

Extracción e Identificación de Compuestos Fenólicos de hojas de mango (*Mangifera indica* L.)

Daniela Carranza-Ortiz¹, Melvin Zahid Ambrosio-Gómez¹, Melisa Chávez-Portillo¹, Juan Pablo Carreón-Hidalgo^{1,2} y Tania Martínez-Ramos^{1*}

¹Programa de Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, Popocatepetl s/n, Reserva Territorial Atlixcáyotl, Tres Cerritos, Puebla, Pue., C. P. 72480, México, tania.martinez@metropoli.edu.mx

²Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 18 Sur, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, México

Resumen

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas más consumidas a nivel mundial, debido a su sabor y alto valor nutricional. La corteza, tallos, flores y hojas de mango son residuos que se generan en grandes cantidades durante la poda de los árboles de mango. Diversos estudios han demostrado que las hojas de mango tienen un alto contenido de compuestos bioactivos, conocidos por sus propiedades antimicrobianas, antipiréticas, antiinflamatorias, analgésicas, antidiabéticas y antioxidantes. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el contenido fenólico total (CFT) y la actividad antioxidante (AA) de extractos de hojas de mango manila, así como identificar los posibles compuestos fenólicos presentes. Extracciones sólido-líquido (1000 rpm) fueron llevadas a cabo a diferentes tiempos de extracción (10-30 min) y temperaturas (20-60°C) usando etanol como solvente. Los experimentos fueron realizados por triplicado. Un diseño factorial 3² fue utilizado y fue ajustado con un modelo de regresión cuadrática para la optimización del proceso de extracción. El CFT fue cuantificado con el método de Folin-Ciocalteu, la AA fue determinada con el ensayo ABTS. De acuerdo con los datos experimentales, el CFT y la AA se encontraron en un rango de 1036.53±17.2 a 5028.29±124.9 mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g masa seca (m.s.) y de 50.737±0.196 a 51.875±0.045 mg equivalentes de trolox (eq trolox)/100 g m.s., respectivamente. Las condiciones óptimas de extracción de los compuestos fenólicos fueron 60 °C y 30 min, de acuerdo con el modelo de regresión obtenido. Finalmente, los extractos de hojas de mango son ricos en compuestos fenólicos, que podrían ser utilizados como ingredientes en alimentos y productos medicinales.

Palabras clave— Actividad antioxidante, compuestos fenólicos, extracción sólido-líquido, hojas de mango.

Extraction and Identification of Phenolic Compounds from Mango Manila Leaves (*Mangifera indica* L.)

Abstract

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most widely consumed fruits worldwide, due to its flavor and high nutritional value. The bark, stems, flowers, and leaves of mango are residues that are generated in large quantities during the pruning of mango trees. Various studies have shown that mango leaves have a high content of bioactive compounds, known for their antimicrobial, antipyretic, anti-inflammatory, analgesic, antidiabetic, and antioxidant properties. Therefore, the objectives of the present work were to evaluate the total phenolic content (TPC) and the antioxidant activity (AA) of extracts from Manila mango leaves, as well as to identify the possible phenolic compounds present. Solid-liquid extractions (1000 rpm) were carried out at different extraction times (10-30 min) and temperatures (20-60°C) using ethanol as solvent. The experiments were performed in triplicate. A 3² factorial design was used and fitted with a quadratic regression model for the optimization of the extraction process. The TPC was quantified with the Folin-Ciocalteu method, and the AA was determined with the ABTS assay. According to the experimental data, the TPC and AA were found in a range of 1036.53±17.2 to 5028.29±124.9 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g dry weight (DW) and 50.737±0.196 to 51.875±0.045 mg trolox equivalents (eq Trolox)/100 g DW., respectively. The optimal conditions for extracting phenolic compounds were 60 °C and 30 min, according to the regression model obtained. Finally, mango leaf extracts are rich in phenolic compounds, which could be used as ingredients in food and medicinal products.

Keywords— Antioxidant activity, mango leaves, phenolic compounds, solid-liquid extraction.

I. INTRODUCCIÓN

El árbol de mango (*Mangifera indica* L.) es una planta tropical, perenne y leñosa, perteneciente a la familia *Anacardiaceae*. A nivel mundial es uno de los cultivos frutales más importantes con una superficie cultivada de alrededor de 10 millones de hectáreas, siendo México el cuarto mayor productor a nivel mundial [1].

En México, el fruto del mango es uno de los más consumidos debido a su sabor y alto valor nutricional. Representa una fuente importante de micronutrientes, vitaminas y diversos fitoquímicos, además de aportar energía, fibra dietética, carbohidratos, proteínas, grasas y compuestos fenólicos [2].

La poda del árbol de mango genera un alto volumen de residuos vegetales, como corteza, tallos, flores y hojas. El manejo de estos residuos representa un desafío para los

agricultores, debido a la acumulación que provocan y su contribución a la contaminación ambiental. En este sentido, el aprovechamiento de estos subproductos disminuiría su generación y, por consiguiente, generaría un beneficio ambiental. Además, de estos residuos se pueden obtener compuestos de alto valor. Por ejemplo, las hojas de mango son una fuente importante de calcio (Ca), hierro (Fe), sodio (Na), potasio (K), fósforo (P), zinc (Zn), nitrógeno (N), magnesio (Mg), manganeso (Mn), boro (B), azufre (S), cobre (Cu) y cadmio (Cd), y vitaminas como A, B, E y C [3].

Varios estudios han reportado que las hojas de mango son ricas en compuestos antioxidantes como los fenólicos, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides y benzofenonas [3, 4]. Estos compuestos presentan diversas propiedades benéficas para la salud humana, tales como actividades antimicrobianas, antipiréticas, antiinflamatorias, analgésicas y antidiabéticas [5, 6].

Particularmente, se ha reportado que las hojas de mango poseen propiedades antidiabéticas, ya que sus compuestos bioactivos pueden contribuir a la regulación de la glucosa en sangre, la reducción del estrés oxidativo y la inhibición de enzimas digestivas [7-9]. Adicionalmente, el “Diccionario de Medicina China” reconoce la eficacia de las hojas de mango en el tratamiento de la diabetes y afecciones respiratorias [10].

Finalmente, optimizar el proceso de extracción garantiza la obtención del máximo contenido posible de compuestos fenólicos, lo que a su vez maximiza el aprovechamiento de las hojas y permite obtener un extracto de alta calidad, además de promover un uso más sostenible y rentable de los recursos naturales. Por consiguiente, el presente estudio se enfocó en evaluar el contenido fenólico total (CFT) y la actividad antioxidante (AA) de los extractos de hojas de mango manila (*M. indica* L.), así como identificar los posibles compuestos fenólicos presentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Preparación de la Materia Prima

Las hojas de mango variedad manila (*M. indica* L.) fueron adquiridas de árboles de la región de Izúcar de Matamoros, Puebla. Las hojas fueron deshidratadas en un horno (RIOSSA, H-41, México), a 60°C durante 24 horas, después estas fueron reducidas con ayuda de un molino (KRUPS, F2034251, Alemania) a un tamaño de partícula ≤ 0.5 mm. El polvo de hojas de mango fue almacenado en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente hasta su uso.

B. Proceso de Extracción

El proceso de extracción se realizó de acuerdo a [11], se mezclaron 4 g de polvo de hoja de mango con 80 mL de etanol absoluto, las extracciones se realizaron a 1000 rpm en una parrilla de agitación (SP88854100 Thermo Scientific Digital, EE. UU.) se utilizaron diferentes tiempos (t) (10, 20 y 30 min) y temperaturas (T) (20, 40 y 60°C), finalmente la mezcla obtenida se centrifugó (SOLBAT, C-40, México) a 1350 x g durante 20 min, el sobrenadante se filtró y se almacenó a 4°C

en oscuridad hasta su uso. Todas las extracciones se realizaron por triplicado.

C. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial 3^2 (Tabla I) y se ajustó con un modelo de regresión cuadrática (Ecuación 1). Donde el t (x_1) y la T (x_2), representan las variables independientes y el CFT y la AA las variables respuesta (y). El coeficiente β_0 es la intersección del modelo, β_1 y β_2 son los coeficientes de los efectos lineales, β_{12} es el coeficiente de las interacciones de los efectos y β_{11} y β_{22} son los coeficientes de los efectos cuadráticos [12].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 \quad (1)$$

TABLA I
FACTORES Y NIVELES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Variables independientes	Niveles codificados		
	-1	0	1
Tiempo (min) (x_1)	10	20	30
Temperatura (°C) (x_2)	20	40	60

El método mencionado establece un modelo de superficie que evalúa las interacciones entre las variables para determinar la combinación óptima que maximice el resultado deseado. Se realizó un análisis de regresión para determinar los coeficientes de efectos lineales, cuadráticos y sus interacciones utilizando el software Statistica® 13.0. La calidad de los ajustes de los modelos obtenidos se cuantificó mediante el coeficiente de determinación (R^2). La significancia estadística de los coeficientes estimados fue evaluada a través de intervalos de confianza del 95%.

D. Cuantificación del Contenido de Compuestos Fenólicos Totales

El contenido fenólico total se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, reportado por [11]. En un matraz aforado de 10 mL, se mezclaron en el siguiente orden 100 μ L del extracto, 2 mL de agua desionizada y 200 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, F9252, EE. UU.). Después, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 3 min. A continuación, se añadió 1 mL de carbonato de sodio Anhidro (Golden Bell, 26240, México) al 20% a la mezcla, se agitó y se dejó reposar durante 60 min en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g masa seca (m.s). El análisis de cada tratamiento se realizó por triplicado.

E. Cuantificación de la Actividad Antioxidante (AA)

La AA se cuantificó mediante el ensayo ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico). La AA se cuantificó mediante la técnica descrita por [11]. Para ello, se diluyó el reactivo ABTS (Sigma-Aldrich, A1888, EE. UU.) en agua a una concentración de 7 mM. Posteriormente, se formó el radical ABTS^{•+} añadiendo una disolución 2.45 mM de persulfato potásico (MEYER, 1492, México) y dejándose en

incubación durante 18 horas a temperatura ambiente y en oscuridad. Una vez formado el radical ABTS⁺, éste se diluyó en etanol hasta obtener un valor de absorbancia 0.700 ± 0.100 a 734 nm. En seguida se realizaron las lecturas de las muestras, para lo cual se tomaron 100 μ L de extracto y se le agregaron 900 μ L de ABTS midiéndose la absorbancia a 734 nm. Se realizó una curva de calibración con un estándar de Trolox (Sigma-Aldrich, 238813, EE. UU.). Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de trolox (eq trolox)/100g m.s. Los análisis se realizaron por triplicado.

F. Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

La separación se realizó en una columna de 4 mm de diámetro y 250 mm de longitud (ThermoScientific, Hypersil ODSC18, Lituania) en un sistema HPLC (Agilent Technologies, 1260 Infinity, EE. UU.), equipado con muestreador automático (G1329B), una bomba cuaternaria integrada con desgasificador (G1311B), un compartimiento de columna con termostato (G1316A) y un detector de arreglo de diodos (DAD) (G4212B). Se obtuvieron curvas de calibración para los estándares ácido gálico (Sigma-Aldrich, G7384, EE. UU.) y ácido ascórbico (Sigma-Aldrich, A92902, EE. UU.) en un rango de 5 a 50 ppm, de acuerdo con las metodologías reportadas por [13, 14], con algunas modificaciones.

Para ambos análisis se utilizó elución isocrática, en el caso del ácido gálico la fase móvil que se utilizó fue acetonitrilo (A) y 0.1 % de ácido acético acuoso (B) (90% A:10% B), a 35°C, un volumen de inyección de 20 μ L, con un flujo de 1 mL/min, a 280 nm. La fase móvil utilizada para el ácido ascórbico, consistió en ácido sulfúrico en agua (0.01% v/v, pH=2.6) a 30°C, un flujo de elución de 1.2 mL/min, a 245 nm. En ambos análisis se utilizó un volumen de inyección de 20 μ L y un tiempo total de corrida de 10 min. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

III. RESULTADOS

A. Extracción de Compuestos Fenólicos

De acuerdo con la Tabla II, se pudo observar que el CFT se obtuvo en un rango de 1036.531 a 5028.293 mg GAE/100 g m.s., y en el caso de la AA el valor de esta se encontró en un rango de 50.737 a 51.878 mg eq trolox/100 g muestra seca.

Resultados similares fueron reportados por [15], quienes obtuvieron compuestos fenólicos de las hojas de mango utilizando como solvente etanol al 70% y determinaron un CFT en un rango de 1602 a 3229 mg GAE/100 g m.s. En [16] utilizaron extracción asistida por microondas y agua como disolvente para extraer los compuestos fitoquímicos y antioxidantes, el CFT cuantificado se encontró en un rango de 1105 a 4698 mg GAE/100 g m.s. La obtención de valores superiores del CFT a los reportados en otros estudios sugiere una mayor eficiencia del proceso de extracción. Las condiciones de extracción desempeñan un papel determinante en el rendimiento del proceso, ya que parámetros como el tipo de disolvente, la temperatura y el tiempo de extracción, influyen directamente en la difusión y solubilización de los compuestos bioactivos [17]. La combinación adecuada de estas variables

favorece la ruptura de las paredes de la matriz vegetal y mejora la transferencia de masa, lo que incrementa la liberación y recuperación de los compuestos fenólicos. Por otro lado, la solubilización de los compuestos fenólicos está también influenciada por la polaridad del disolvente empleado. En el caso de las hojas de mango, estas contienen mangiferina, flavonoides, benzofenonas, terpenos, fenólicos, alcaloides, saponinas, tanino, entre otros [3]. El etanol se clasifica como un disolvente polar-prótico debido a la presencia de grupos hidroxilo capaces de donar protones y formar enlaces de hidrógeno. Esta característica confiere afinidad por compuestos fenólicos, cuyos grupos funcionales hidroxilo y carboxilo presentan mayor solubilidad en disolventes polares, favoreciendo su extracción a partir de matrices vegetales [18].

Por otra parte, en [19] evaluaron la AA mediante el ensayo ABTS de extractos acuosos de hojas de mango obteniendo un valor de AA de 59.13 mg eq trolox/ 100 g m.s. La AA evaluada por el ensayo ABTS no depende solamente del CFT, si no de que compuestos específicos se extraen y su afinidad con el solvente y el radical ABTS. El radical ABTS puede solubilizarse tanto en medios acuosos como orgánicos es capaz de medir la AA de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílico. El ensayo ABTS se desarrolla en un medio acuoso o hidroalcohólico y se basa principalmente en un mecanismo de transferencia de electrones (SET), por lo que la solubilidad y accesibilidad de los compuestos en dicho medio influyen directamente en la reacción con el radical ABTS⁺ [20]. La AA de los extractos de etanol hojas de mango no está solamente en función de su CFT, también se encuentra posiblemente influenciada por compuestos fenólicos específicos presentes en el extracto [21, 22].

TABLA II
DISEÑO FACTORIAL (3²) UTILIZADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE HOJAS DE MANGO Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.

#	Factores		CFT (mg GAE/100 g m.s)	AA (mg eq trolox/100 g m.s)
	x ₁	x ₂		
1	-1	-1	1036.531 $\pm$ 17.186 ^a	51.875 $\pm$ 0.047 ^a
2	0	-1	1398.209 $\pm$ 56.513 ^b	51.876 $\pm$ 0.046 ^a
3	1	-1	1333.641 $\pm$ 138.122 ^b	51.799 $\pm$ 0.046 ^a
4	-1	0	1627.077 $\pm$ 134.324 ^a	51.722 $\pm$ 0.045 ^b
5	0	0	1402.120 $\pm$ 133.921 ^a	51.878 $\pm$ 0.045 ^b
6	1	0	1650.325 $\pm$ 251.768 ^a	51.385 $\pm$ 0.156 ^a
7	-1	1	1991.111 $\pm$ 160.463 ^a	50.866 $\pm$ 0.162 ^a
8	0	1	1983.419 $\pm$ 27.656 ^a	50.789 $\pm$ 0.368 ^a
9	1	1	5028.293 $\pm$ 124.909 ^b	50.737 $\pm$ 0.196 ^c

Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar (n=3). Letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$), entre tratamientos para ambas variables de respuesta.

B. Optimización del Proceso de Extracción

Las Fig. 1 y 3 muestran los gráficos de superficie de respuesta obtenidos para el CFT y AA de los extractos de hojas de mango, respectivamente. Los datos experimentales se

ajustaron al modelo de regresión cuadrática (Ec. 1) y se analizaron mediante ANOVA. El modelo de regresión para el CFT (Ec. 2) presentó un ajuste adecuado con respecto a los datos experimentales ($R^2=0.82$) (Fig. 2). De acuerdo con el ANOVA los efectos lineales del tiempo (x_1) y la temperatura (x_2), sus interacciones y los efectos cuadráticos fueron significativos ($p<0.05$) sobre el CFT. El signo positivo de los coeficientes lineales y cuadráticos indica que a una alta temperatura y tiempo de extracción un mayor CFT se obtendrá, así como también indican que existe un efecto sinérgico entre los efectos, lo que significa que su combinación potencia aún más la extracción de compuestos fenólicos.

Se determinó que las variables óptimas para lograr el máximo rendimiento en la extracción del contenido fenólico (4418.25 mg GAE/100 g m.s.) fueron a 60°C y 30 min de extracción.

$$y = 1215.383 + 559.965x_1 + 872.512x_2 + 685.175x_1x_2 + 516.685x_1^2 + 568.799x_2^2 \quad (2)$$

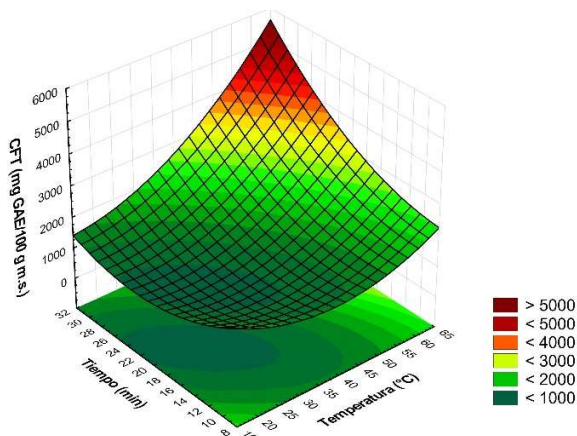


Fig. 1. Gráfico de superficie que muestra el efecto del tiempo y la temperatura en el CFT de extractos de etanol obtenidos de hojas de mango.

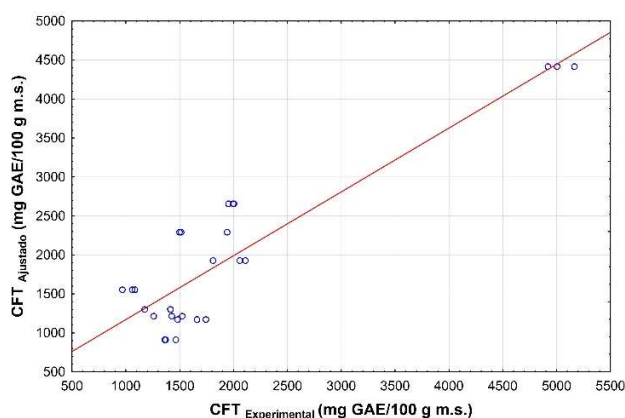


Fig. 2. Ajuste de los datos experimentales del CFT con los datos obtenidos del modelo de regresión cuadrática.

En el modelo de regresión cuadrática obtenido para la AA (Ec. 3), solamente los efectos lineales del tiempo (x_1) y el efecto lineal y cuadrático de la temperatura (x_2) fueron significativos ($p<0.05$) sobre la AA. Los coeficientes de los términos lineales

tuvieron signo negativo lo que indica que al aumentar el tiempo y temperatura de extracción la AA disminuye. Por otro lado, el signo negativo del coeficiente del término cuadrático indica que existe un umbral de temperatura máximo al cual se puede obtener una alta AA, por lo que superar este umbral resulta en una disminución de la AA.

El modelo de regresión obtenido para la AA (Ec. 3) presentó un ajuste adecuado con respecto a los datos experimentales obteniendo un valor de $R^2=0.90$ (Fig. 4).

$$y = 51.740 - 0.090x_1 - 0.527x_2 - 0.338x_2^2 \quad (3)$$

Las condiciones óptimas de extracción para una mayor AA fueron de 25 °C y 17 min (51.958 mg eq trolox/100 g m.s), de acuerdo con el modelo de regresión cuadrática obtenido.

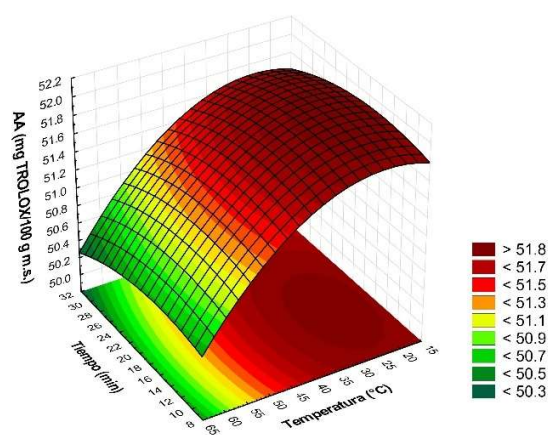


Fig. 3. Gráfico de superficie que muestra el efecto del tiempo y la temperatura en la AA de extractos de etanol obtenidos de hojas de mango.

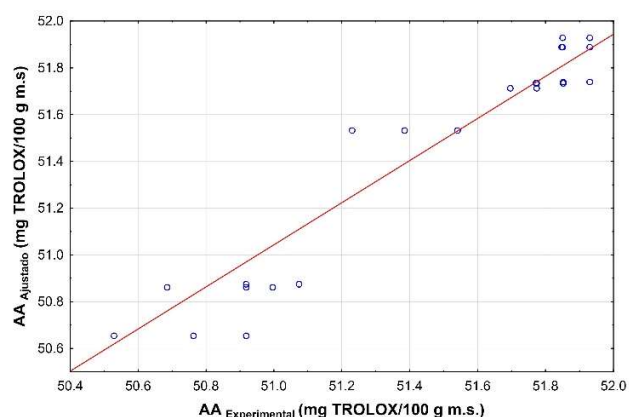


Fig. 4. Ajuste de los datos experimentales de la AA con los datos obtenidos del modelo de regresión cuadrática.

C. Identificación de Compuestos Fenólicos

Se ha reportado que el ácido gálico y ácido ascórbico son compuestos antioxidantes que se encuentran en distintas variedades de mango (fruto, cáscaras y hojas) [4, 6, 23, 24]. Los compuestos fenólicos, son un grupo de sustancias químicas las cuales desempeñan un papel importante en la protección celular

al neutralizar los radicales libres mediante la donación de electrones, transformándolos en formas estables. Este proceso previene el daño oxidativo asociado con enfermedades crónico-degenerativas. En las plantas, estos compuestos actúan como una defensa natural contra plagas y enfermedades [25]. En el presente estudio, se identificó y cuantificó el contenido de compuestos antioxidantes, específicamente ácido gálico y ácido ascórbico, mediante HPLC.

Las Fig. 5 y 6 muestran los cromatogramas obtenidos de los estándares ácido gálico y ácido ascórbico, respectivamente. El estándar del ácido gálico fue detectado a un tiempo de retención de 2.73 ± 0.03 min y el ácido ascórbico a 3.30 ± 0.08 min. La curva de calibración se realizó en un rango de concentraciones de 5 ppm a 50 ppm para cada uno de los estándares.

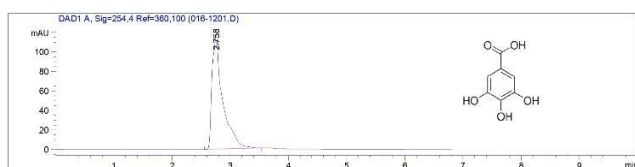


Fig. 5. Estructura molecular y cromatograma del estándar ácido gálico.

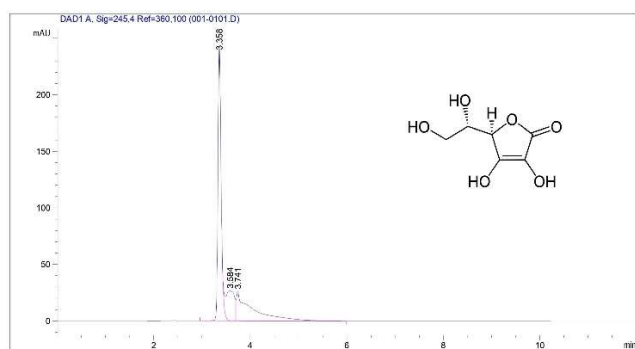


Fig. 6. Estructura molecular y cromatograma del estándar ácido ascórbico.

Con base al tiempo de retención de los estándares y los picos obtenidos se identificó si estos compuestos se encuentran en los extractos de hojas de mango. Los extractos utilizados para la identificación de estos compuestos fueron aquellos obtenidos del proceso de optimización (Tabla III). En la Fig. 7 se muestran los cromatogramas de los extractos de hojas de mango.

TABLA III

COMPUESTOS FENÓLICOS IDENTIFICADOS EN HOJAS DE MANGO EN LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE EXTRACCIÓN.

T(°C)	t (min)	Ácido gálico (mg/100 g m.s)	Ácido ascórbico (mg/100 g.ms)
25	17	1381.95 ± 336.72	3330.98 ± 1.83
60	30	3172.52 ± 148.44	3309.79 ± 9.30

Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar (n=3).

Se observó que en las condiciones de extracción de 60°C y 30 min se obtuvieron 2.3 veces más ácido gálico en comparación con las condiciones de 25°C y 17 min., por lo cual un aumento en la temperatura y el tiempo favoreció la extracción de este compuesto. En contraste, para el ácido ascórbico para ambas condiciones de extracción se cuantificó en promedio 3,319.5 mg ácido ascórbico/100 g m.s, lo que sugiere que este compuesto no se ve significativamente

afectado por las variables de extracción estudiadas. Por lo tanto, si el objetivo es maximizar la concentración de ácido gálico sin comprometer el contenido de ácido ascórbico, la condición de 60 °C y 30 min sería la más adecuada. Sin embargo, los resultados permiten inferir que la actividad antioxidante (AA) evaluada no depende directamente de la concentración de ácido gálico ni de ácido ascórbico, ya que la condición óptima para AA (25°C, 17 min) no presentó mayores concentraciones de estos compuestos en comparación con la condición de 60 °C y 30 min. Por lo tanto, sería necesario realizar ensayos adicionales de AA que permitan esclarecer el papel específico de los compuestos identificados en la contribución a esta actividad y determinar si otros metabolitos presentes en el extracto participan de manera significativa.

Se ha demostrado que el ácido gálico posee propiedades antibacterianas, anticancerígenas, antiinflamatorias, y antioxidantes [5], en tanto que el ácido ascórbico es uno de los aditivos más utilizados en cosméticos, productos farmacéuticos y alimentarios, debido a sus propiedades antioxidantes. El ácido ascórbico es un potente agente reductor, capaz de inhibir a generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), por lo cual juega un papel crucial en la regulación de los niveles de ROS y en la mejora de la eficacia de otros antioxidantes [26, 27].

La presencia del ácido gálico y del ácido ascórbico en los extractos de las hojas de mango muestra el gran potencial que tienen estos residuos para ser utilizados como ingredientes funcionales en alimentos o medicamentos.

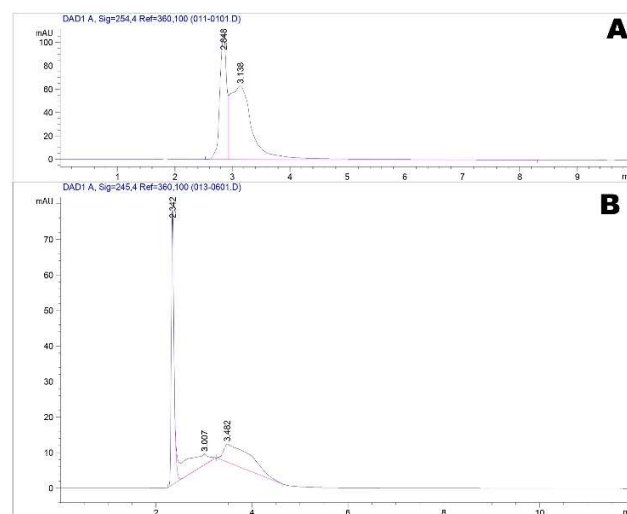


Fig. 7. Cromatogramas de los extractos de hoja de mango manila. (A) ácido gálico y (B) ácido ascórbico.

IV. CONCLUSIÓN

En el presente estudio se optimizó el proceso de extracción de compuestos bioactivos de hojas de mango considerando como variables de respuesta el contenido de CFT y la AA. La temperatura y el tiempo tuvieron un efecto positivo y sinérgico para el caso de CFT, pero no para la AA. Esto indica que el aumento gradual en ambas variables puede contribuir a la extracción de compuestos específicos. Las variables óptimas para lograr el máximo CFT (4418.25 mg GAE/100 g de m.s) fueron de 60°C y 30 min, mientras que para la AA (51.958 mg

eq trolox/100 g de m.s) fueron a 25°C y 17 min, evidenciando que las condiciones óptimas dependen del objetivo específico de la extracción. Esto quedó constatado mediante la identificación y cuantificación de ácido gálico (3172.52 ± 148.44 mg/100 g m.s) y ácido ascórbico (3309.79 ± 9.30 mg/100 g m.s) mediante HPLC. Los resultados confirman que la eficiencia del proceso de extracción depende de las condiciones de extracción, la naturaleza del disolvente y la estructura química de los compuestos presentes en las hojas de mango. Aunque el incremento de la temperatura y el tiempo favoreció la recuperación de ácido gálico, esto no se reflejó en un aumento proporcional de la AA, lo que indica que esta no depende exclusivamente del CFT ni de los compuestos identificados. Por lo tanto, la selección de las condiciones de extracción debe establecerse en función del objetivo específico del proceso, ya sea maximizar el rendimiento fenólico o potenciar la AA, además se necesita profundizar en la identificación de otros metabolitos que puedan contribuir de manera significativa a la AA del extracto. Los extractos de hojas de mango tienen potencial para su aplicación en alimentos funcionales, agentes herbicidas o antimicrobianos. No obstante, estas posibles aplicaciones requieren investigaciones adicionales que permitan validar su eficacia y seguridad, lo que además contribuiría a la valorización de las hojas de mango, un subproducto que comúnmente se considera un desecho.

REFERENCIAS

- [1] Shu, H., Jewel, Z. A., He, L., Wei, Q., Zhan, R., & Chang, S. (2024). Immune Responses of mango callus infected by *Agrobacterium tumefaciens* inhibited transformation. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(5006). <https://doi.org/10.3390/ijms26115006>
- [2] Samanta, S., Chanda, R., Ganguli, S., Reddy, A. G., & Banerjee, J. (2019). Anti-diabetic activity of mango (*Mangifera indica*): a review. *MOJ Bioequiv Availab*, 6(2), 23-26.
- [3] Mehmood, H., Mehmood, J., & Zulfikar, N. (2024). Exploring the phytochemistry and pharmacology of *Mangifera indica* L. (Mango) leaves: A review. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals*, 4(1), 9-18. <https://doi.org/10.29228/ijpbp.38>
- [4] Pan, J., Yi, X., Zhang, S., Cheng, J., Wang, Y., Liu, C., & He, X. (2018). Bioactive phenolics from mango leaves (*Mangifera indica* L.). *Industrial Crops and Products*, 111, 400-406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.057>
- [5] Kumar, M., Saurabh, V., Tomar, M., Hasan, M., Changan, S., Sasi, M., & Mekhemar, M. (2021). Mango (*Mangifera indica* L.) leaves: Nutritional composition, phytochemical profile, and health-promoting bioactivities. *Antioxidants*, 10(2), 299. <https://doi.org/10.3390/antiox10020299>
- [6] Kulkarni, V. M., & Rathod, V. K. (2018). Exploring the potential of *Mangifera indica* leaves extract versus mangiferin for therapeutic application. *Agriculture and Natural Resources*, 52(2), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.07.001>
- [7] Ganogpichayagrai, A., Palanuvej, C., & Ruangrunsi, N. (2017). Antidiabetic and anticancer activities of *Mangifera indica* cv. Okrong leaves. *Journal of advanced pharmaceutical technology & research*, 8(1), 19-24. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.197371>
- [8] Mirza, B., Croley, C. R., Ahmad, M., Pumarol, J., Das, N., Sethi, G., & Bishayee, A. (2021). Mango (*Mangifera indica* L.): a magnificent plant with cancer preventive and anticancer therapeutic potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(13), 2125-2151. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1771678>
- [9] Shi, F., Xie, L., Lin, Q., Tong, C., Fu, Q., Xu, J., ... & Shi, S. (2020). Profiling of tyrosinase inhibitors in mango leaves for a sustainable agro-industry. *Food chemistry*, 312, 126042.
- [10] Jiangsu Xinyi University. (1977). *Dictionary of Chinese Medicine* (Vol. 1). Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1040-1041.
- [11] Martínez-Ramos, T., Benedito-Fort, J., Watson, N. J., Ruiz-López, I. I., Che-Galicia, G., & Corona-Jiménez, E. (2020). Effect of solvent composition and its interaction with ultrasonic energy on the ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mango peels (*Mangifera indica* L.). *Food and Bioproducts Processing*, 122, 41-54. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.03.011>
- [12] Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- [13] Barrón-García, O. Y., Morales-Sánchez, E., Jiménez, A. R., Antunes-Ricardo, M., Luzardo-Ocampo, I., González-Jasso, E., & Gaytán-Martínez, M. (2022). Phenolic compounds profile and antioxidant capacity of 'Ataulfo' mango pulp processed by ohmic heating at moderate electric field strength. *Food Research International*, 154, 111032. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111032>
- [14] Rojas-Garbanzo, C., Winter, J., Montero, M. L., Zimmermann, B. F., & Schieber, A. (2019). Characterization of phytochemicals in Costa Rican guava (*Psidium friedrichsthalianum*-Nied.) fruit and stability of main compounds during juice processing-(U) HPLC-DAD-ESI-TQD-MSn. *Journal of Food Composition and Analysis*, 75, 26-42. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.012>
- [15] Wu, L., Wu, W., Cai, Y., Li, C., & Wang, L. (2020). HPLC fingerprinting-based multivariate analysis of phenolic compounds in mango leaves varieties: Correlation to their antioxidant activity and in silico α -glucosidase inhibitory ability. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 191, 113616. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113616>
- [16] Asri, N. S. M., Kasim, F. H., Sofian-Seng, N. S., & Kasim, K. F. (2023, September). A Comparative Study of the Phytochemicals and Antioxidant Activity of Pruned Harumanis Mango Leaves Using Microwave-Assisted Extraction. In *International Conference on Biomass Utilization and Sustainable Energy* (pp. 133-144). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [17] Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Guerrero-Beltrán, J. Á., Navarro-Cruz, A. R., Corona-Jiménez, E., & Ochoa-Velasco, C. E. (2015). Optimization of Antioxidant Compounds Extraction from Fruit By-Products: Apple Pomace, Orange and Banana Peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(1), 103-115. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12588>
- [18] Nouioura, G., El Fadili, M., El Barnossi, A., Loukili, E. H., Laaroussi, H., Bouhrim, M., & Derwich, E. H. (2024). Comprehensive analysis of different solvent extracts of *Ferula communis* L. fruit reveals phenolic compounds and their biological properties via in vitro and in silico assays. *Scientific Reports*, 14(1), 8325.
- [19] Medina-Saavedra, G. Y., Herrera-Corredor, J. A., Vargas-Rivera, Y., Sánchez-Valera, O. V., Cabal-Prieto, A., Prinyawiwatkul, W., & Ramón-Canul, L. G. (2021). Mango (*Mangifera indica* L.) leaf extracts as ingredient for the formulation of functional beverages with biological activity. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(7), 3322-3332. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14910>
- [20] Gulcin, İ. (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of toxicology*, 99(5), 1893-1997.
- [21] Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- [22] Işık, M., Dikici, E., Altın, S., Alp, C., Kirboğa, K. K., Köksal, E., & Beydemir, Ş. (2025). Phenolic content, antioxidant capacity, and therapeutic potential of mango (*Mangifera indica* L.) leaves. *Food Science & Nutrition*, 13(5), e70263.
- [23] Marciallo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., Molina, M., Balladares, K. A. H., & Ruales, J. (2024). UPLC-PDA Phenolic Compounds Profile of Mango Peel Extracts Obtained using Different Solvents and Ultrasound-Assisted Extraction. *Food Analytical Methods*, 17(10), 1466-1472. <https://doi.org/10.1007/s12161-024-02651-4>
- [24] Albrahim, J. S., El-Fakharany, E. M., El-Gendi, H., Saleh, A. K., & El-Maradny, Y. A. (2025). Therapeutic perspectives of *Mangifera indica* L. peel extract: phytochemical profile, antimicrobial, anticancer, and antiviral efficacy. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06483-4>
- [25] Slimani, C., Fadil, M., Rais, C., Ullah, R., Iqbal, Z., Santanatoglia, A., & Bouyahya, A. (2025). Optimization of phenolic compounds extraction and antioxidant activity from Moroccan *Crocus sativus* L. by-products using predictive modeling and Box-Behnken design. *Microchemical Journal*, 113444. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113444>

- [26] Mottola, M., Pérez, J. A. V., & Fanani, M. L. (2025). The role of biophysical properties in defining the functional applications of alkyl esters of L-ascorbic acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 151311. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2025.151311>.
- [27] Sekkout, Z., EL YOUNI, A. E. H., Boudaia, O., Radallah, D., & EL AMRANI, N. (2024). Phytochemistry and pharmacological activities of essential oils, flavonoids, and ascorbic acid in *Smyrniololus sativum* L.: A Comprehensive Review. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.ejmc.2024.100201>.