

© 2020 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 23: 1-10, 2020.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.274>

Caracterización del polvo y pectina del pericarpio del mango (*Mangifera indica* L.) ‘Ataulfo’ maduro y análisis FODA para su procesamiento

César San Martín-Hernández¹, Verónica Pérez-Rubio²,
María Dolores Muy-Rangel², Manuel Alejandro Vargas-Ortiz^{3a}
y Eber Addí Quintana-Obregón^{3b*}

¹Posgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco 56264, Edo. de México, México. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Culiacán 80110, Sinaloa, México, ^{3a}Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., (CONACYT-CIAD) ^{3b}Laboratorio de calidad, autenticidad y trazabilidad de los alimentos, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas # 46 Col. La Victoria, Hermosillo 83304, Sonora, México.
E-mail: *eber.quintana@ciad.mx; eberaddi@gmail.com Orcid-0000-0002-9973-6290

RESUMEN

La industrialización del mango genera subproductos con potencial para reprocesarse y comercializarse. En este estudio, se obtuvo del mango ‘Ataulfo’ maduro la pectina del polvo del pericarpio, que se evaluó con un análisis FODA (Fortalezas-Oportunidades, Debilidades-Amenazas) la propuesta de valor agregado de extracción de pectina. El pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro, fue deshidratado, molido y presentó las siguientes características: contenido de $34.36 \pm 1.67\%$ de fibra soluble, $22.86 \pm 0.03\%$ de fibra insoluble, 0.39 ± 0.01 de actividad de agua y 38.72 ± 0.8 grados de ángulo de reposo. El rendimiento de la pectina con respecto al polvo de pericarpio fue de $5.40 \pm 1\%$, con 94.27 ± 8.7 kDa en peso molecular, $6.35 \pm 0.63\%$ de grupos metoxilo y $46.07 \pm 0.87\%$ de esterificación. El espectro en infrarrojo de la pectina de mango ‘Ataulfo’ maduro fue similar al espectro de las pectinas de subproductos de cítricos comerciales. El pericarpio deshidratado del mango ‘Ataulfo’ maduro, puede ser utilizado en la elaboración de fórmulas alimenticias y la pectina en la industria de productos deshidratados de mango como valor agregado.

Palabras clave: mango, polvos, pectina, ‘Ataulfo’, FODA.

Characterization of powder and pectin of mango pericarp (*Mangifera indica* L.) ripe ‘Ataulfo’ and SWOT analysis of its processing

ABSTRACT

The mango industrialization generates byproducts to have a great potential to be reprocessed and sold. In this study, pericarp and pectin powder from a ripe ‘Ataulfo’ mango were characterized, additionally a proposal to extract pectin was analyzed according to the SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats) matrix. The ‘Ataulfo’ mango pericarp was dehydrated and ground; the main characteristics of pericarp powder includes $34.36 \pm 1.67\%$ soluble fiber, $22.86 \pm 0.03\%$ insoluble fiber, 0.39 ± 0.01 water activity, and 38.72 ± 0.8 degrees of rest angle. Pectin yield, regarding to the pericarp powder was $5.40 \pm 1\%$, with 94.27 ± 8.7 kDa in molecular weight, $6.35 \pm 0.63\%$ of methoxyl groups, and $46.07 \pm 0.87\%$ of esterification. The infrared spectrum obtained from ripe ‘Ataulfo’ mango pectin was similar to the spectrum of commercial pectins from citrus byproducts. The dehydrated pericarp of ‘Ataulfo’ mango can be used in food formulations and for obtaining pectin as a value-adding alternative in the dehydrated mango products industry.

Keywords: mango, powders, pectin, ‘Ataulfo’, SWOT.

INTRODUCCIÓN

El fruto del mango (*Mangifera indica* L.) se consume a nivel mundial y es conocido como el Rey de las frutas por sus propiedades sensoriales y nutritivas (Poul, Bornare & Babar, 2019). Además de comestible como fruto fresco, diversos productos alimenticios se han desarrollado a partir de su procesamiento industrial. La industrialización del mango en México oscila del 13 al 16% de la producción, cantidad que se emplea en la elaboración de jugos y néctares, mango congelado, mango deshidratado, purés, conservas y mango mínimamente procesado (Larios-Medrano, Campos-Serrano, Padilla-Sahagún & Villanueva-Rodríguez, 2016). Las principales operaciones unitarias, se enfocan a la obtención de pulpa para consumo del fruto mínimamente procesado (Robles-Sánchez *et al.*, 2007). En estos procesos, se obtienen desechos o subproductos que generan costos de manejo (Puligundla, Obulam, Oh & Mok, 2014), además de problemas de contaminación al ambiente (Sumaya-Martínez, Sánchez-Herrera, Torres-García & García-Paredes, 2012). En algunos casos, estos subproductos se utilizan para alimentación animal (Rojas *et al.*, 2015). Sin embargo, pueden reprocesarse y comercializarse como materia prima, y usarse como aditivos o compuestos bioactivos de valor agregado. Dependiendo del cultivar esta biomasa representa del 35 al 36% de la masa total del fruto, compuesta principalmente por endocarpio (cotiledón y sección fibrosa), mesocarpio (pulpa) y pericarpio (cáscara o piel) (Sultana & Ashraf, 2019; Ediriweera, Tennekoon & Samarakoon, 2017). El pericarpio constituye del 12 al 15% de la masa total del fruto (Davara, Dabhi, Rathod & Bhatu, 2017). Además de los subproductos que se pueden obtener del mango industrializado, se encuentra el mango de rezaga. En México, se han observado tendencias al incremento del mango de rezaga, que no es aceptado por su color, tamaño y defectos para la venta en fresco (SAGARPA & UPSZ, 2015).

El pericarpio del mango está constituido de grasas, fibra, proteína, fenoles, azúcares, minerales y sustancias pectinadas (Quintana-Obregón, San Martín-Hernández, Muy-Rangel & Vargas-Ortiz, 2019; Puligundla, Obulam, Oh & Mok, 2014) y representa una opción en la extracción de pectina a las procedentes de manzanas y cítricos (Davara, Dabhi, Rathod & Bhatu, 2017; Rojas *et al.*, 2015). La pectina, es un polisacárido con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica como agente estabilizante, gelificante, vehículo de probióticos, potencial prebiótico y agente encapsulante, entre otros (Naqash, Massodi, Rather, Wani & Gani, 2017), lo que evidencia el potencial económico del polisacárido.

En México, el mango 'Ataulfo', representa el cultivar de mayor importancia económica con alrededor de 63,000 toneladas anuales (SIAP, 2019), es el más consumido debido a sus propiedades sensoriales: sabor dulce y cremoso (Mazariegos, Milla-Sánchez, Martínez-Chávez, Águila-

González & Villanueva-Vázquez, 2017; Wall-Medrano *et al.*, 2015). Por otra parte, México es el quinto productor mundial consolidándose en referencia al mango 'Ataulfo' del Soconusco, Chiapas (SAGARPA, 2017). Aunque 'Ataulfo', es el principal cultivar de mango producido en México, para el consumo en fresco y la industria de la transformación, aún no se ha discutido, el potencial del valor comercial agregado de la pectina que se encuentra en los polvos del pericarpio de este cultivo.

Por lo tanto, una fuente importante de obtención de pectina puede ser a partir de un subproducto o mango de rezaga a través del pericarpio del mango 'Ataulfo'. El objetivo del presente estudio, fue el análisis fisicoquímico del polvo de pericarpio obtenido del mango 'Ataulfo' maduro y el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas), como posible medio de extracción de la pectina, para generar una propuesta de utilidad comercial de este polisacárido como valor agregado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mango 'Ataulfo' del ciclo agrícola 2019, se obtuvo en el estado de Guerrero en condición de madurez para consumo, número cinco en la escala de color de la pulpa del fruto reportada para este cultivar (Brecht *et al.*, 2010) condición donde alcanza la calidad organoléptica óptima como fruta de mesa (NMX-FF-058-SCFI-2006). Los frutos se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio al 0.5 % por 3 min.

Distribución de la biomasa

Del fruto se separaron el mesocarpio (pulpa), pericarpio (cáscara) y endocarpio (sección fibrosa y cotiledón), con la ayuda de un cuchillo. El contenido de cada fracción se tomó con base en el porcentaje de fruto fresco, calculado a partir de 50 mangos seleccionados aleatoriamente. El pericarpio recuperado, fue deshidratado a 80 °C por 6 h (Excalibur® dehydrator, model Comm 2), molido (Pulvex 200® mil, ø 2 mm) y se verificó la cantidad obtenida de polvo de pericarpio deshidratado, a partir de tres lotes almacenados en bolsas selladas para su posterior análisis.

Análisis fisicoquímico del polvo de pericarpio

El polvo del pericarpio de mango 'Ataulfo' maduro fue analizado fisicoquímicamente. Los cálculos se hicieron como sigue: contenido de humedad (925.45), ceniza (942.05), lípidos (920.39), minerales (955.06) y la proteína (988.05) con los métodos de la AOAC (1998), para la fibra con el método de la AACC 32-05.01 (McCleary, Sloane, Draga & Lazewska, 2013) y para la actividad del agua (aw) con el equipo AQUALAB CX2 (DECAGON Devices Inc., Pullman, USA). El color se obtuvo por espectrofotometría utilizando un colorímetro (Konica Minolta®, Japón) y se cuantificaron los valores de Luminosidad y °Hue, con la ayuda del software del equipo. La fluidez del polvo fue determinada a partir del

ángulo de reposo por el método reportado por Train (1958) y modificado por Chauhan & Patil (2013). Los siguientes métodos se utilizaron para calcular: el índice higroscópico con el método de Cai & Corke (2000) modificado por Agustini (2018), y el índice de solubilidad con el método de Cano-Chauca, Stringheta, Ramos & Cal-Vidal (2005).

Extracción de la pectina

El extracto de pectina se obtuvo de 100 g de polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ para la remoción de proteínas utilizando etanol (96%) por 4 h (Banerjee, Vijayaraghavan, Arora, MacFarlane & Patti, 2016); los lípidos, jabones y pigmentos se eliminaron usando un extractor Soxhlet y éter de petróleo como disolvente. El extracto fue lavado tres veces en acetona y finalmente se secó a 55 °C hasta peso constante en horno de convección (Yamato DKN-602C) (Nazarunddin, Noor Baiti, Foo, Tan & Ayob, 2013). La pectina fue obtenida del extracto de acuerdo con lo reportado por Banerjee *et al.* (2016) y algunas modificaciones en el método: brevemente, 1 g de extracto de pectina se mezcló con 20 mL de solución ácida (HCl) a pH 2.5 y calentado a 80 °C por 120 min., posteriormente, se enfrió y filtró a través de tela de organza, el filtrado, se mezcló con etanol (1:1) y se almacenó 12 horas a 4 °C. El pellet formado se separó de la solución y fue lavado tres veces en una solución de agua-etanol (1:1), finalmente se filtró y secó a 45 °C hasta peso constante en horno de convección (Yamato DKN-602C). El porcentaje de rendimiento de la pectina fue calculado en relación con la masa del polvo del pericarpio.

Caracterización de la pectina

El contenido de grupos metoxilos se calcularon con el método descrito por Davara *et al.* (2017) y Khan & Nandkishor (2019): brevemente, 0.5 g de pectina se mezclaron con 25 mL de NaOH (0.25 N) y se dejaron reposar durante 30 minutos. Posteriormente, se adicionaron 25 mL de HCl (0.25 N), se agitó la mezcla y tituló con NaOH (0.1 N), el contenido de metoxilos se calculó con la ecuación (1).

Ecuación (1):

$$\text{Contenido de metoxilos (\%)} = \frac{(\text{mL NaOH}) (0.1) (3.1)}{\text{g de pectina}} \quad (3.1)$$

Los espectros FT-IR (Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier) de la pectina se obtuvieron a longitudes de onda de 4,000 a 400 cm⁻¹ (FT-IR Spectrum GX, Perkin-Elmer®, USA). para identificar sus grupos funcionales, calculando el grado de esterificación (GE) con la ecuación (2).

Ecuación (2):

$$GE = \frac{A_{C=O}}{A_{C=O} + A_{COO^-}}, \text{ donde } A_{C=O}, \text{ es la absorbancia del éster en}$$

el grupo carbonilo y A_{COO^-} la absorbancia del grupo carboxilo (Grassino *et al.*, 2018; Manrique & Lajolo, 2002).

El espectro fue comparado con la pectina del pericarpio de los cítricos Sigma-Life Science (lote: SLBV5461).

El peso molecular del extracto de la pectina fue calculado a partir de la viscosidad intrínseca. Cien miligramos de pectina de mango ‘Ataulfo’ maduro fueron disueltos en 100 mL de solución de NaCl 0.1 M, la viscosidad intrínseca, (η) se calculó de acuerdo con lo reportado por Raji, Khodaiyan, Rezai, Kiani & Hosseini (2017) con las ecuaciones (3) y (4).

$$\text{Ecuación (3): } \eta_r = \frac{\eta}{\eta_s} = \frac{t_1 d_1}{t_2 d_2}, \text{ donde } \eta_r \text{ es la viscosidad}$$

relativa, t_1 y t_2 es el tiempo del flujo de la solución de la pectina y del solvente (NaCl 0.1 M) en el viscosímetro (CANNON® Ubbelohde 2B-F831), respectivamente, d_1 y d_2 son las densidades de la solución de la pectina y del solvente, respectivamente.

$$\text{Ecuación (4): } \eta_r = 1 + [\eta]C, \text{ donde } \eta \text{ es la viscosidad intrínseca y } C \text{ la concentración de pectina.}$$

Finalmente, se obtuvo el peso molecular con la ecuación de Mark Houwink-Sakurada (5).

$$\text{Ecuación (5): } [\eta] = k(M_w)^a, \text{ donde } k \text{ y } a \text{ son constantes que dependen de las características del solvente y la temperatura. Los valores } k \text{ y } a \text{ son } 9.55 \times 10^{-2} \text{ y } 0.73, \text{ respectivamente (Raji, Khodaiyan, Rezai, Kiani \& Hosseini, 2017).}$$

Todos los análisis realizados en la pectina se reportan como promedio (n=3) y desviación estándar.

Análisis FODA para la extracción de pectina

El análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), se utilizó para responder si es posible industrializar la extracción de pectina de mango ‘Ataulfo’ maduro. Cada uno de los componentes del análisis FODA se discutieron cualitativamente con base en los resultados de este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de la biomasa

Los porcentajes de las fracciones del mango (pericarpio, mesocarpio y endocarpio) se muestran en la Figura 1. A partir de la biomasa del pericarpio, después del deshidratado se logró obtener un rendimiento del 31.12 ± 2.40 % de polvo de pericarpio, representando un $\approx 7\%$ de la masa total del fruto fresco. En el mercado, se pueden encontrar líneas industriales con capacidad de procesamiento de hasta 3,000 kg h⁻¹ de fruto, dependiendo de la casa comercial, y con un resultado en la producción de 210 kg h⁻¹ de polvo de pericarpio.

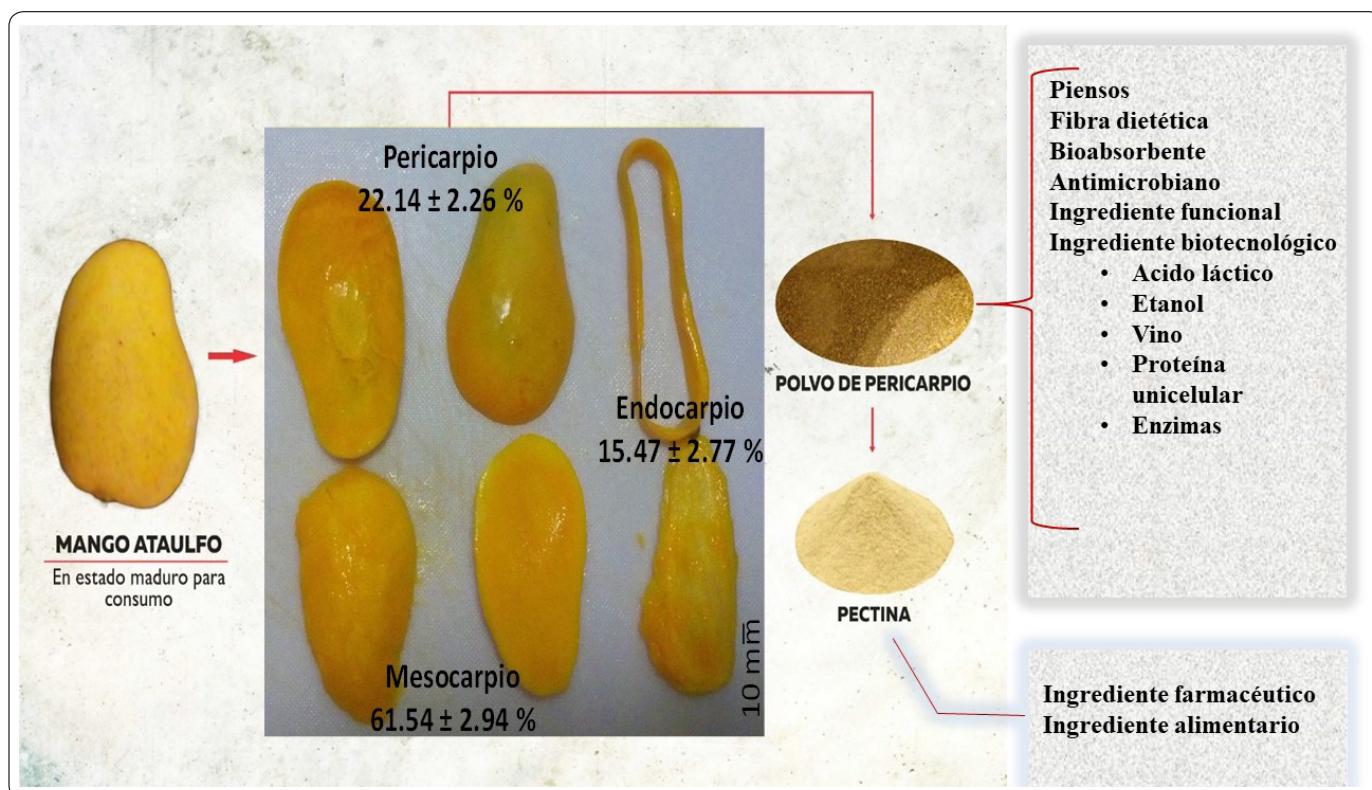


Figura 1. Porcentaje de fracciones del mango ‘Ataulfo’ maduro y subproductos potenciales para su aprovechamiento. Coeficiente de variación: 4.78, 10.23 y 17.92 de mesocarpio, pericarpio y endocarpio, respectivamente, para promedios de $n=50$. Elaboración personal.

Análisis fisicoquímico del polvo de pericarpio

Los bajos contenidos de humedad y a_w , obtenidos del polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro (Cuadro 1), facilitan el manejo y transporte para su posible uso en el procesamiento u obtención de otros productos alimenticios. Un valor de $a_w < 0.85$ y contenido de humedad $< 6\%$ incrementan el almacenamiento de los productos alimenticios, por la reducción del crecimiento microbiano debido al bajo contenido de agua (Barbosa, Fontana, Schmidt & Labuza, 2008; Young *et al.* 2015).

El contenido de lípidos, ceniza y proteínas en el pericarpio del mango ‘Ataulfo’ (Cuadro 1), están en el rango de los valores de 35 ± 0.50 , 2.12 ± 0.11 y $3.04 \pm 0.17\%$, respectivamente, según Rojas *et al.* (2015). En este fruto, el contenido mineral en el polvo del pericarpio varía según la región de cultivo con oscilaciones en Na 30-28, K 200-490, Ca 304-281, Mg 40-90, Fe 10-20, Zn 5-10 y Mn 8-15 mg kg^{-1} (Mellado-Vázquez, Salazar-García, Goenaga & López-Jiménez, 2019). El contenido mineral del polvo de pericarpio, puede ser útil para complementar parcial o totalmente las formulaciones de alimentos procesados. Por ejemplo, de acuerdo con los valores reportados de Ingesta Diaria Recomendada (Quintaes & Díez-García, 2015), 100 g de polvo de pericarpio del mango

‘Ataulfo’ aportan $\approx 50\%$ en Ca y Mg y $\approx 100\%$ de Fe y Zn dependiendo de la edad y sexo de la persona que lo consuma. Asimismo, 100 g de polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro aportan a la dieta el 76.85% de Ca, 56.13% de Mg, 36.28% de Fe y 3.3% de Zn con base en la recomendación del *Codex Alimentarius*. Sin embargo, el pericarpio de mango contiene polifenoles (Kabir, Shekhar & Sidhu, 2017) que pueden afectar la biodisponibilidad de estos nutrientes, debido a su actividad quelante al formar complejos con Ca, Zn y Fe (Gharibzadeh & Jafari, 2017). No obstante, el contenido de compuestos fenólicos le confiere una utilidad funcional al ser consumidos (Kabir, Shekhar & Sidhu, 2017). En este estudio, se descartó la obtención de fenoles como alternativa de valor agregado, por su enfoque al uso de mango maduro de rezaga y desperdicios, para la obtención de pectinas en su procesamiento industrial.

El contenido de fibra (Cuadro 1) fue superior a los valores registrados en la literatura. Particularmente, en el polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ se reportan en fibra soluble 111.5 mg g^{-1} y en fibra insoluble 165 mg g^{-1} (García-Magaña, García, Bello-Pérez, Sáyo-Ayerdi & Mata-Montes de Oca, 2013). Las diferencias se deben a la fuente y manejo del pericarpio. El polvo de pericarpio en esta investigación se

Cuadro 1. Análisis fisicoquímico del polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro.

Componente (g/100 g)	
Humedad	3.93 ± 0.72
Lípidos	1.72 ± 0.21
Ceniza	3.56 ± 0.16
Proteína	2.32 ± 0.50
Fibra soluble	34.36 ± 1.67
Fibra insoluble	22.86 ± 0.03
Contenido de minerales (mg/100 g)	
Sodio (Na)	15.71 ± 1.08
Potasio (K)	754.55 ± 24.99
Calcio (Ca)	614.85 ± 3 5.17
Magnesio (Mg)	168.47 ± 3.45
Hierro (Fe)	5.08 ± 0.28
Zinc (Zn)	0.50 ± 0.00
Manganeso (Mn)	2.62 ± 0.13
Parámetros físicos	
Actividad del agua (a_w)	0.39 ± 0.01
Ángulo de reposo (Fluidez)	38.72 ± 0.8
Higroscópico	0.90 ± 0.06
Solubilidad	0.131 ± 0.01
Luminosidad	51.11 ± 4.5
Hue (°)	66.73 ± 2.43

Valores reportados como promedio ± desviación estándar (n=3).

obtuvo eliminando la pulpa de forma manual, lo que aseguró la integridad del tejido obtenido previo a la deshidratación y pulverización, mientras que, el polvo obtenido de desechos del procesado industrial para la obtención de jugo concentrado, es posible que la maquinaria al romper la pared celular del pericarpio se solubilizan fracciones de la fibra soluble incorporándola al jugo del mango y reduciendo su concentración en el residuo obtenido al final del proceso (García-Magaña, García, Bello-Pérez, Sáyo-Ayerdi & Mata-Montes de Oca, 2013). La fibra al generar beneficios a la salud, motiva su incorporación en los alimentos para su consumo (Fuller, Beck, Salman & Tapsell, 2016). El uso del polvo de pericarpio de mango ‘Ataulfo’ como fuente de fibra, puede ser utilizado en la formulación de alimentos incidiendo en la cocción, textura y sus propiedades sensoriales (Ajila, Aalami, Leelavathi & Prasada Rao, 2010) convirtiéndose en una alternativa de valor agregado.

Según la clasificación de Carr (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018), en el polvo del pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro, se considera el ángulo de reposo de flujo libre a flujo justo-pasable. El ángulo de reposo es una medida empírica

cualitativa del flujo o fluidez de un material que permite describir la facilidad en el manejo y procesamiento de polvos alimentarios (Ganesan, Rosentrater & Muthukumarappan, 2008). El polvo del pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro, puede incorporarse y mezclarse en formulaciones alimentarias, por ser un material de fluidez intermedia.

El índice higroscópico del polvo (Cuadro 1) muestra una alta capacidad de absorción de agua, siendo un material adecuado para la elaboración de masas o mezclas que puedan moldearse. Asimismo, el bajo índice de solubilidad del polvo (Cuadro 1), muestra la baja viabilidad para utilizarse en alimentos líquidos o semisólidos.

Los resultados de Luminosidad y °Hue (Cuadro 1) sugieren su utilización en mezclas para la obtención de productos de luminosidad intermedia y mezclas en la zona de color amarillo anaranjado debido a su contenido de β-caroteno y violanxantina (Ornelas-Paz, Yahia, Gardea & Failla, 2010). El polvo del pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro, puede ser una alternativa de fuente de fibra en la formulación de alimentos. El contenido de proteínas, lípidos y nutrientes inorgánicos del polvo, pueden complementar la mezcla dependiendo del alimento en proceso y del perfil del consumidor principal. Otras opciones para su utilización son como ingrediente funcional, biotecnológico u otros productos (Puligundla, Obulam, Oh & Mok, 2014), (Figura 1).

Extracción de la pectina

El rendimiento de pectina obtenido fue de 5.40 ± 1.0 % del polvo del pericarpio, con un peso molecular de 94.27 ± 8.7 kDa, contenido de grupos metoxilos de 6.35 ± 0.63 % y un grado de esterificación de 46.07 ± 0.87 %. El espectro obtenido por infrarrojo de la pectina del mango, es similar a la pectina comercial de los cítricos (Figura 2), las frecuencias e intensidades de los picos característicos de la pectina son equiparables a la de grado analítico. Los grupos funcionales $^{\circ}\text{OH}$, C-H , C=O y COO° se identifican en los números de onda 3,600-2,500, 3,000-2,800, 1,760-1,745 y 1,640-1,620, respectivamente (Ravin & Proctor, 2000). La pectina obtenida constituye el 15.71 % de la fibra soluble del pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro. En frutas y vegetales se estima que la pectina constituye del 15-20% del total de la fibra soluble (Fuller *et al.*, 2016). En otras frutas se han encontrado mayores rendimientos de obtención de pectina, por ejemplo, 9.73% en manzana (Canteri-Schemin, Ramos, Waszczynskyj & Wosiacki, 2005) y 7.03% en pera (Faravash & Ashtiani, 2007), estas pectinas se obtienen de la pulpa, la fracción destinada al consumo en fresco, mientras que en mango ‘Ataulfo’ maduro es un subproducto de desecho. Sin embargo, al comparar la obtención de pectinas a partir de otros subproductos de desecho de frutos como el pericarpio de la naranja, se han obtenido rendimientos de 8.78% por el método convencional de extracción ácida (Kute, Mohapatra,

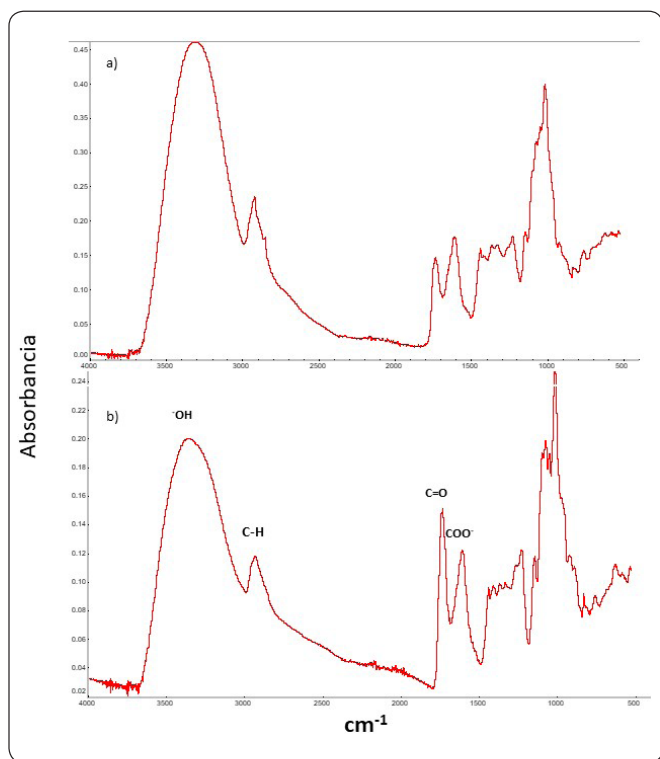


Figura 2. Espectros de FT-IR de a) pectina de mango ‘Ataulfo’ maduro y b) pectina de pericarpio de cítricos.

Kotwaliwale, Giri & Sawant, 2020), método utilizado en este estudio. En otros cultivares de mango, por ejemplo, el Kesar, se ha reportado un rendimiento de pectina de pericarpio del 14.78% y 3.91% de los grupos metoxilo (Davara *et al.*, 2017). Pectinas con valores de metoxilos >7% (Khan & Nandkishor, 2019) y grados de esterificación >50% son consideradas pectinas de alto metoxilo. A diferencia de las pectinas del mango ‘Ataulfo’ maduro de este estudio que son de bajo metoxilo. El bajo grado de esterificación obtenido, se debe principalmente al estado de madurez del mango, dado que las reacciones enzimáticas (pectinasas) hidrolizan los enlaces estères y depolimerizan los polímeros de pectina al avanzar la madurez del fruto (Tharanathan, Yashoda & Prabha, 2006; Geerkens *et al.*, 2015). La pectina obtenida para formar geles, deberá mezclarse con productos de baja concentración de azúcar y en presencia de cationes divalentes como el Ca (Khan & Nandkishor, 2019). Otra de las posibles aplicaciones de la pectina, es su uso en recubrimientos comestibles, para extender la vida de anaquel de frutos consumidos en fresco, incluso el mismo mango. Moalemiyan, Ramaswamy & Maftoonazad (2010) reportan incremento en la vida de anaquel de mangos ‘Ataulfo’ cubiertos con recubrimientos de pectina. Por tal motivo, las pectinas obtenidas del mango ‘Ataulfo’ maduro, pueden ser una alternativa para los subproductos de mangos procesados.

Análisis FODA para la extracción de pectina

El Cuadro 2 muestra la matriz FODA, del análisis del aprovechamiento del polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro, para la extracción de pectina. El mercado mundial de pectina produce 40,000 toneladas con un valor económico de 319 millones de dólares americanos y un crecimiento anual constante del 6% en la última década (Sundarraj & Ranganathan, 2017). El 85% de pectina es obtenida principalmente de cítricos y el 14% de manzanas (Ciriminna, Fidalgo, Delisi, Ilharco & Plagiario, 2016). Por otra parte, en México la proyección de crecimiento de la producción de mango, principalmente ‘Ataulfo’, está orientado al desarrollo de paquetes tecnológicos, para la comercialización del producto en fresco destinado a la exportación (SAGARPA, 2017), no obstante, solo el 21% de la producción se logra exportar (CONASPROMANGO, 2020). El mango ‘Ataulfo’ que no cumple los criterios de exportación para consumo en fresco, es utilizado para consumo nacional. En particular, los frutos que son destinados al procesamiento de la pulpa, es el sector de oportunidad para la obtención de pectina. No obstante, en las líneas de producción de la industria procesadora de pulpa de mango, se utilizan despulpadoras que funcionan por fricción para eliminar el pericarpio (Kabir & Fedele, 2018), generando mezclas de desechos con endocarpio. Asimismo, estos desechos se acumulan y al exponerse al ambiente, se favorece el deterioro por microorganismos y la degradación de las sustancias contenidas en la pectina. Los procesos de separación del pericarpio de otros residuos y el aseguramiento de su inocuidad, puede ser un proceso complejo. Cuatro debilidades, fueron detectadas en el aprovechamiento del polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro (Cuadro 2), relacionadas con el manejo y conservación. Con una estrategia establecida para el manejo y estabilización de desechos de mango provenientes de la industria, se podría generar un pericarpio de valor agregado (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012), apto para su procesamiento de extracción de pectina. Una propuesta para minimizar el efecto de estas debilidades, es modificar los procesos de industrialización del mango, en líneas de producción que permitan, previo al despulpado, separar el pericarpio, transportarlo y deshidratarlo en condiciones adecuadas. El deshidratado, es un proceso económico (Larios-Medrano *et al.*, 2016) que puede generar polvo de pericarpio de mango inocuo y sin residuos. En México, las empresas dedicadas a los deshidratados, utilizan procesos manuales con equipo rudimentario fabricado para eliminar el pericarpio del mango, generalmente nombrados “peladores de mango”. Estos procesos, son una oportunidad para el valor agregado del pericarpio como subproducto. La incorporación de una línea de aprovechamiento del pericarpio, es factible debido a que su infraestructura cuenta con equipos de deshidratación, solo

Cuadro 2. Matriz FODA del aprovechamiento del polvo del pericarpio del mango ‘Ataulfo’ maduro para la extracción de pectina.

Fortalezas	Oportunidades
El principal mango cultivado en México es el ‘Ataulfo’. Los procesos para la obtención de polvos de pericarpio y extracción de pectina son económicos. La pectina es un carbohidrato ampliamente conocido y estudiado. El polvo de pericarpio del mango ‘Ataulfo’ con 3% de humedad, tiene bajo riesgo de crecimiento microbiano.	El procesamiento manual para la obtención de productos de pulpa deshidratada del mango sigue siendo el principal método de despulpado. La industria de la pectina ha mantenido un crecimiento constante en la última década. El costo del mango ‘Ataulfo’ maduro es bajo. Un alto concentrado de productores de mango, no logra posicionar su producto para consumo en fresco, en la exportación y mercado nacional. El pericarpio obtenido de la industria del deshidratado generalmente es inocuo.
Debilidades	Amenazas
La producción de subproductos y rezaga del mango es variable y depende de múltiples factores. El manejo de subproductos y rezaga del mango no se realiza en condiciones óptimas de conservación. La industria del procesamiento de productos derivados de la pulpa del mango, genera mezclas de residuos de subproductos expuestos a procesos mecánicos, térmicos, de almacenamiento y exposición al medio ambiente, que favorecen su deterioro. La vida de anaquel de un mango maduro es de una semana.	Otros cultivares de mango presentan mayor rentabilidad para procesarse industrialmente. Los subproductos del procesado de cítricos y manzanas son la principal fuente de obtención de pectina. El mercado de pectina es del área alimentaria y farmacéutica principalmente, limitado a otras áreas de aplicación. México, es el principal exportador de mango para consumo en fresco.

se tendría que agregar una unidad de molienda y empaque a la línea de producción para obtener polvo de pericarpio. En la obtención de pectina como producto, se tendrían que adaptar varias unidades que involucren los siguientes procesos: hidrólisis, precipitación y secado, evaporación y extracción (Colin, 1990). De acuerdo con los resultados de este estudio, 100 kg de mango fresco procesado producen 22 kg de polvo de pericarpio con un rendimiento de 1.1 kg de pectina, evidenciando el potencial de valor agregado de la industria deshidratadora de mango. Por lo tanto, la respuesta a si ¿Es posible industrializar la extracción de pectina del mango ‘Ataulfo’ maduro? sí es efectivamente factible la industrialización de la extracción de pectina del mango ‘Ataulfo’ maduro, pero a partir de procesos que favorezcan obtener residuos de pericarpio inocuos y sin otros componentes, la industria del deshidratado es una opción para evaluarse.

CONCLUSIONES

El mango ‘Ataulfo’ maduro, es un fruto con potencial de valor agregado para el aprovechamiento de subproductos derivados del proceso industrial en la obtención de la pulpa. En particular, el pericarpio (cáscara) deshidratado es un subproducto que por su contenido en fibra, nutrientes inorgánicos y propiedades físicas, puede ser utilizado en una amplia variedad de formulados alimenticios. Asimismo, la obtención de pectina de los desechos del procesado industrial,

o rezaga del mango ‘Ataulfo’, puede ser una alternativa de valor agregado y considerarse una opción en la cadena productiva del mango, en específico, como un adjunto de la industria de productos deshidratados.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado con recursos del Proyecto FORDECYT 2017-10: “Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (*Tilapia*) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación”, número 292474 del CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). Los autores agradecen el apoyo técnico del M.C. Eduardo Sánchez Valdez del Laboratorio de Tecnología de Alimentos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación Culiacán.

REFERENCIAS

- Agustini, S. (2018). The characterization of mango (*Mangifera indica* L.) powder of various drying temperature. *Journal of Physics: Conf. Series*, **1095**, 012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1095/1/012035>
- Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K. & Prasada Rao, U. J. S. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science and Emerging*

- Technologies* **11**, 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.004>
- Al-Hashemi, H. M. B. & Al-Amoudi, O. S. B. (2018). A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*, **330**, 397-417. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.02.003>
- AOAC, Official Methods of Association of Official Analytical Chemists. (1998). Washington, D.C: Ed. AOAC International.
- Banerjee, J., Vijayaraghavan, R., Arora, A., MacFarlane, D. R. & Patti, A. F. (2016). Lemon juice based extraction of pectin from mango peels: waste to wealth by sustainable approaches. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **4**, 5915-5920. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01342>
- Barbosa, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J. & Labuza, T. P. (2008). *Water activity in foods: fundamentals and applications*. Iowa, USA: John Wiley & Sons.
- Brecht, J. K., Sargent, A. S., Kader, A. A., Mitcham, E. J., Maul, F., Brecht, P. E., Menocal, O., Arpaia, M. L., Yahia, E. M., de Lima, M. A. C. & Padda, M. (2010). Mango, postharvest best management practices manual. Florida, USA: The National Mango Board, University of Florida. 58 p.
- Cai, Y. Z. & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. *Journal of Food Science*, **65**, 1248-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>
- Canteri-Schemin, M. H., Ramos, F. H. C., Waszczynskyj, N. & Wosiacki G. (2005). Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **48**, 259-266. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000200013>
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M. & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Engineering Technologies*, **6**, 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Chauhan, A. K. & Patil, V. (2013). Effect of packaging material on store ability of mango milk powder and quality of reconstituted mango milk drink. *Powder Technology*, **239**, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.01.055>
- Colin, D. M. (1990). Industrial pectins: sources, production and applications. *Carbohydrate Polymers*, **12**, 79-99. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90105-2](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90105-2)
- CONASPROMANGO. (2020). Estadísticas de exportación. <http://mexicanmangoes.com/estadisticas-de-exportacion/> (24 de junio 2020)
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Ilharco L. M. & Pagliaro, M. (2016). Pectin production and global market. *Agro Food Industry Hi Tech*, **27**, 17-20.
- Davara, P. R., Dabhi, M. N., Rathod, P. J. & Bhatu, H. (2017). Isolation of pectin from Kesar mango peel using cation exchange resin. *Advances in Food Science and Engineering*, **1**, 28-38.
- Ediriweera, M. K., Tennekoon, K. H. & Samarakoon S. R. (2017). A review on ethnopharmacological applications, pharmacological activities, and bioactive compounds of *Mangifera indica* (Mango). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **1-24**. <https://doi.org/10.1155/2017/6949835>
- Faravash, R. S. & Ashtiani, F. Z. (2007). The effect of pH, ethanol volume and acid washing time on the yield of pectin extraction from peach pomace. *International Journal of Food Science & Technology*, **42**, 1177-1187. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01324.x>
- Fuller, S., Beck, E., Salman, H. & Tapsell, L. (2016). New Horizons for the Study of Dietary Fiber and Health: A Review. *Plant Foods for Human Nutrition*, **71**, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0529-6>
- Ganesan, V., Rosentrater, K. A. & Muthukumarappan, K. (2008). Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS5. *Biosystems Engineering*, **101**, 425-435. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.008>
- García-Magaña, M. L., García, H. S., Bello-Pérez, L. A., Sáyo-Ayerdi, S. G. & Mata-Montes de Oca, M. (2013). Functional Properties and Dietary Fiber Characterization of Mango Processing By-products (*Mangifera indica* L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods for Human Nutrition*, **68**, 254-258. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0364-y>
- Gharibzadeh, S. M. T. & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, **62**, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Geerkens, C. H., Nagel, A., Just, K. M., Miller-Rostek, P., Kammerer, D. R., Schweiggert, R. M. & Carle, R. (2015). Mango pectin quality as influenced by cultivar, ripeness, peel particle size, blanching, drying, and irradiation. *Food Hydrocolloids*, **51**, 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.022>
- Grassino, A. N., Barba, F. J., Brnčić M., Lorenzo, J. M., Lucini, L. & Brnčić, S. R. (2018). Analytical tools used for the identification and quantification of pectin extracted from plant food matrices, wastes and by-products: A review. *Food Chemistry*, **266**, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.105>
- Kabir, A. A. & Fedele, O. K. (2018). A review of shelling, threshing, de-hulling and decorticating machines. *Journal of Agricultural Research*, **3**, 1-10.
- Kabir, Y., Shekhar, H. U. & Sidhu, J. S. (2017). Phytochemical Compounds in Functional Properties of Mangoes. In Siddiq J. K. & Sidhu J. S. (Ed.) *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition* (pp. 237-254). Ltd. UK: John

- Wiley & Sons.
- Khan, M. & Nandkishor. (2019). Optimization of extraction condition and characterization of low methoxy pectin from wild plum. *Journal of Packaging Technology and Research*, **3**, 215-221. <https://doi.org/10.1007/s41783-019-00070-z>
- Kute, A. B., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S. K. & Sawant B. P. (2020). Characterization of Pectin Extracted from Orange Peel Powder using Microwave-Assisted and Acid Extraction Methods. *Agricultural Research*, **9**, 241–248. <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00419-5>
- Larios-Medrano, I., Campos-Serrano, M. J. K., Padilla-Sahagún, M. C. & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2016). Materia prima. En Villanueva-Rodríguez (Ed). *Introducción a la Tecnología del Mango*. (pp.1-13) Guadalajara: CIATEJ https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a42c3f240411.pdf
- Manrique, G. D. & Lajolo, F. M. (2002). FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **25**, 99-107. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00160-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00160-0)
- Mazariegos S. A., Milla-Sánchez, A. I., Martínez-Chávez, J., Águila-González, J. M. & Villanueva-Vázquez K. E. (2017). Identificación del sistema local de comercialización del mango Ataulfo en el municipio de Huehuetan, Chiapas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, **40**, 571-582. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14152127006>
- McCleary, B. V., Sloane, N., Draga, A. & Lazewska, I. (2013). Measurement of Total Dietary Fiber Using AOAC Method 2009.01 (AACC International Approved Method 32-45.01): *Evaluation and Updates*. *Cereal Chemistry*, **90**, 396-414. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-12-0135-FI>
- Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Goenaga, R. & López-Jiménez, A. (2019). Evaluación de la remoción de nutrientes por el fruto de cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) para el mercado de exportación en varias regiones productoras de México. *Terra Latinoamericana*, **37**, 437-447. <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v37i4.528>
- Moalemiyan, M., Ramaswamy, H. S. & Maftoonazad, N. (2010). Pectin-Based edible coating for shelf-life extension of Ataulfo mango. *Journal of Food Process Engineering*, **35**, 572–600. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00609.x>
- Naqash, F., Massodi, F. A., Rather, S. A., Wani, S. M. & Gani, A. (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. *Carbohydrate Polymers*, **168**, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.058>
- Nazarunddin, R., Noor Baiti, A. A., Foo, S. C., Tan, Y. N. & Ayob, M. K. (2013). Comparative chemical characterization of hydrochloric acid- and ammonium oxalate-extracted pectin from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyces. *International Food Research Journal*, **20**, 281-284.
- Ornelas-Paz, J. J., Yahia, E. M., Gardea, A. A. & Failla, M. L. (2010). Carotenoid Composition in 'Ataulfo' mango and their bioavailability and bioconversion to vitamin A. *Acta Horticulturae*, **887**, 1245-1252.
- Poul, S. S., Bornare, D. T. & Babar K. P. (2019). Nutritional and functional profiling of mango seed powder and its suitable in chakali. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **8**, 2460-2464.
- Puligundla, P., Obulam, V. S. R., Oh, S. E. & Mok, C. (2014). Biotechnological potentialities and valorization of mango peel waste: a review. *Sains Malaysiana*, **43**, 1901–1906.
- Quintaes, K. D. & Diez-García, R. W. (2015). The importance of minerals in the human diet. In de la Guardia, M., Garrigues, S. (eds). *Handbook of mineral elements in food*. (pp:1-22). Ltd. UK: John Wiley & Sons.
- Quintana-Obregón, E. A., San Martín-Hernández, C., Muy-Rangel, M. D. & Vargas-Ortiz, M. A. (2019). Valorization of mango (*Mangifera indica* L.) pericarp powders as an alternative for the generation of functional foods. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, **22**, 1-5. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.178>
- Raji, Z., Khodaiyan, F., Rezaei, K., Kiani, H. & Hosseini S. S. (2017). Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. *International Journal of Biology Macromolecules*, **98**, 709-716. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.146>
- Ravin, G. & Proctor. (2000). Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, **68**, 327-332.
- Robles-Sánchez M., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Astiazaran-García, H., González-Aguilar, G. & Cruz-Valenzuela R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados, potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, **32**, 227–232. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33932403.pdf>
- Rojas R., Contreras-Esquivel, J. C., Orozco-Esquivel, M. T., Muñoz C., Aguirre-Joya, J. A. & Aguilar, C. N. (2015). Mango Peel as Source of Antioxidants and Pectin: Microwave Assisted Extraction. *Waste Biomass Valor*, **6**, 1095–1102. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9401-4>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, Mango Mexicano. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf (Abril, 2020).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) & UPSZ (Universidad Politécnica sur de Zacatecas). (2015). Estudio para la determinación de alternativas de aprovechamiento tecnológico y productivo para la rezaga de mango de las variedades Kent Keit y Haden. Reporte Detallado

- Folio 211PP050. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346784/Mango_Kent_Detallado.pdf (Abril 2020).
- SIAP-SAGARPA. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 15 de enero de 2019).
- Sultana, B. & Ashraf, R. (2019). Mango (*Mangifera indica* L.) Seed Oil. In: Fruit Oils: Chemistry and Functionality. M. F. Ramadan (ed.). Springer Nature Switzerland. pp:561-575. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_28
- Sumaya-Martínez, M. T., Sánchez-Herrera, L. M., Torres-García, G. & García-Paredes, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, **16**, 826-833.
- Sundarraaj, A. A. & Ranganathan, T. V. (2017). A review-Pectin from Agro and industrial waste. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, **12**, 1777-1801. https://www.ripublication.com/ijaes17/ijaesv12n10_04.pdf
- Tharanathan, R. H., Yashoda, H. M. & Prabha, T. N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), "The King of fruits"-An Overview. *Food Reviews International*, **22**, 95-123. <https://doi.org/10.1080/87559120600574493>
- Train, D. (1958). Some aspects of the property of angle of repose of powders. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **10**, 127-135. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1958.tb10391.x>
- Wall-Medrano A., Olivas-Aguirre, F. J., Velderrain-Rodríguez, G. R., González-Aguilar, A., de la Rosa, L. A., López-Díaz, J. A. & Álvarez, E. (2015). El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, **31**, 67-75. <http://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7701>
- Young I., Waddell, L., Cahill, S., Kojima, M., Clarke, R. & Rajic, A. (2015). Application of a rapid knowledge synthesis and transfer approach to assess the microbial safety of low-moisture foods. *Journal Food Protection*, **78**, 2264-78. In: Sánchez-Maldonado A. F., Lee, A. & Farber, J. M. 2018. Methods for the Control of Foodborne Pathogens in Low-Moisture Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, **9**, 177-208.