Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Extracción y caracterización parcial de polifenoles de cáscara, semilla y cotiledón de mango Ataulfo

Extraction and partial characterization of polyphenols from mango Ataulfo peels, seed, and kernel

González-Sosa, A.[a], Martínez-Ávila, G.C.G.[a], Medina-Herrera, N.[a], Tafolla-Arellano, J.C.[b], Rojas-Molina, R.[a*]

[a] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, 66054. Tel. (81) 1340 4399.
[b] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular, Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coah.
andres.gonzalezss@uanl.edu.mx; guillermo.martinezavil@uanl.edu.mx; jtafare@uaaan.edu.mx;
*romeo.rojasmln@uanl.edu.mx

Innovación tecnológica: aprovechamiento integral de mango.

Área de aplicación industrial: revalorización de residuos agroindustriales.

Recibido: 11 junio 2022
Aceptado: 14 noviembre 2022

Abstract

Mango processing residues (peels, kernel and seed) have little application because they are discarded or used as food feed. However, they have been reported to be potential sources of bioactive compounds. The peel has been the most studied, however, for the Ataulfo variety, the kernel and the seed have been little used, which is why it represents a viable alternative for its revaluation. Pectin recovery conditions were using a 1:40 weight/volume ratio and polyphenols using a 0.20 g/mL ratio. Proximal characterization was performed according to AOAC, antioxidant capacity, and FT-IR ATR in accordance with previous reports. The mango peel is the best source of polyphenols (58 mg/DM), being the polyphenols of the seed the ones with the highest antioxidant capacity (IC_{50} 98.18 ppm) and with the FT-IR ATR a reduction in the intensity of the absorbances (region 1610-1575, 1400-1300 and 1070-1020 cm^{-1}), this is attributed to the recovery of phenolic compounds and pectin from the residues. Therefore, the seed, the stone and the shells are a potential source of bioactive compounds that can have multiple applications.

Keywords: pectin, DPPH•, FT-IR, proximal analysis, Ataulfo.

Resumen

Los residuos del procesamiento de mango (cáscaras, cotiledón y semilla) tienen poca aplicación debido a que se descartan o son usados como piensos alimentarios. Sin embargo, se ha reportado que son fuente potencial de compuestos bioactivos. La cáscara ha sido el más estudiado, sin embargo, para la variedad Ataulfo el cotiledón y la semilla ha sido poco aprovechada por lo que representa una alternativa viable para su revalorización. Las condiciones de recuperación de pectina fueron usando una relación 1:40 peso/volumen y los polifenoles usando una relación 0.20 g/mL. La caracterización proximal se realizó de acuerdo con la AOAC, la capacidad antioxidante y FT-IR ATR de acuerdo con reportes previos. La cáscara de mango es la mejor fuente de polifenoles (58 mg/cáscara), siendo los polifenoles de la semilla los que tienen mayor capacidad antioxidante (IC_{50} 98.18 ppm), con el FT-IR ATR se observa una reducción en la intensidad de las absorbancias (región 1610-1575, 1400-1300 y 1070-1020 cm^{-1}), esto se atribuye a la recuperación de compuestos fenólicos y pectina de los residuos. Por ello, la semilla, el cotiledón y las cáscaras son fuente potencial de compuestos bioactivos que pueden tener múltiples aplicaciones.

Palabras clave: pectina, DPPH•, FT-IT, análisis proximal, Ataulfo.

I. Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas más populares a nivel mundial debido a sus propiedades sensoriales y organolépticas [1]. En 2018, México ocupó el sexto lugar en producción de mango con un estimado de 436 millones de dólares [2]. La variedad Ataulfo (*Mangifera caesia* Jack ex Wall) tiene su centro de origen en México, específicamente en una región costera de Chiapas denominada Soconusco. Dicha región delimitada le otorga la protección de denominación de origen la cual asegura que el producto cumple con especificaciones que lo hacen único [3]. Además, tiene altos volúmenes de producción con un 30.29% de la producción total [4].

Su procesamiento en jugos, néctares, mermeladas, etc. es una de las alternativas más comunes [5–8]. Sin embargo, genera una gran cantidad de desperdicios (cáscara, cotiledón y semilla) de los cuales la cáscara y el cotiledón representan el 24% y 40%, respectivamente [9]. Adicionalmente, el escaldado de la pulpa y/o los residuos es de suma importancia debido a la naturaleza del mango (climatérico) ya que sufre cambios enzimáticos provocando que se deteriore rápidamente [10]. La polifenol oxidasa (PPO), pectin metil esterasa (PME) y peroxidasa (POD) son las principales ya que POD participa parcialmente en reacciones de pardeamiento mediadas por peróxido de hidrógeno residual (H_2O_2) de los compuestos fenólicos oxidados por PPO [11]. Así mismo, la PME cataliza la esterificación dimetil la cual influye en las interacciones entre los componentes de la pared celular y modula la actividad de las hidrolasas de la pared celular, lo que hace que las pectinas sean más degradables por las enzimas pectinolíticas. Los anterior provoca el ablandamiento y modifica la viscosidad de los productos alimenticios [12].

Aunado a lo anterior, esto toma relevancia en otras variedades de mango ya que el cotiledón y la semilla son una fuente potencial de antioxidantes, almidón, y fibra dietética [13–15]. Sin embargo, existe poca información respecto al mango Ataulfo. Dichos

compuestos (antioxidantes, principalmente) tienen diversas aplicaciones que van desde capacidad antioxidante [16], antifúngica [9,17], antidiabética [18], antiinflamatoria [19], entre muchas otras. Actualmente existen diversas metodologías para la recuperación de dichos compuestos, sin embargo, son metodologías específicas y de un solo propósito. Actualmente, existe solo un reporte donde recuperan pectina y polifenoles en un solo proceso [9] pero solo se enfoca al aprovechamiento de las cáscaras. Por ello, en el presente estudio se presenta el aprovechamiento de los residuos de mango Ataulfo (cáscara, semilla y cotiledón) como fuente potencial de compuestos fenólicos, así como su caracterización parcial como punto de partida.

II. Materiales y equipos

Etanol (E5325-17) grado analítico usado para la extracción. Radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH•) (D9132-1G, Sigma-Aldrich Co®). La solución de radical DPPH fue preparada cada día que se usó, antes de cada determinación. Autoclave (All American, Modelo 25X), Estufa de secado (Riossa HCF-48), Molino (CGOLDENWALL 300g), Espectrómetro infrarrojo (Agilent Cary 600).

III. Métodos experimentales

Preparación de materia prima

Un lote de 25 kg de mango Ataúlfo fue adquirido en la Central de Abastos San Nicolas de Los Garza, Monterrey, Nuevo León, México. Después fueron tratados de acuerdo con lo reportado por Rojas *et al*. [9] donde la cáscara se removió usando un cuchillo de acero inoxidable. Una vez obtenida la cáscara, se retiró la pulpa del mango para obtener la semilla. Ambos subproductos se escaldaron con vapor de agua a 105 ºC/15 min para inactivar enzimas. Las cáscaras y las semillas de mango se secaron en un horno con aire a 60 °C/24 h, o hasta una pérdida de peso del 80%. Después, la semilla seca se dividió en cotiledón y semilla. Se obtuvieron tres productos, cáscara, cotiledón y semilla; los cuales fueron molidas por separado. Se obtuvo un polvo fino por cada muestra molida y se almacenaron en bolsas de polietileno a una temperatura ambiente hasta su uso.

Extracción de polifenoles totales y pectina

El método utilizado fue establecido por Rojas *et al*. [9] con algunas modificaciones para polifenoles totales de la cubierta de semilla (PTC) y de las semillas (PTS). Las muestras deshidratadas y pulverizadas se colocaron en un vaso de precipitado en una proporción de 0.20 g/mL y se calentó a 60 °C/30 min [20]. Para extraer polifenoles totales y pectina de las cáscaras de mango (PTCM) se utilizó la metodología establecida por Contreras-Esquivel *et al*. [21]. La muestra deshidratada y pulverizada se hidrató con agua destilada en un matraz Erlenmeyer en una relación 1:40 (g/mL) la cual se calentó a 121 °C/20 min en una autoclave. Posteriormente, los extractos obtenidos se centrifugaron a 4000 rpm/30 min para eliminar las partículas de agua insolubles [22]. Para recuperar la pectina del sobrenadante obtenido de la cáscara de mango, se precipitó con alcohol absoluto en una relación 1:2 v/v. La pectina precipitada se separó del sobrenadante y ambos se calentaron a 50 °C/24 h para eliminar el agua destilada/alcohol absoluto residual; la pectina seca se recuperó como una masa sólida, la cual se trituró manualmente en un mortero y se almacenó en una botella ámbar a temperatura ambiente.

Después, el sobrenadante deshidratado de cáscara se re-suspendió en agua destilada (1:100 g/mL) y se realizó una cromatografía en columna utilizando Amberlita XAD-16. Primero, se usó agua como eluyente para descartar compuestos indeseables, y luego, se empleó alcohol absoluto como eluyente para

obtener los polifenoles totales. El etanol absoluto residual se eliminó colocando la fracción etanólica en placas Petri de vidrio a 60 °C/24 h; los polifenoles se recuperaron como un polvo fino y se almacenaron en un frasco ámbar a -20 °C hasta su uso [23]. El rendimiento se determinó gravimétricamente.

Análisis proximal

Para las muestras de cotiledón y semilla se determinó cenizas y grasa (942.05), fibra soluble e insoluble por los métodos enzimáticos gravimétricos (991.43) de acuerdo con lo establecido por la Association of Official Agricultural Chemists [24], el contenido de proteína bruta (PB) por titulación [25]. Los carbohidratos totales fueron obtenidos por la siguiente Ec. (1):

$$Ct = 100 - \%\, proteína + \%\, extracto\ etéreo + \%\, cenizas \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

Espectroscopía infrarroja

Las muestras fueron analizadas usando un espectrómetro infrarrojo en modo de reflectancia total atenuada (ATR) con un accesorio de cristal de platino en el rango de número de onda: 4000-650 cm^{-1} usando 32 escaneos a una resolución de 4 cm^{-1}. Antes del análisis, se registró un espectro de fondo de rayo abierto como un blanco.

Actividad antioxidante

Ensayo de actividad antioxidante por DPPH•

El método se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Philip [26]. Primero, se añadieron 193 µL de solución DPPH• (60 µM) a 7 µL de cada muestra en una microplaca. La microplaca se colocó en la oscuridad y después de 30 min se leyó la absorbancia (Abs) a 517 nm. Los controles contenían 7 µL de agua destilada. Las concentraciones evaluadas serán 0, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm de polifenoles en agua destilada para determinar la cantidad de compuestos fenólicos necesarios para inhibir el radical DPPH• en un 50% (IC_{50}). La capacidad de captación de radicales de los extractos se calculó usando la siguiente Ec. (2) y se expresó como el porcentaje de inhibición de DPPH•.

$$Inhibición\ (\%) = \frac{[(Abscontrol - Absmuestra)]}{Abscontrol} x\ 100 \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron como un diseño completamente al azar con el software Minitab (versión 17), mediante análisis de varianza. Se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

IV. Discusión de resultados

Extracción de polifenoles totales y pectina

El rendimiento de polifenoles totales y pectina de semilla y cubierta se encuentran en la Tabla 1. El mango es una de las frutas de mayor distribución en el mundo. Se recuperó una mayor cantidad de polifenoles totales a partir de la cáscara seca (5.8%), seguido por la semilla seca (1.6%). Así mismo, diversos autores reportan contenido de polifenoles que va desde 9.18 a 91.21 mg/g de cáscara en 12 diferentes variedades de mango [27]. Para pectina otros autores han reportado valores de 9.38 g/g de cáscara seca de mango Ataulfo, así como valores de polifenoles totales de 72.61 mg/g cáscara seca [9]. Las variaciones en el contenido de polifenoles totales pueden deberse a las condiciones de cultivo y madurez del producto [28].

Tabla 1. Rendimiento de los polifenoles totales presentes en los subproductos del mango deshidratado y en rendimiento de pectina presente en la cáscara de mango (*Mangifera indica* var. Ataulfo)

Muestra	Rendimiento de polifenoles (mg/g MS)	Pectina (g/g 100 MS)
Cáscara de mango	58.0 ± 4.2^{a}	14.4 ± 1.4
Semilla de mango	15.8 ± 1.9^{b}	NA
Cotiledón de mango	8.3 ± 1.0^{c}	NA

Análisis proximal

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 2, se observa que el cotiledón y la semilla de mango Ataulfo tienen valores similares en su composición. Sin embargo, la semilla contiene mayor concentración de proteínas, mientras el cotiledón contiene mayor cantidad de carbohidratos. Otros autores han obtenido diferentes porcentajes de composición al analizar el cotiledón y la semilla de diferentes variedades de mango y de diferentes países de origen. Kaur *et al*. y Mutua *et al*. [29,30] reportaron valores similares en los macronutrientes analizados en la semilla de mango deshidrato de origen indio y keniano; reportaron un promedio de 2.64 – 3.71% en cenizas, 6.8 – 9.2% en proteína cruda, 9.84 – 13.0% en grasas, 1.78 – 2.89% en fibra cruda y 72.86 –76.81% de carbohidratos totales. Makris y Sahin [31] analizaron mango de origen etiopio donde reportaron un promedio de 2 –3.5% en cenizas, 4.95 –7.36% en proteína cruda, 2.32 – 4.86% en fibra cruda, 12.46 –18.67% en grasas y 65.95 –72.55% en carbohidratos.

Tabla 2. Análisis químico proximal de cotiledón y semilla del mango deshidratado (*Mangifera indica* var. Ataulfo).

Composición	Cotiledón (%)	Semilla (%)
Cenizas	1.57 ± 0.21^{a}	1.67 ± 0.49^{a}
Proteína	0.47 ± 0.06^{a}	1.04 ± 0.04^{b}
Grasas	2.53 ± 1.92^{a}	3.48 ± 0.80^{a}
Fibra cruda	3.53 ± 1.60^{a}	2.95 ± 0.09^{a}
Carbohidratos totales	91.90 ± 0.29^{a}	90.86 ± 0.47^{b}

Los valores del proximal del cotiledón y la semilla de mango observados en el presente estudio y literatura muestran una variabilidad. Sin embargo, el componente mayoritario son los carbohidratos, el cual se mantiene en la misma tendencia. Esta variabilidad se debe principalmente a que la composición nutricional depende de factores como la variedad del fruto, su madurez, localidad de cosecha, condiciones climáticas, el manejo postcosecha y el procesamiento industrial [32].

Espectroscopía infrarroja

Se realizó un análisis de FT-IR ATR para identificar los principales grupos funcionales presentes en los subproductos del mango Ataulfo. La Fig. 1 muestra los resultados de la espectroscopia FT-IR del cotiledón antes de la extracción (CSM) y después de la extracción (CSMSP). A primera instancia se puede observar que ambas lecturas siguen el mismo patrón, sin embargo, la absorbancia es menor en la muestra CSMSP. Se pueden observar bandas que son características de la presencia de ciertos grupos funcionales que se encuentran en los fragmentos de lignina y hemicelulosa; como en la región 1610 – 575 cm^{-1} que está asociada al grupo funcional de anillos aromáticos C=C y a la región 1400 – 1300 cm^{-1} que está asociada al grupo funcional de compuestos fenólicos OH [33]. Además, en la región 1070 – 1020 cm^{-1} se encuentra el pico con mayor absorbancia en cual pudiera corresponder a enlaces C-O de grupo alcohol y ácidos carboxílicos [34].

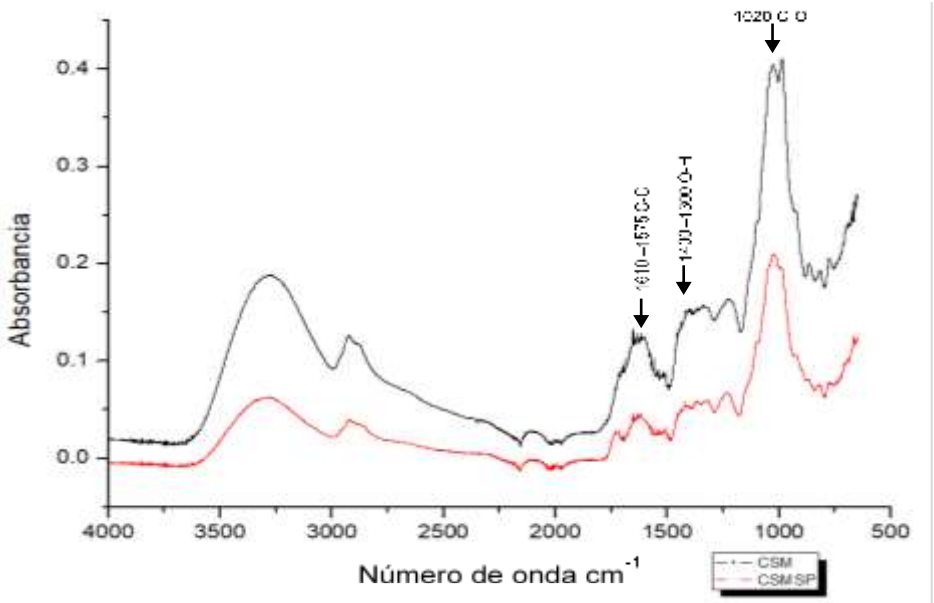


Figura 1. Comparativa de caracterizaciones de FT-IR ATR del cotiledón del mango antes de la extracción (CSM) y después de la extracción (CSMSP).

La Fig. 2 muestra los resultados de la espectroscopia FT-IR de la semilla del mango antes de la extracción (SPP) y después de la extracción (SSP). Se detectaron los mismos picos de absorbancia que las muestras de cotiledón, sin embargo, hay una mayor intensidad en los picos de la región 1600-1200 cm^{-1}. Por otro lado, en la Fig. 3 se muestran los resultados de la espectroscopia FT-IR ATR de la cáscara del mango antes de la extracción (CM) y después de la extracción (CMSPP). A primera instancia se puede observar que ambas lecturas siguen el mismo patrón y se asemejan a las lecturas de semilla y cotiledón. No obstante, se puede observar un pico en el número de onda 1300 cm^{-1}. Dicho pico pudiera corresponder a enlaces de grupo carboxilo, lo cuales corresponden a la posible presencia de pectina [34].

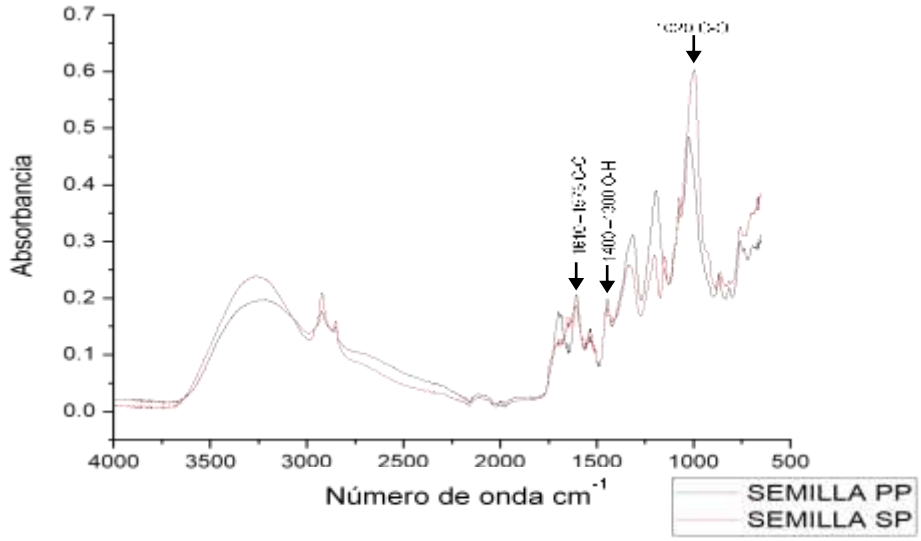


Figura 2. Comparativa de caracterizaciones de FT-IR ATR de la semilla del mango antes de la extracción (SEMILLA PP) y después de la extracción (SEMILLA SP).

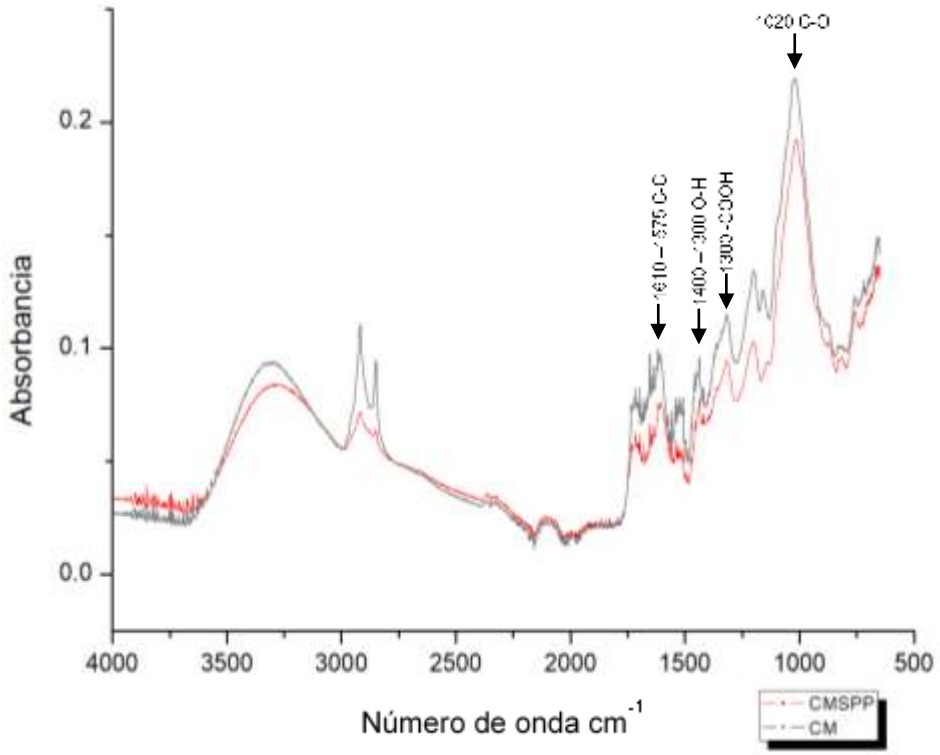


Figura 3. Comparativa de caracterizaciones de FT-IR ATR de la cáscara de mango antes de la extracción (CM) y después de la extracción (CMSPP).

Con base a la literatura, la espectroscopia FT-IR ATR se pudiera utilizar como un método para cuantificar o predecir el contenido de compuestos bioquímicos. Anjos *et al*. [35] propusieron una metodología para predecir el contenido de azucares en muestras de miel utilizando en mayor medida las intensidades de absorbancias en la región 1500 a 750 cm^{-1}. Obtuvieron un modelo de calibración r^2 86.60 con una desviación de predicción residual de 2.6 para fructosa y glucosa. Por lo anterior, es probable que se pueda ajustar un modelo específico para la cuantificación de polifenoles y pectina en base a las absorbancias en regiones específicas.

Actividad antioxidante

El IC_{50} es la cantidad de antioxidantes necesarios para inhibir en un 50% los radicales libres presentes en la solución, en decir, mientras menos concentración de antioxidantes sea necesaria para inhibir los radicales indica mayor potencial antioxidante. Los valores obtenidos se presentaron en IC_{50} y se presentan en la Tabla 3. Los polifenoles totales presentes en la semilla de mango fueron los que mayor actividad de inhibición presentaron, mientras que el cotiledón presenta una actividad aproximadamente de 15 veces menor que la semilla y cáscara. Rojas *et al*. [9] reportaron valores de IC_{50} entre 60 y 80 ppm de PT provenientes de la cáscara de mango Ataulfo utilizando la misma metodología de extracción de polifenoles y pectina. Estos valores tuvieron mayor actividad antioxidante que los resultados obtenidos. Por otro lado, Badee *et al*. [36] reportaron valores de inhibición ≈50 ppm (IC_{50}) de PT provenientes semilla de mango Zebdia. Estos valores son mayores de los obtenidos en el presente trabajo (IC_{50} 98.18 ppm).

Tabla 3. Concentración mínima de inhibición (IC50) de polifenoles totales de los extractos de los subproductos del mango (*Mangifera indica* var. Ataulfo).

Muestra	DPPH (IC_{50}), ppm de PT
Cáscara de mango	111.18 ± 4.84^{b}
Semilla de mango	98.18 ± 4.91^{a}
Cubierta de semilla de mango	1523.23 ± 68.89^{c}

V. Conclusión

Los resultados obtenidos en el análisis FT-IR ATR muestran la posible presencia de metabolitos (polifenoles y pectina), así como una posible disminución en las absorbancias por la extracción de estos (región 1610-1575, 1400-1300 y 1070-1020 cm^{-1}). La cáscara es la mejor fuente de compuestos fenólicos (58 mg/g MS), así como fuente de pectina. Sin embargo, los compuestos fenólicos de la semilla es la que presenta mayor capacidad antioxidante (IC_{50} 98.18 ppm) por lo que las investigaciones deben dirigirse a la identificación de los polifenoles totales, así como su uso de los polifenoles totales como aditivos antioxidantes y antifúngicos naturales en los suplementos alimentarios.

VI. Agradecimientos

Al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal por el financiamiento otorgado a través del proyecto B-S-65769.

Bibliografía

1. Barrón-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., & Morales-Sánchez, E. (2021). "Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes". *LWT*, *143*, 111113. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111113

2. *FAOSTAT*. (n.d.). Retrieved May 25, 2022, from https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

3. NOM-188-SCFI. (2012, November 29). *Mango Ataulfo del Soconusco, Chiapas (Mangifera caesia Jack ex Wall)- Especificaciones y métodos de prueba.* http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280541&fecha=29/11/2012#gsc.tab=0

4. SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

5. Lozano, E., Salcedo, J., & Andrade, R. (2020). "Evaluation of yam (*Dioscorea rotundata*) mucilage as a stabilizer in the production of mango néctar". *Heliyon*, *6*(6). https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04359

6. Huang, B., Zhao, K., Zhang, Z., Liu, F., Hu, H., & Pan, S. (2018). "Changes on the rheological properties of pectin-enriched mango nectar by high intensity ultrasound". *LWT - Food Science and Technology*, *91*, 414–422. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.01.062

7. Ke, Y., Dai, T., Xiao, M., Chen, M., Liang, R., Liu, W., Liu, C., Chen, J., & Deng, L. (2022). "Industry-scale microfluidizer system produced whole mango juice: Effect on the physical properties, microstructure and pectin properties". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *75*. https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102887

8. Bekele, M., Satheesh, N., & J.A, S. (2020). "Screening of Ethiopian mango cultivars for suitability for preparing jam and determination of pectin, sugar, and acid effects on physico-chemical and sensory properties of mango jam". *Scientific African*, *7*. https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2020.E00277

9. Rojas, R., Alvarez-Pérez, O. B., Contreras-Esquivel, J. C., Vicente, A., Flores, A., Sandoval, J., & Aguilar, C. N. (2020). "Valorisation of Mango Peels: Extraction of Pectin and Antioxidant and Antifungal Polyphenols". *Waste and Biomass Valorization*, *1*(11), 89–98.

10. Marques Silva, F. V., & Sulaiman, A. (2019). "Polyphenoloxidase in Fruit and Vegetables: Inactivation by Thermal and Non-thermal Processes". *Encyclopedia of Food Chemistry*, 287–301. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21636-3

11. Chakraborty, S., Kaushik, N., Rao, P. S., & Mishra, H. N. (2014). "High-Pressure Inactivation of Enzymes: A Review on Its Recent Applications on Fruit Purees and Juices". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(4), 578–596. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12071

12. Hu, K., Dars, A. G., Liu, Q., Xie, B., & Sun, Z. (2018). "Phytochemical profiling of the ripening of Chinese mango (*Mangifera indica* L.) cultivars by real-time monitoring using UPLC-ESI-QTOF-MS and its potential benefits as prebiotic ingredients". *Food Chemistry*, *256*, 171–180. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.02.014

13. Punia Bangar, S., Kumar, M., & Whiteside, W. S. (2021). "Mango seed starch: A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements". *International Journal of Biological Macromolecules*, *183*, 1807–1817. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.05.157

14. Patiño-Rodríguez, O., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., & Pacheco-Vargas, G. (2020). "Pulp and peel of unripe stenospermocarpic mango (*Mangifera indica* L. cv Ataulfo) as an alternative source of starch, polyphenols and dietary fibre". *Food Research International*, *138*. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109719

15. Lanjekar, K. J., Gokhale, S., & Rathod, V. K. (2022). "Utilization of waste mango peels for extraction of polyphenolic antioxidants by ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent". *Bioresource Technology Reports*, *18*, 101074. https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101074

16. Lanjekar, K. J., Gokhale, S., & Rathod, V. K. (2022). "Utilization of waste mango peels for extraction of polyphenolic antioxidants by ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent". *Bioresource Technology Reports*, *18*, 101074. https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101074

17. Engels, C., Knödler, M., Zhao, Y. Y., Carle, R., Gänzle, M. G., & Schieber, A. (2009). "Antimicrobial Activity of Gallotannins Isolated from Mango (*Mangifera indica* L.) Kernels". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

57(17), 7712–7718. https://doi.org/10.1021/JF901621M

18. Ren, Y., Himmeldirk, K., & Chen, X. (2006). "Synthesis and structure-activity relationship study of antidiabetic penta-O-galloyl-D-glucopyranose and its analogues". *Journal of Medicinal Chemistry*, *49*(9), 2829–2837. https://doi.org/10.1021/JM060087K/SUPPL_FILE/JM060087KSI20060310_094101.PDF

19. Kang, D. G., Moon, M. K., Choi, D. H., Lee, J. K., Kwon, T. O., & Lee, H. S. (2005). "Vasodilatory and anti-inflammatory effects of the 1,2,3,4,6-penta-O-galloyl-β-d-glucose (PGG) via a nitric oxide–cGMP pathway". *European Journal of Pharmacology*, *524*(1–3), 111–119. https://doi.org/10.1016/J.EJPHAR.2005.08.061

20. Ascacio-Valdés, J. A., Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J. L., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2010). "Euphorbia antisyphilitica residues as a new source of ellagic acid". *Chemical Papers*, *64*(4), 528–532.

21. Contreras-Esquivel, J. C., Espinoza-Pérez, J. D., Montanez, J. C., Charles-Rodriguez, A. v, Renovato, J., Aguilar, C. N., Rodríguez-Herrera, R., Wicker, L., Juan, C. C.-E., Judith, D. E.-P., Julio, C. M., Ana, V. C.-R., Jacqueline, R., Cristóbal, N. A., Raúl, R.-H., Louise, W., Contreras-Esquivel Juan, C., Espinoza-Pérez Judith, D., Montanez Julio, C., … Wicker, L. (2006). "Extraction and Characterization of Pectin from Novel Sources". In *Advances in Biopolymers* (Vol. 935, Issue 935, pp. 215–229). American Chemical Society. https://doi.org/doi:10.1021/bk-2006-0935.ch014 10.1021/bk-2006-0935.ch014

22. Seeram, N., Lee, R., Hardy, M., & Heber, D. (2005). "Rapid large scale purification of ellagitannins from pomegranate husk, a by-product of the commercial juice industry". *Separation and Purification Technology*, *41*(1), 49–55. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2004.04.003

23. Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Boone, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., & Martínez-Ávila, G. (2018). "UPLC-ESI-QTOF-MS2-Based Identification and Antioxidant Activity Assessment of Phenolic Compounds from Red Corn Cob (*Zea mays* L.)". *Molecules 2018, Vol. 23, Page 1425*, *23*(6), 1425. https://doi.org/10.3390/MOLECULES23061425

24. AOAC. (1984). Official methods of analysis (14th Ed.). In A. of O. A. Chemists. (Ed.), *Official methods of analysis (14th Ed.)*.

25. Kjeldahl, J. (1883). "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern". *Zeitschrift Für Analytische Chemie 1883 22:1*, *22*(1), 366–382. https://doi.org/10.1007/BF01338151

26. Philip, M. (2004). "The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity". *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *26*(2), 211–219.

27. Barreto, J. C., Trevisan, M. T. S., Hull, W. E., Erben, G., de Brito, E. S., Pfundstein, B., Würtele, G., Spiegelhalder, B., &

Owen, R. W. (2008). "Characterization and Quantitation of Polyphenolic Compounds in Bark, Kernel, Leaves, and Peel of Mango (*Mangifera indica* L.)". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(14), 5599–5610. https://doi.org/10.1021/JF800738R

28. Castro-Vargas, H. I., Vivas, D. B., Barbosa, J. O., Medina, S. J. M., Gutiérrez, F. A., & Parada-Alfonso, F. (2019). "Bioactive Phenolic Compounds from the Agroindustrial Waste of Colombian Mango Cultivars 'Sugar Mango' and 'Tommy Atkins'—An Alternative for Their Use and Valorization". *Antioxidants 2019, Vol. 8, Page 41*, *8*(2), 41. https://doi.org/10.3390/ANTIOX8020041

29. Kaur, A., Brar, J. K., & Journal, R. (2017). "Use of mango seed kernels for the development of antioxidant rich health foods FOOD SCIENCE". *Food Sci. Res. J*, *8*(2), 368–374. https://doi.org/10.15740/HAS/FSRJ/8.2/368-374

30. Mutua, J. K., Imathiu, S., & Owino, W. (2017). "Evaluation of the proximate composition, antioxidant potential, and antimicrobial activity of mango seed kernel extracts". *Food Science & Nutrition*, *5*(2), 349–357. https://doi.org/10.1002/FSN3.399

31. Polyphenolic Antioxidants from Agri-Food Waste Biomass. (2020). *Polyphenolic Antioxidants from Agri-Food Waste Biomass*. https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-03928-675-1

32. Lebaka, V. R., Wee, Y. J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). "Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit". *International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 741*, *18*(2), 741. https://doi.org/10.3390/IJERPH18020741

33. Andrade, L. A., Barrozo, M. A. S., & Vieira, L. G. M. (2016). "Thermo-chemical behavior and product formation during pyrolysis of mango seed Shell". *Industrial Crops and Products*, *85*, 174–180. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.03.004

34. Eitex, T. T. (2017). *Valorisation of Mango Fruit By-products: Physicochemical Characterisation and Future Prospect*. *50*. www.iiste.org

35. Anjos, O., Campos, M. G., Ruiz, P. C., & Antunes, P. (2015). "Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey". *Food Chemistry*, *169*, 218–223. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.07.138

36. Badee, A., Moawad, R., ElNoketi, M., & Gouda, M. (2020). *Bioactive substances, antibacterial and antioxidant activities of mango kernel, olive and coriander leaves | Semantic Scholar*. https://www.semanticscholar.org/paper/BIOACTIVE-SUBSTANCES%2C-ANTIBACTERIAL-AND-ANTIOXIDANT-Badee-Moawad/0c5704b16903b2f5484a53bd726837ffb0c351d9