

Evaluación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en subproductos de cítricos de la península de Yucatán*

Olga Lucila Ruiz Sabogal^a ■ Manuel Octavio Ramírez Sucre^b ■ Ingrid Mayanin Rodríguez^c ■ Kevin Alejandro Avilés Betanzos^d ■ Anahí López Martínez^e

Resumen: La península de Yucatán produce el 45,6 % de todos los cítricos cultivados en México; esta región produce una gran variedad de frutas. Dentro de las más comunes se encuentran el limón, la mandarina, la toronja, la lima yucateca y la naranja agria. El 10 % de los cítricos se utiliza para la elaboración de jugos y concentrados, mientras que el 90 % restante se consume sin procesar. Los cítricos estudiados en esta investigación fueron: naranja dulce (*Citrus sinensis*), toronja (*Citrus paradisi*), limón (*Citrus limon*) y naranja agria (*Citrus aurantium*), reconocidos por su alto contenido de metabolitos secundarios en la cáscara y la pulpa, destacando los compuestos fenólicos. Los hoyejos de estos productos se secaron para obtener harina cítrica (HaC), en la que se determinaron la concentración de polifenoles totales (PF), flavonoides totales (FT), y la capacidad antioxidante (CA). Los factores evaluados mediante un diseño factorial ($3 \times 3 \times 2$) fueron: 1) tipo de solvente: agua y etanol al 50 %; 2) métodos de secado: liofilización, horno, bandejas, y 3) tipo de cítrico: toronja, naranja dulce, limón. Las variables de respuesta analizadas fueron: concentración de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante. Las HaC con mayor concentración de metabolitos fueron la toronja con un PF de 181,65

* El artículo de investigación se realizó en colaboración con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño (CIATEJ). Artículo producto de Expotech, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) de Colombia.

- a Magister en Biotecnología Alimentaria. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bogotá, Colombia. Correo electrónico: olga.ruiz@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8804-753X>
- b Doctor en Ciencias de los Alimentos. CIATEJ subsele sureste, México. Correo electrónico: oramirez@ciatej.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-3066>
- c Doctora en Procesos Biotecnológicos. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. Correo electrónico: irodriguez@ciatej.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-8389>
- d Magister en Innovación Biotecnológica. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Jalisco, México. Correo electrónico: keaviles_al@ciatej.edu.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7316-9809>
- e Licenciada, Universidad Anáhuac Mayab. Yucatán, México. Correo electrónico: Anahi.lopez@anahuac.mx; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1803-7368>

± 15 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g HaC, una CA de $89,07 \pm 1$ % de inhibición y FT de $113,62 \pm 3$ mg, equivalente de catequina (EqC)/100 g HaC, así como el limón que registró una PF de $126,62 \pm 9$ mg EAG/100 g HaC, CA de $85,93 \pm 2$ %, inhibición y una FT de $99,76 \pm 17$ mg EqC/100g HaC. El mejor tratamiento para la extracción de PF se obtuvo utilizando etanol con el método de liofilización, mientras que para FT se logró con etanol y secado en horno y bandejas ($p < 0,05$). La extracción con agua en conjunto mediante cualquier método de secado mostró un efecto positivo sobre la capacidad antioxidante de las HaC. Los factores evaluados evidenciaron efectos significativos ($p < 0,05$) sobre FT y CA. Las cáscaras de estos cítricos indican que son una importante fuente de antioxidantes naturales, que se pueden aprovechar para el desarrollo de alimentos funcionales, y que la industria farmacéutica puede utilizar como metabolitos para la elaboración de fármacos o nutraceuticos indicados en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares.

Palabras clave: cítricos; capacidad antioxidante; flavonoides; polifenoles

Recibido: 04/06/2024 **Aceptado:** 15/11/2024 **Disponible en línea:** 26/12/2024

Cómo citar: O. L. Ruiz Sabogal y M. O. Ramírez Sucre, «Evaluación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en subproductos de cítricos de la península de Yucatán», *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 19, n.º 1, pp. 87–97, dic. 2024.

Evaluation of Phenolic Compound Content and Antioxidant Capacity in Citrus Byproducts from the Yucatán Peninsula

Abstract: The Yucatán Peninsula produces 45.6 % of all citrus fruits grown in Mexico, offering a wide variety of fruits. The most common include lime, mandarin, grapefruit, Yucatecan lime, and sour orange. Ten percent of these citrus fruits are used for juice and concentrate production, while the remaining 90 % are consumed unprocessed. The citrus fruits studied in this research were sweet orange (*Citrus sinensis*), grapefruit (*Citrus paradisi*), lime (*Citrus limon*), and sour orange (*Citrus aurantium*), recognized for their high secondary metabolite content in the peel and pulp, particularly phenolic compounds. The peels were dried to obtain citrus flour (CF), which was analyzed for total polyphenol (TP) and total flavonoid (TF) concentrations and antioxidant capacity (AC). The factors evaluated through a factorial design ($3 \times 3 \times 2$) were: 1) solvent type: water and 50 % ethanol; 2) drying methods: freeze-drying, oven, and trays; and 3) citrus type: grapefruit, sweet orange, lime. The response variables analyzed included polyphenol, flavonoid concentrations, and antioxidant capacity. The CFs with the highest metabolite concentrations were grapefruit, with TP of 181.65 ± 15 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g CF, AC of 89.07 ± 1 % inhibition, and TF of 113.62 ± 3 mg catechin equivalents (CE)/100 g CF, as well as lime, which recorded TP of 126.62 ± 9 mg GAE/100 g CF, AC of 85.93 ± 2 % inhibition, and TF of 99.76 ± 17 mg CE/100 g CF. The best treatment for TP extraction was achieved using ethanol with freeze-drying, while for TF, it was achieved with ethanol and oven or tray drying ($p < 0.05$). Water extraction combined with any drying method positively influenced CF antioxidant capacity. The factors evaluated showed significant effects ($p < 0.05$) on TF and AC. These citrus peels indicate they are an important source of natural antioxidants, which can be used for developing functional foods and as metabolites for pharmaceutical or nutraceutical applications targeting cardiovascular disease treatments.

Keywords: Citrus; Antioxidant Capacity; Flavonoids; Polyphenols

Avaliação do conteúdo de compostos fenólicos e capacidade antioxidante em subprodutos de cítricos da península de Yucatán

Resumo: A península de Yucatán produz 45,6 % de todos os cítricos cultivados no México; essa região é conhecida por uma grande variedade de frutas, entre as quais se destacam o limão, a tangerina, a toranja, a lima yucateca e a laranja amarga. Cerca de 10 % dos cítricos são utilizados para a produção de sucos e concentrados, enquanto os 90 % restantes são consumidos in natura. Os cítricos estudados nesta pesquisa foram: laranja doce (*Citrus sinensis*), toranja (*Citrus paradisi*), limão (*Citrus limon*) e laranja amarga (*Citrus aurantium*), reconhecidos pelo alto conteúdo de metabólitos secundários na casca e na polpa, com destaque para os compostos fenólicos. As cascas desses cítricos foram secas para produzir farinha cítrica (HaC), na qual foram determinados a concentração de polifenóis totais (PF), flavonoides totais (FT) e a capacidade antioxidante (CA). Os fatores avaliados em um desenho fatorial ($3 \times 3 \times 2$) foram: 1) tipo de solvente: água e etanol a 50 %; 2) métodos de secagem: liofilização, forno e bandejas; e 3) tipo de cítrico: toranja, laranja doce e limão. As variáveis de resposta analisadas foram: concentração de polifenóis, flavonoides e capacidade antioxidante. As HaCs com maior concentração de metabólitos foram a toranja, com um PF de $181,65 \pm 15$ mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g HaC, CA de $89,07 \pm 1$ % de inibição e FT de $113,62 \pm 3$ mg, equivalente de catequina (EqC)/100 g HaC, bem como o limão, que registrou PF de $126,62 \pm 9$ mg EAG/100 g HaC, CA de $85,93 \pm 2$ % de inibição e FT de $99,76 \pm 17$ mg EqC/100 g HaC. O melhor tratamento para extração de PF foi obtido com etanol e o método de liofilização, enquanto para FT o resultado ideal foi alcançado com etanol e secagem em forno e bandejas ($p < 0,05$). A extração com água, combinada com qualquer método de secagem, demonstrou efeito positivo na capacidade antioxidante das HaCs. Os fatores avaliados evidenciaram efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre FT e CA. As cascas desses cítricos indicam ser uma importante fonte de antioxidantes naturais, que podem ser aproveitados para o desenvolvimento de alimentos funcionais, bem como para a indústria farmacêutica, como metabólitos para a produção de fármacos ou nutracêuticos indicados no tratamento de doenças cardiovasculares.

Palavras-chave: cítricos; capacidade antioxidante; flavonoides; polifenóis

Introducción

La presente investigación se centra en la extracción de compuestos fenólicos y antioxidantes en las cáscaras de cítricos: toronja (*Citrus paradisi*), naranja dulce (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*) y naranja agria (*Citrus aurantium*). Debido a su alto contenido de polifenoles y flavonoides las conchas de estos cítricos surgen como una gran alternativa para su aprovechamiento como subproducto en las industrias alimentaria y farmacéutica, porque sus agentes biológicos sirven como antioxidantes, anti-diabéticos y antiinflamatorios [1].

Los compuestos fenólicos forman parte de un grupo de metabolitos secundarios, ampliamente distribuidos en frutas y verduras, como los ácidos fenólicos, taninos, ligninas y flavonoides; su diversidad estructural garantiza el contenido de grupos hidroxilos unidos a un anillo bencénico, que hace que los ácidos débiles generen un efecto inductivo en el hidrógeno del grupo hidroxilo, y desempeñen un papel importante en las propiedades antioxidantes [2].

También se encuentran en las cáscaras de los cítricos; sin embargo, es necesario extraerlos para evaluar su capacidad antioxidante. Los métodos de secado y extracción, y los disolventes utilizados para la obtención de estos metabolitos pueden afectar su concentración en los extractos de cáscara derivados de las HaC. Por tanto, el objetivo de este estudio consistió en evaluar el efecto de estos factores sobre la concentración de polifenoles totales, flavonoides totales y la capacidad antioxidante.

Materiales y métodos

Materia prima

Los cítricos de naranja dulce, naranja agria, toronja y limón utilizados (1 kg de cada uno) fueron adquiridos en el mercado local de Mérida, Yucatán. Los análisis se realizaron con el apoyo del Centro de investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

Para cuantificar el contenido total de fenoles (PF) de los extractos cítricos, se preparó una curva de calibración con una solución estándar de ácido

gálico (0,1 mg/ml) de la que se tomaron volúmenes de 5 µl a 200 µl. Por otra parte, para determinar los flavonoides totales se utilizó una solución estándar de catequina (0,1 g/ml) y se extrajeron volúmenes de 10 µl a 200 µl en un intervalo de 10 µl. El análisis estadístico se hizo mediante el *software* Statgraphics Centurion XVII.11-X64.

Los datos obtenidos se procesaron con el programa de Microsoft Excel, que dieron cuenta de las medidas de tendencia central y la regresión lineal para la elaboración de la curva de calibración de los estándares.

Se utilizó un diseño experimental factorial de $3 \times 3 \times 2$, para evaluar los factores que tuvieron un mayor impacto, como el tipo de cítrico, el disolvente y el secado sobre las variables de respuesta PT, FT y CA.

Tratamiento de la materia prima

Se emplearon tres métodos de secado de las conchas: liofilización (Li), horno (Ho) y charolas (Ch).

Para el proceso de Li, las cáscaras se cortaron a un tamaño de 3×3 cm para después ultracongelarlas ($-32^\circ\text{C}/24\text{h}$) en bolsas resellables. Luego se liofilizó la muestra (72 h, -52°C , 280 mbar) con la ayuda del equipo reeZone 4,5 Liter Benthop Freeze Dry System LABCONCO® Brand [3], hasta obtener una humedad $< 12\%$.

El secado en Ho se realizó a una temperatura de 50°C , colocando las cáscaras (cortadas) por separado en bandejas metálicas durante 48 horas hasta alcanzar una humedad $< 12\%$ [4].

En Ch se utilizó un sistema de aireación convectivo a una temperatura de $32,4^\circ\text{C}$ por 24 horas con lo que se consiguió una humedad $< 12\%$.

Las humedades finales se determinaron en una termobalanza marca Ohaus, a una temperatura de 105°C hasta alcanzar un peso constante. Este procedimiento se realizó para cada una de las HaC.

Molienda

Se empleó un molino de café (Braun, modelo KSM-2); la harina obtenida se tamizó en una malla # 35 ($\leq 500\ \mu\text{m}$), y se almacenó a temperatura ambiente hasta su uso en bolsas resellables, forradas con papel de aluminio [3].

Extracción de metabolitos en harinas de cítricos

La extracción se realizó con una mezcla de disolventes: agua y etanol al 50 %, teniendo en cuenta que los compuestos fenólicos y flavonoides son de naturaleza polar, por el número de grupos hidroxilos que posee en su estructura, moderadamente solubles en disolventes polares, como etanol, metanol, butanol y agua [5].

Para ello se pesó 1 g de la muestra de harina en tubos Falcon (15 ml), se agregó un volumen de 10 ml de disolvente, a continuación, la mezcla se soncó (baño ultrasónico, 30 min), para posteriormente centrifugar (4700 rpm, 30 min, 4°C), después se recuperó el sobrenadante y se resguardó en viales cromatográficos bajo refrigeración (4°C) hasta su uso [4].

Ensayo del contenido de polifenoles totales (PF) en HaC

El PF en los extractos de HaC se determinó utilizando la metodología de Folin Ciocalteu con algunas modificaciones. Se realizó una dilución 1:10 del extracto a partir de la cual se tomaron 25 µl. Se adicionaron 3 ml de agua destilada, inmediatamente se agregaron 250 µl de reactivo Folin (Sigma- Aldrich), se dejó reposar por 5 min para después añadir 750 µl de carbonato de sodio al 20 % (NaCO₃, Sigma-Aldrich) y 950 µl de agua destilada, y se puso a incubar por 30 min. Por último, las muestras se leyeron espectrofotométricamente a 765 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por 100 gramos de HaC (mg EAG/100 gr HaC). Los análisis se realizaron por triplicado.

Ensayo del contenido de flavonoides totales (FT)

El FT se determinó mediante el ensayo de Liu y Co. (2002) [6]. Se tomaron 210 µl del extracto de cada cítrico (naranja dulce, toronja, naranja agria y limón), se adicionaron 500 µl de agua destilada, seguido de 30 µl de NANO₂ (5 % p/v), dejando reposar por 6 min. Se añadieron 60 µl de AlCl₃ (10 % p/v), incubando por 5 min y al final se añadieron 200 µl de NaOH (1M). Para un volumen de 1 ml. La

absorbancia se midió con ayuda de un espectrofotómetro marca UV-Vis-spectrophotometer a 510 nm. Los resultados fueron expresados en mg, equivalente de catequina por 100 g de HaC. El ensayo se realizó por triplicado.

Ensayo de capacidad antioxidante

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó por el método de captación de radicales libres DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazilo) [7] con algunas modificaciones. Se utilizó una solución de DPPH (0,1 mM), preparada con 4,0 mg de DPPH y aforada a 100 mL con etanol. La solución se protegió de la luz y se dejó reaccionar por 17 h a temperatura ambiente [7]. Esta modificación se realizó con el fin de permitir una interacción más completa de los antioxidantes con el radical.

Pasado el tiempo de reacción, se tomaron 3,9 ml de DPPH, mezclando con una alícuota de 100 uL del extracto de HaC. La solución final se agitó y dejó incubar por 30 min, para seguir con la lectura de absorbancia a 515 nm. La capacidad antioxidante se registró como el porcentaje de inhibición, calculado mediante la ecuación 1:

$$\%inhibición = [(AC - AM)/AC] \times 100 \quad (1)$$

Donde: AC es absorbancia control y AM significa absorbancia de muestra.

El método por DPPH consiste en que el radical tiene un electrón desapareado y es de color azul-violeta, se decolora hacia amarillo pálido por la reacción de la presencia de una sustancia antioxidante que se mide espectrofotométricamente a 517 nm. Por diferencia de absorbancia se determina el porcentaje de captación de radical libre DPPH [8].

Resultados y discusión

Para la cuantificación de PF y FT de las muestras de cítricos, se construyó la curva de calibración de ácido gálico y se obtuvo la ecuación lineal 2:

$$y = 56,083x - 1,5404 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9716$$

La curva de calibración de catequina para la cuantificación de TF se halló la ecuación lineal 3:

$$y = 46,9574x - 2,7114 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9945$$

Esto dio como resultado una medida de precisión del ajuste de los datos experimentales a la ecuación lineal del 97 % y 99 %, correspondiente a PF y FT.

El contenido de compuestos fenólicos en los cuatro cítricos para extracción con agua y con etanol al 50 %, mostró el siguiente comportamiento (figura 1).

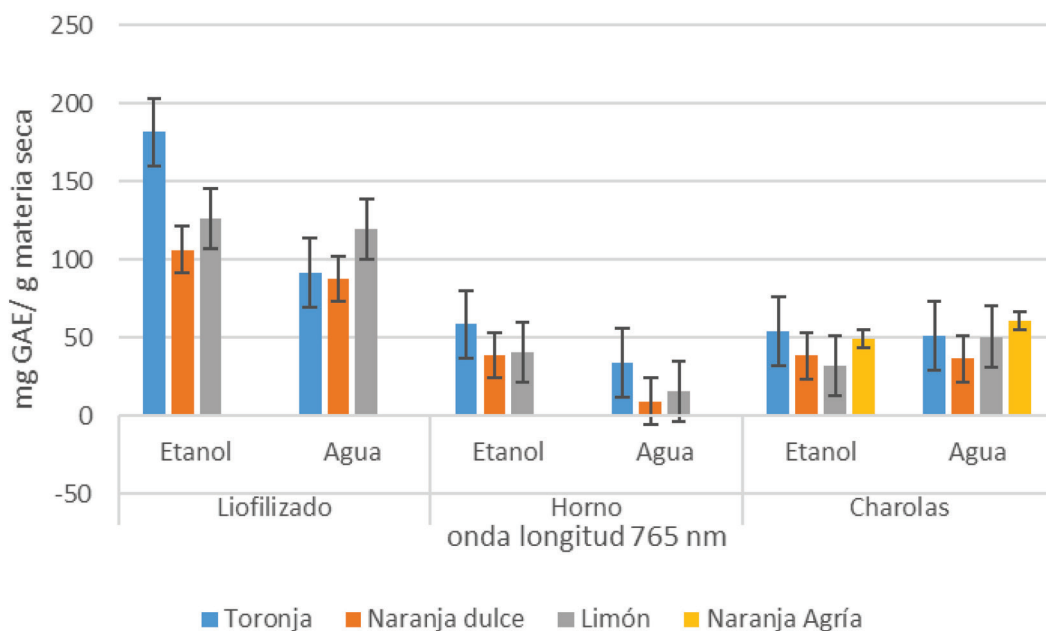
La toronja reveló un mayor contenido de fenoles totales, utilizando como disolvente etanol en conjunto con Li, con un valor de 181,65 mg EAG/100 g HaC. Por otro lado, el limón también mostró una alta concentración de PF con un resultado de 126,62 mg de EAG/100 gr HaC, acorde con los mismos parámetros anteriores, teniendo en cuenta que otros estudios reportan, en el caso del limón italiano, contenido de PF de $23,3 \pm 4,1$ mg EAG/gbs (gramo en base seca) [9].

A su vez la HaC de naranja agria mostró una buena concentración de fenoles totales utilizando como disolvente agua y un secado Ch con un contenido de 60,92 mg de EAG/100 gr HaC.

De todos los tratamientos, el que presentó los mejores resultados fue el que se obtuvo de la combinación de Li-Et, en comparación con el resto, que fue más representativo en la toronja. En cuanto al FT, esta última indicó una concentración de 113,62 mg EqC/100g HaC, mediante el tratamiento de secado con Ho y un PT de 99,76 EAG/100 g HaC con un secado por charola, utilizando en ambos casos el etanol como disolvente (figura 2).

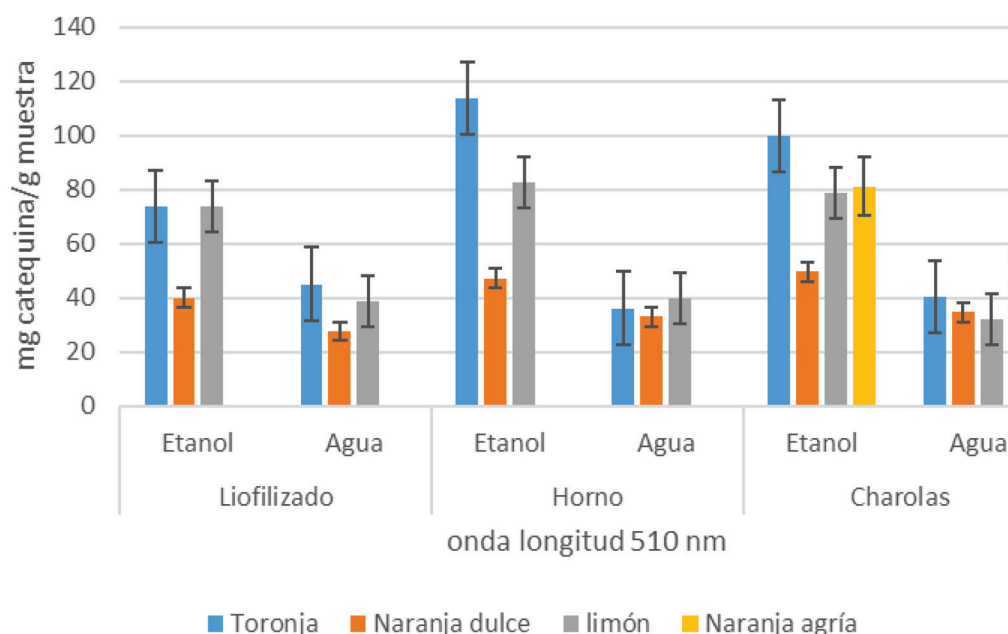
Para la capacidad antioxidante (figura 3), se observó que la HaC de toronja en combinación con la disolvente agua obtuvo 89,07 % de inhibición con el secado por Li, seguido del limón con 85,93 % utilizando el mismo disolvente para el secado con Ho. Para la naranja agria la mayor capacidad antioxidante se dio con el tratamiento Ch y agua con un 81,14 % de inhibición.

Figura 1. Contenido de polifenoles totales en productos cítricos



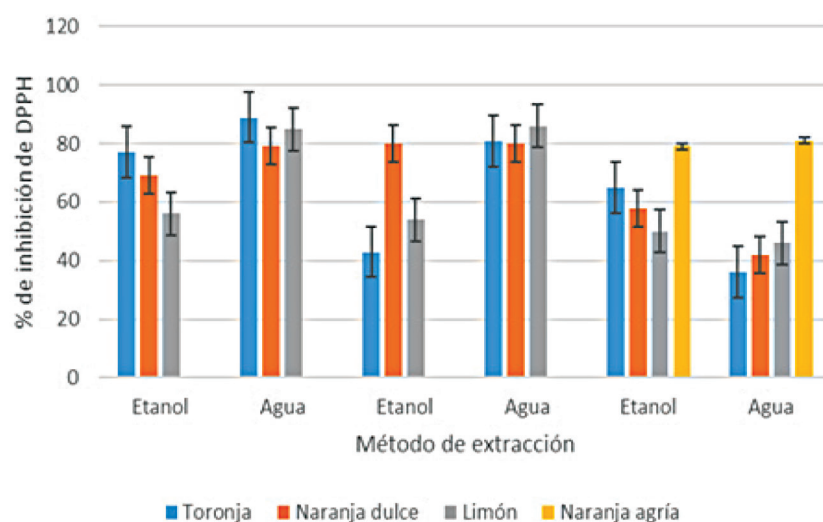
Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Contenido de flavonoides totales en productos cítricos



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Capacidad antioxidante en productos cítricos



Fuente: elaboración propia.

El factor método de secado mostró un efecto significativo sobre la concentración de polifenoles y demostró una mayor capacidad antioxidante, ya que con el método de liofilización se logra

la eliminación de agua de las cáscaras cítricas por medio de la sublimación. Esto ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie de hielo se encuentran por debajo del punto triple

del agua [10], conservando así las propiedades organolépticas, físicas y nutricionales del producto.

Teniendo en cuenta lo anterior, el secado por Li mostró un mejor comportamiento en la concentración de compuestos fenólicos, en razón a que estos metabolitos son susceptibles a altas temperaturas. Se comprueba entonces que las bajas temperaturas previenen su degradación.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico de los valores obtenidos en un diseño factorial de $(3 \times 3 \times 2)$, para un total de 18 experimentos (tabla 1) con la evaluación de la extracción de compuestos fenólicos de los tres tipos de cítricos.

Tabla 1. PF, FT y CA en muestras del diseño experimental $3 \times 3 \times 2$

Tratamiento	CTP *	CA**	FT*
Limón (Ho - Et)	40,69 ± 7	53,78 ± 7	82,4 ± 2
Naranja (Ho - Et)	38,81 ± 13	80,37 ± 2	47,23 ± 2
Toronja (Ho - Et)	58,6 ± 1	42,92 ± 6	113,62 ± 3
Limón (Li - Et)	126,62 ± 9	57,57 ± 18	73,42 ± 13
Naranja (Li - Et)	106,19 ± 9	69,19 ± 3	40,03 ± 5
Toronja (Li - Et)	181,65 ± 15	77,56 ± 6	73,56 ± 8
Limón (Ch - Et)	31,77 ± 4	33,09 ± 6	78,77 ± 5
Naranja (Ch - Et)	38,75 ± 1	58,45 ± 10	49,59 ± 1
Toronja (Ch - Et)	54,4 ± 3	64,96 ± 7	99,76 ± 17
Limón (Ho - Ag)	15,81 ± 6	85,93 ± 2	39,8 ± 1
Naranja (Ho - Ag)	9,35 ± 4	80,21 ± 2	32,88 ± 2
Toronja (Ho - Ag)	34,21 ± 23	81,21 ± 8	36,15 ± 1
Limón (Li - Ag)	119,87 ± 42	85,28 ± 0,4	38,45 ± 0,1
Naranja (Li - Ag)	87,84 ± 30	79,14 ± 5	27,64 ± 2
Toronja (Li - Ag)	91,87 ± 10	89,07 ± 1	44,94 ± 2
Limón (Ch - Ag)	50,85 ± 7	46,43 ± 4	31,78 ± 1
Naranja (Ch - Ag)	36,73 ± 17	41,71 ± 3	34,57 ± 4
Toronja (Ch - Ag)	51,54 ± 9	35,5 ± 1	40,35 ± 2

Nota: CTP = contenido total de polifenoles (mg EAG/100 g HaC); CA = capacidad antioxidante (% de inhibición); FT = flavonoides totales (mg EqC/100 g HaC). *Los valores son el promedio de tres réplicas. ** Los valores son el promedio de dos réplicas.

Fuente: elaboración propia.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) con los factores de tipos de secado, de disolvente y de cítrico. Los resultados de este diseño experimental indican que los tratamientos Li-Et y Ho-Et producen un efecto significativo sobre FT ($p < 0,0001$) como CA ($p < 0,0026$).

Principales efectos

El contenido de polifenoles totales no mostró ningún efecto sobre los factores estudiados, teniendo en cuenta que la extracción de este compuesto no fue significativa en los diferentes tratamientos,

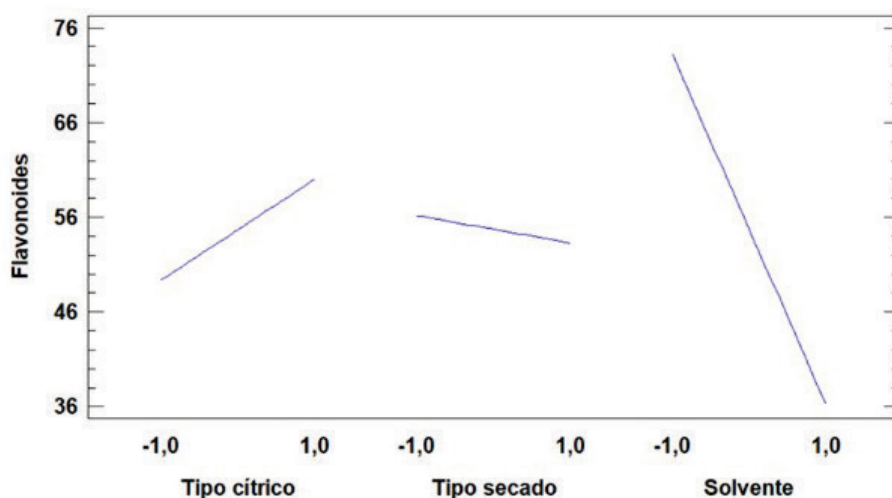
debido a que acorde con las condiciones experimentales empleadas, la cantidad de PF no varió de manera relevante en los tratamientos evaluados e indicó que otros compuestos bioactivos presentes en las muestras como flavonoides o ácidos fenólicos inciden principalmente en la muestra.

En los resultados obtenidos para flavonoides, se evidenció que el mayor efecto se encontró en el disolvente, que prueba una mayor extracción con etanol (figura 4). Esto se debe a que estos compuestos

son solubles en agua y etanol [11]. La mayor influencia la tuvo el etanol, al hallarse con tipos de flavonoides muy polares como glicósidos o agliconas muy hidroxiladas [5], encontradas en la toronja.

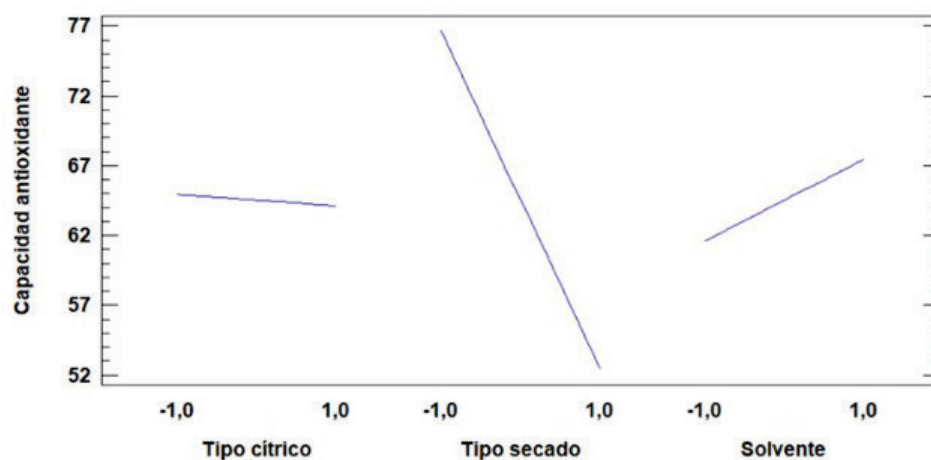
El mayor efecto de capacidad antioxidante (figura 5) se identificó en el tipo de secado ($p < 0,001$). Aunque los tres tipos de secado favorecieron la extracción, el Li contribuyó a la conservación de la capacidad antioxidante de los cítricos, especialmente con el disolvente agua.

Figura 4. Efectos principales para flavonoides totales



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Principales efectos de la capacidad antioxidante



Fuente: elaboración propia.

[2] reporta datos de su investigación donde la temperatura de secado causa un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de fenoles, con el que se alcanzó la máxima concentración para limón italiano de $37,6 \pm 1,2$ mg GAE/g base seca (BS) a las 24 h a 100°C y la mínima de $29,5 \pm 0,9$ mg GAE/g BS alcanzado a las 48 h a una temperatura de 90°C . Aunque con la temperatura por horno a 50°C se obtuvo una capacidad antioxidante entre 80 % y 85 %, el método que mejor resultado dio fue el de Li.

Conclusiones

Los extractos evaluados presentaron una buena capacidad antioxidante. Sobresalen el de toronja, seguido del limón y la naranja agria. El que resultó con menor capacidad fue la naranja dulce.

El método de secado más adecuado para la extracción de polifenoles totales fue el de Li para el secado de cáscara de cítricos, debido a que trabaja

con bajos niveles de humedad y reduce la actividad del agua por sublimación.

El disolvente que contribuyó a una mayor extracción en compuestos fenólicos fue el etanol específicamente para la toronja.

Los flavonoides poseen una alta capacidad antioxidante, lo que se evidencia en los resultados de los cítricos en estudio al obtener datos significantes de estos compuestos fenólicos; de ellos, la toronja fue la más representativa.

Agradecimiento

Al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Unidad Sureste, por facilitar las instalaciones y equipos para el desarrollo de la investigación.

A los colaboradores del proyecto interno PI-ICS-UE-Viscoeutectic. n.º 20045-186 titulado “Rediseño de disolventes eutécticos (NADES) para mejorar el rendimiento en la extracción de hesperidina cítrica”.

Referencias

- [1]. R. A. Vargas, V. L. Petricevich, “Importancia biológica de los compuestos fenólicos”, *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, vol. 14, núm. 34, pp. 33-38, 2018.
- [2]. L. Hernández, J. Salazar, L. Pabón, P. Hernández, “Antioxidant activity and quantification of phenols and flavonoids of Colombian plants used in urinary tract infections”, *Revista U.D.C.A.*, vol. 25, núm. 1, p. e1690, 2022. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1690>
- [3]. E. Mendoza-Osorno *et al.*, “Perfiles metabólicos (LC-MS²) de flores y miel de abeja de Dzidzilche (*Gymnopodium floribundum* Rolfe) y Jabin (*Piscidia piscipula* L. Sarg.) de Yucatán, México”, *Procesos*, vol. 11, núm. 10, p. 3028, 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11103028>
- [4]. K. A. Avilés-Betanzos *et al.*, “Optimización profunda de disolventes eutécticos naturales para obtener un extracto rico en polifenoles de hojas de *Capsicum chinense* mediante sonda ultrasónica”, *Procesos*, vol. 11, núm. 6, p. 1729, 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11061729>
- [5]. O. Cartaya, O e I. Reynaldo. Flavonoides: características químicas y aplicaciones. *Cultivos tropicales*, vol. 22, núm. 2, pp. 5-14, 2001.
- [6]. M. Liu, X. Q. Li, C. Weber, C. Y. Lee, J. Brown, R. H. Liu, “Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries”, *J Agric Food Chem*, vol. 50, núm.10, pp.2926-30, 2002. <https://doi.org/10.1021/jf0111209>
- [7]. T. Pukalskas *et al.*, “Identification of radical scavengers in sweet grass (*Hierochloa odorata*)”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, pp. 2914-2919, 2002.
- [8]. E. Ramos, B. Castañeda, y L. Ibáñez, “Evaluación de la capacidad antioxidante de plantas medicinales peruanas nativas e introducidas”, *Revista Acad Peru Salud*, vol. 15, núm. 1, pp. 42-46, 2008. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/rev_academia/2008_n1/pdf/a11v15n1.pdf
- [9]. Q. Baas, “Obtención de extractos polifenólicos con actividad biológica a partir de harinas elaboradas con subproductos de limón italiano”, tesis de maestría, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., Jalisco, 2014. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/89/1/Lizzie%20Viviana%20Baas%20Dzul.pdf>

- [10]. Y. Leyton-Ramírez, E. Mosquera-Vivas, C. Ochoa-Martínez, A. Ayala-Aponte, “Evaluación de propiedades físico-químicas en secado de naranja (*Citrus sinensis*) mediante liofilización: influencia del espesor”, *Agronomía Colombiana*, suppl-vol. 1, pp. 340-342, 2016.
- [11]. A. P. Rangel, “Cuantificación de flavonoides (catequinas) en cáscara de naranja variedad criolla (*Citrus sinensis*) producida en Norte de Santander”, *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 8, núm. 2, pp. 34-43, 2010, <https://doi.org/10.24054/limentech.v8i2.1523>

