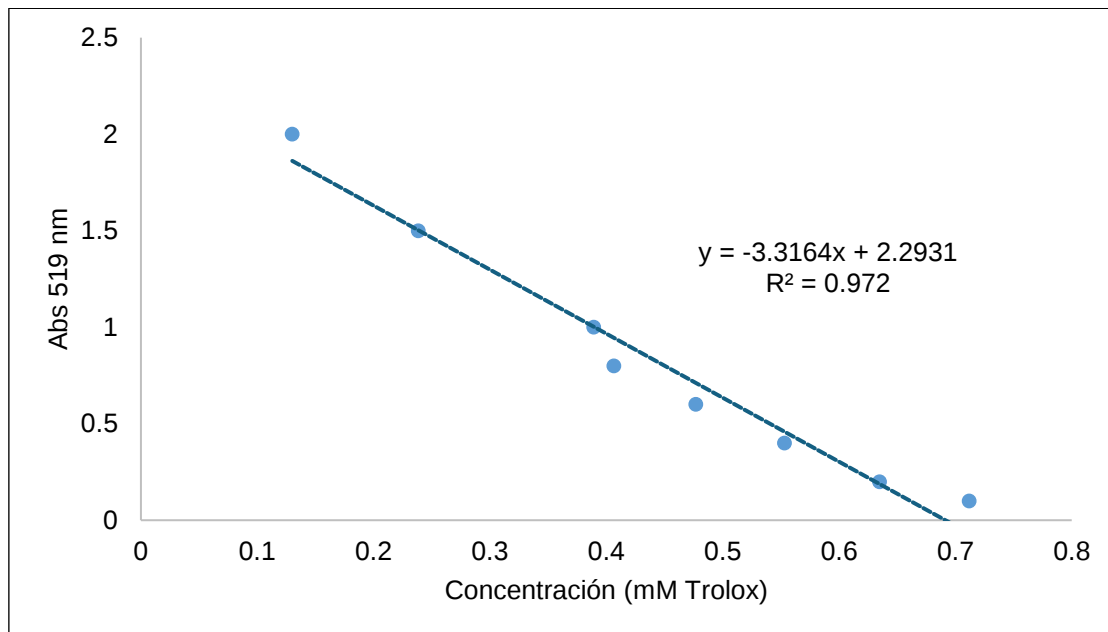
ANEXO A. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE FENOLES



**ANEXO B. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO FRAP**



**ANEXO C. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE CON EL RADICAL DPPH**



ANEXO D. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA TPC DE LAS DIGESTIONES DE LOS EXTRACTOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	15.4212	15.4212	1799.48	0.000
Digestión	2	0.0864	0.0432	5.04	0.017
Error	20	0.1714	0.0086		
Falta de ajuste	2	0.0300	0.0150	1.91	0.177
Error puro	18	0.1414	0.0079		
Total	23	15.6790			

Comparaciones para FOLIN

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media	Agrupación
Aguacate	12	2.03939	A
Eucalipto	12	0.43621	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media	Agrupación
Gástrico	8	1.31519	A
Saliva	8	1.22925	A B
Intestinal	8	1.16895	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO E. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA TPC DE LAS DIGESTIONES DE LOS MICROENCAPSULADOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	3.7270	3.7270	5.27	0.034
Digestión	2	12.7910	6.3955	9.04	0.002
Error	18	12.7340	0.7074		
Falta de ajuste	2	0.2705	0.1353	0.17	0.842
Error puro	16	12.4635	0.7790		
Total	21	28.4396			

Comparaciones para FOLIN

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media	Agrupación
Aguacate	12	1.77930	A
Eucalipto	10	0.95072	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media	Agrupación
Gástrico	8	2.34102	A
Intestinal	7	1.24843	A B
Saliva	7	0.50558	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO F. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA TPC ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE AGUACATE

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	0.4059	0.4059	0.47	0.499
Error	22	18.8814	0.8582		
Total	23	19.2873			

Comparaciones para FOLIN

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media Agrupación
NO	12	2.03939 A
SI	12	1.77930 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO G. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA TPC ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE EUCALIPTO

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	2.044	2.0437	5.92	0.024
Error	20	6.901	0.3451		
Total	21	8.945			

Comparaciones para FOLIN

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media	Agrupación
SI	10	1.04832 A	
NO	12	0.43621	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO H. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA AC POR FRAP DE LAS DIGESTIONES DE LOS EXTRACTOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	19.1194	19.1194	407.82	0.000
Digestión	2	0.0383	0.0191	0.41	0.670
Error	20	0.9376	0.0469		
Falta de ajuste	2	0.0011	0.0005	0.01	0.990
Error puro	18	0.9365	0.0520		
Total	23	20.0953			

Comparaciones para FRAP

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media	Agrupación
Aguacate	12	3.11096	A
Eucalipto	12	1.32586	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media Agrupación
Gástrico	8	2.25747 A
Intestinal	8	2.23419 A
Saliva	8	2.16356 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO I. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA AC POR FRAP DE LAS DIGESTIONES DE LOS MICROENCAPSULADOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	0.9858	0.9858	1.00	0.328
Digestión	2	60.7846	30.3923	30.95	0.000
Error	20	19.6375	0.9819		
Falta de ajuste	2	0.0108	0.0054	0.00	0.995
Error puro	18	19.6266	1.0904		
Total	23	81.4079			

Comparaciones para FRAP

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media Agrupación
Aguacate	12	3.11222 A
Eucalipto	12	2.70687 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media	Agrupación
Intestinal	8	4.84303 A	
Gástrico	8	2.94044	B
Saliva	8	0.94517	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANEXO J. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA
AC POR FRAP ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE
AGUACATE**

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	3.763	3.763	2.59	0.130
Error	14	20.363	1.454		
Total	15	24.126			

Comparaciones para FRAP

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media Agrupación
NO	12	4.10483 A
SI	12	3.13493 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANEXO K. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA
AC POR FRAP ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE
EUCALIPTO**

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	21.56	21.5648	21.58	0.000
Error	14	13.99	0.9994		
Total	15	35.56			

Comparaciones para FRAP

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media	Agrupación
SI	8	3.67864 A	
NO	8	1.35674	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO L. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA AC POR DPPH DE LAS DIGESTIONES DE LOS EXTRACTOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	7.3060	7.30603	56.48	0.000
Digestión	2	14.1163	7.05815	54.57	0.000
Error	20	2.5870	0.12935		
Falta de ajuste	2	2.2396	1.11980	58.02	0.000
Error puro	18	0.3474	0.01930		
Total	23	24.0094			

Comparaciones para DPPH

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media	Agrupación
Aguacate	12	2.08391	A
Eucalipto	12	0.98043	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media	Agrupación
Intestinal	8	0.46273	A
Saliva	8	1.91039	A
Gástrico	8	2.22338	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO M. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA AC POR DPPH DE LAS DIGESTIONES DE LOS MICROENCAPSULADOS

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Fuente	Fijo	2	Aguacate, Eucalipto
Digestión	Fijo	3	Gástrico, Intestinal, Saliva

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fuente	1	1.54	1.536	0.06	0.812
Digestión	2	657.92	328.960	12.50	0.000
Error	20	526.40	26.320		
Falta de ajuste	2	2.59	1.296	0.04	0.957
Error puro	18	523.80	29.100		
Total	23	1185.85			

Comparaciones para DPPH

Comparaciones por parejas de Tukey: Fuente

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Fuente	N	Media Agrupación
Aguacate	12	12.6495 A
Eucalipto	12	12.1436 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Digestión

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Digestión	N	Media	Agrupación
Intestinal	8	16.8260 A	
Gástrico	8	15.3203 A	
Saliva	8	5.0432	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANEXO N. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA
AC POR DPPH ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE
AGUACATE**

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	669.8	669.78	21.19	0.000
Error	22	695.4	31.61		
Total	23	1365.1			

Comparaciones para DPPH

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media	Agrupación
SI	12	12.6495 A	
NO	12	2.0839	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANEXO O. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE SIGNIFICANCIA PARA
AC POR DPPH ENTRE MICROENCAPSULADOS Y EXTRACTOS DE
EUCALIPTO**

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles Valores
Encapsulado	Fijo	2 NO, SI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Encapsulado	1	747.7	747.69	32.53	0.000
Error	22	505.7	22.98		
Total	23	1253.4			

Comparaciones para DPPH

Comparaciones por parejas de Tukey: Encapsulado

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulado	N	Media	Agrupación
SI	10	12.1436 A	
NO	12	0.9804	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.