

Análisis térmico y estructural de pectina aislada de cáscara de mango Ataulfo de desecho

M. A. Lorenzo-Santiago ^{1*}, J. R. Rendón-Villalobos ², R. Olvera-Guerra ²

¹Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional, Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Calle Pino s/n, Col. El Roble, C.P. 39640, Acapulco, Guerrero, México

²Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN, Calle Ceprobi número 8, Col. San Isidro. C.P. 62731, Yauatepec, Morelos, México

[*malorenzos@uagro.mx](mailto:malorenzos@uagro.mx)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

México es uno de los países con mayor producción de mango a nivel mundial. Sin embargo, su actividad comercial no sostiene los grandes volúmenes generados. Por esa razón, después de la cosecha, se acumula una gran cantidad de residuos, los cuales no reciben un manejo y disposición final adecuados. El objetivo de este trabajo es obtener pectina a partir de cáscara de mango de desecho de la variedad Ataulfo y realizar un análisis comparativo con pectina comercial (PC). La pectina de mango de desecho (PMD) fue caracterizada por microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y la capacidad térmica se determinó utilizando un calorímetro diferencial de barrido (CDB). Las micrografías mostraron PC con superficie corrugada y la PMD se presentó en bloques misceláneos porosos. Los espectros infrarrojos presentaron señales características del anillo de furanosa, el área de las señales 1615 y 1725 cm⁻¹, determinó una esterificación de 52.41 % para PMD y la temperatura de degradación del biopolímero, se encontró en 251.5 °C. Las propiedades térmicas y estructurales de la PMD, pueden ser de gran utilidad en la industria alimentaria.

Palabras clave: biopolímeros, mango de desecho, residuos agrícolas

Abstract

Mexico is one of the countries with the highest mango production in the world. However, its commercial activity does not support the large volumes generated. For this reason, after the harvest, a large amount of waste accumulates, which does not receive proper handling and final disposal. The objective of this work is to obtain pectin from waste Ataulfo mango peel and determine its suitability in the food industry by performing a comparative analysis with commercial pectin (PC). Waste mango pectin (PMD) was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and the thermal capacity was determined using a differential scanning calorimeter (CDB). The micrographs showed PC with a corrugated surface and PMD was presented in porous miscellaneous blocks. Infrared spectra showed characteristic signals from the furanose ring. The area of the signals 1615 and 1725 cm⁻¹, determined an esterification of 52.41 % for PMD and the degradation temperature of the biopolymer, was found at 251.5 °C. The thermal and structural properties of PMD could be used in the food industry.

Key words: biopolymers, waste mango, agricultural waste

Introducción

La pectina es un polímero natural importante en la industria de los alimentos. Su capacidad como espesante, gelificante y estabilizante, la hace una materia prima indispensable. Actualmente, la pectina comercial se obtiene de cáscara de cítricos y cáscara de manzana. Sin embargo, la demanda de pectina incrementa de manera considerable, provocando la búsqueda de alternativas a partir de fuentes no convencionales, y así poder cubrir las futuras necesidades.

La pectina se obtiene por una gran variedad de fuentes orgánicas. Por lo tanto, su estructura, el porcentaje de ácido galacturónico y su grado de esterificación, pueden variar dependiendo de la fuente de extracción y los métodos que se utilicen. Sin embargo, estas particularidades, les dan diferentes propiedades fisicoquímicas y biológicas, que pueden ser útiles en una amplia gama de aplicaciones industriales [1].

Las pectinas se clasifican de alto y bajo metoxilo, esto depende del grado de esterificación, según la cantidad de ácido galacturónico esterificado con etanol. Las pectinas de alto metoxilo están metiladas en más del 50 % de los grupos carboxilo y las pectinas de bajo metoxilo tienen menos del 50 % de los grupos carboxilo metilados [2]. Siendo las pectinas de alto grado de metoxilo las más utilizadas en la industria de alimentos, por su gran capacidad para gelificar.

El mango es una de las frutas tropicales más importantes en el mundo. En 2017, la producción de mango en México fue de 1,958,132 ton, de las cuales, el Estado de Guerrero contribuyó con 374,994 ton a la producción anual, ocupando el primer lugar, para ese año [3]. Se estima que, para ese mismo año, 35,400 ton de mango producido en Guerrero, no fueron comercializadas después de la cosecha. Miles de toneladas de mango no cumplen con los lineamientos para exportación, incluso, mucha de la producción no alcanza la calidad para venta en mercados locales. Las razones más comunes; malformaciones, frutos pequeños e infestación por la mosca de la fruta, lo que se traduce como un problema ambiental, debido a que esta merma no recibe una disposición final adecuada, provocando que los también llamados Residuos de Manejo Especial (RME), terminen principalmente en tiraderos a cielo abierto (TCA), cauces de ríos, sepultados o quemados en los huertos [4].

En el caso de las agroindustrias procesadoras de mango, la fruta se transforma en varios productos, y durante su procesamiento, se generan grandes cantidades de residuos. Después del proceso de extracción de la pulpa, se desecha de 30 a 65 % del fruto, entre ellos, la cáscara, que conforma alrededor del 15-20 % de la materia prima, y su eliminación es un problema ambiental importante. Se estima que, de los subproductos que se generan del procesamiento, se producen aproximadamente 228,096 ton de desechos de mango por año [5, 6, 7].

El objetivo principal de este trabajo, es aprovechar el mango de desecho variedad Ataulfo y obtener pectina a partir de su cáscara, aplicar un método ácido-térmico, examinar sus propiedades estructurales, morfológicas y térmicas y comparar las propiedades de las pectinas extraídas con una pectina comercial. Con este trabajo, se busca dar valor agregado a este tipo de residuos que está generando importantes problemas ambientales, debido a las malas prácticas de eliminación y su bajo aprovechamiento en el campo y en la industria.

Metodología

El mango Ataulfo de desecho, fue obtenido por un huerto ubicado en El Arenal, Municipio de Acapulco Guerrero, México. Los mangos recolectados fueron de postcosecha, sin un valor comercial. El fruto presentaba manchas blancas en su cáscara, condición común en el huerto, debido a lluvias atemporales y plagas. Asimismo, se utilizó pectina comercial de cáscara de cítricos, con un grado de esterificación de 75 %, denotada como pectina de alto nivel de metoxilo, Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EE. UU.), como contraste para caracterizar la pectina aislada.

Extracción de pectina

La PMD se extrajo siguiendo la metodología de Wang [8] con algunas modificaciones. El Mango fue lavado, secado y pelado (Figura 1a). Se pesaron 100 g de cáscara y como solvente de extracción, se utilizaron dos litros de agua destilada con pH de 3, acidez alcanzada utilizando ácido cítrico en el medio.

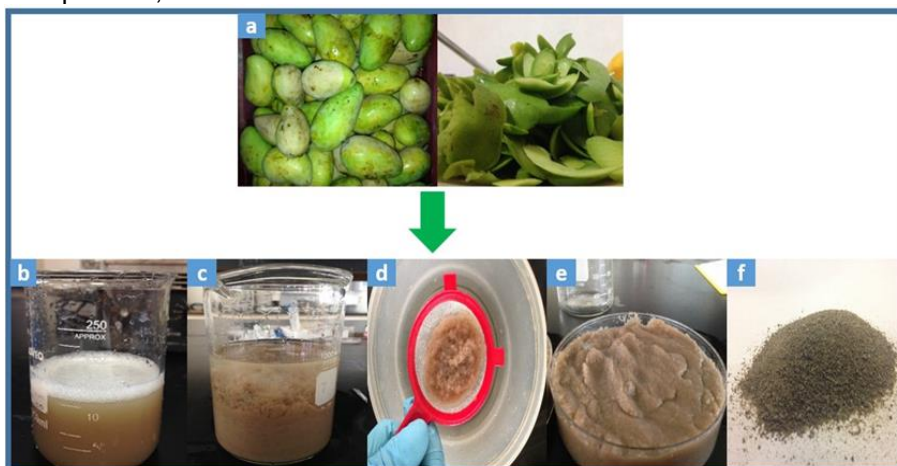


Figura 1. Cáscara de mango Ataulfo de desecho (a), solución después del tratamiento térmico (b), precipitación de pectina con etanol (c), centrifugación y separación de la muestra (d), pectina después de la sonicación (e) y pectina en polvo (f) para análisis

La mezcla de extracción se mantuvo a 80 °C por dos horas (Figura 1b). Después de la extracción, la mezcla se enfrió a temperatura controlada (25 °C) y centrifugado a 9000 rpm durante 20 min a 4 °C; el filtrado se coaguló y se lavó con etanol al 95 % tres veces (Figura 1c y 1d). Posteriormente, el sólido se secó a 40 °C en una estufa de flujo de aire continuo, para obtener pectina cruda. Una vez seca, fue disuelta en agua desionizada a 4 °C durante 48 h, después de esto, la muestra pasó a sonicación en un sonicador Branson 2510, por una hora con intervalos de descanso de 15 s cada 10 min a una potencia de 99 W. Posteriormente, la solución de pectina se secó a 40 °C en una estufa de flujo de aire continuo a 40 °C durante 24 h (Figura 1e). Por último, la muestra pasó a un proceso de molienda y el polvo se empacó en bolsa doble clic y almacenó a 25 °C (Figura 1f).

Caracterización estructural y térmica de la pectina

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La pectina en polvo se esparció sobre una cinta conductora de carbono de doble adhesión, la muestra se fijó en una base de aluminio del microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss EVO LS 10. Consecutivamente, se corrieron a un voltaje de 20.0 kV, a temperatura ambiente, con una resolución de 3-10 nm. Las micrografías fueron tomadas a 500 aumentos [9].

Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros se tomaron en la región de infrarrojo, en un intervalo de 4000-650 cm⁻¹ en el modo de transmitancia, con una resolución de 16 cm⁻¹ y 8 barridos. Los análisis, se llevaron a cabo utilizando un espectrómetro de infrarrojo Perkin-Elmer (Spectrum 100 / 100 N FT-IR).

El grado de esterificación se estimó a partir de la curva de calibración estándar, utilizando la relación de intensidad del área del pico esterificado con metilo (COO-R), entre la suma del área del pico esterificado con metilo (COO-R) y el área del pico de ácido urónico libre (COO-) obtenido de los espectros FTIR [10].

$$\text{Grado de esterificación} = \frac{A(\text{COO-R})}{A(\text{COO-R}) + A(\text{COO-})} \times 100 \quad (1)$$

Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB)

La estabilidad térmica de la pectina se determinó utilizando un calorímetro diferencial de barrido marca TA modelo 2010 (TA instruments, New Castle, DE), calibrado con indio, a un punto de fusión de 156.4 °C, una entalpía de 6.8 cal/g) y una atmosfera de nitrógeno. Se utilizaron 3 mg de la muestra y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, en un rango de temperatura de 50 a 300 °C [9].

Resultados y discusión

Caracterización por MEB

La morfología de las pectinas se analizó mediante MEB a 500 aumentos. La superficie de PC, muestra partículas con tamaños que oscilaron entre 10 y 150 µm, estructura corrugada y aglomerada (Figura 2a). La Figura 2b corresponde a la PMD, la superficie muestra pequeñas fracturas, una apariencia porosa y una estructura laminar. La pectina extraída de cáscara de mango, muestra características morfológicas significativamente diferentes con la pectina comercial. Se consideran diferentes factores que pueden provocar la diferencia, entre ellos, la sonicación, el método y la fuente de extracción. Según lo reportado por Vinatoru y Minjares-Fuentes [11, 12], la sonicación desempeña un papel importante en la ruptura del tejido vegetal y la mejora de los rendimientos de extracción de material pectinoso. De igual manera, las vibraciones del sonicador, podrían explicar la porosidad y los filamentos presentes en la superficie de la PMD.

La PMD mostró una estructura similar a las reportadas por Yang [13], donde utilizaron pulpa de papa, de la cual la estructura de la pectina es filamentosa, muy delgada y dispersa en la superficie. De igual manera, presenta estructuras similares a la pectina de maracuyá, reportada por Liew [14], donde muestra micrografías de pectina con estructura compacta y escamosa, y a la pectina obtenida de cáscara de toronja, donde usaron ácido cítrico y sonicación para su extracción [15], similar al método utilizado en este trabajo.

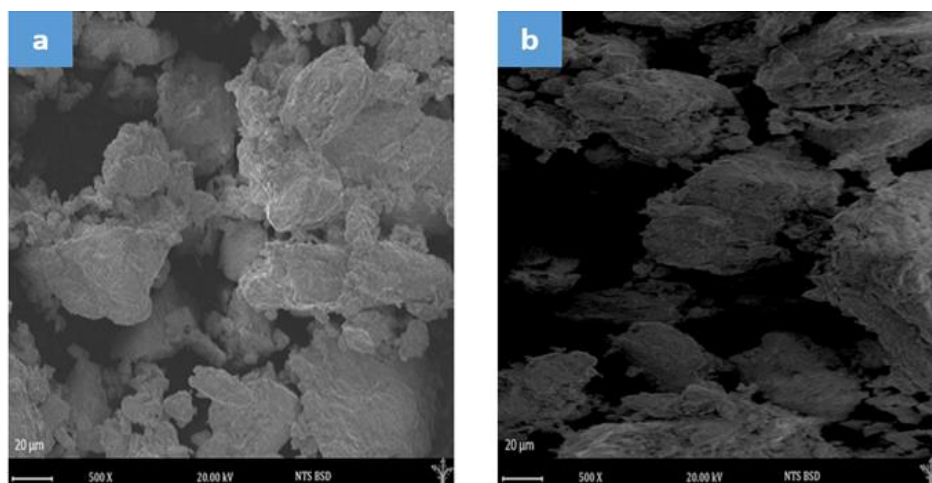


Figura 2. Microscopia de la estructura de pectina comercial (a) y pectina de cáscara de mango (b)

Caracterización por FTIR

La Figura 3 muestra los espectros obtenidos de PC y PMD. Para ambas muestras, las absorciones mayores en el pico de 3321 cm^{-1} , fueron causados por el estiramiento de los O-H. El pico de absorción se amplió debido a la formación de enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares. La absorción a 2918 y 1223 cm^{-1} , fue correspondiente al estiramiento de C-H de los grupos CH, CH₂ y CH₃, y el pico en 1320 cm^{-1} corresponde a los C-O-C [16]. Los picos en el rango de $1010 - 1100\text{ cm}^{-1}$ indican la presencia de piranosa y el anillo de furanosa [17].

Los espectros presentaron dos bandas intensas, la primera en 1731 cm^{-1} , se atribuye a la vibración de estiramiento de los grupos carbonilo esterificados con metilo (C=O) y la segunda a 1617 cm^{-1} , característica de los grupos carboxilo [18]. Utilizando el área de estas señales, se puede determinar el grado de esterificación de la pectina.

El grado de esterificación se determinó a partir de la ecuación 1: $A_{1731} / (A_{1731} + A_{1617}) \times 100$, utilizando la relación de intensidad de la señal de las bandas, multiplicados por el área de los picos [10, 19]. La pectina con un grado de esterificación ($> 50\%$) se denota como pectina de alto nivel de metoxilo (HM) mientras que la pectina con un grado de esterificación ($< 50\%$) se denota como pectina de bajo nivel de metoxilo (LM) [20].

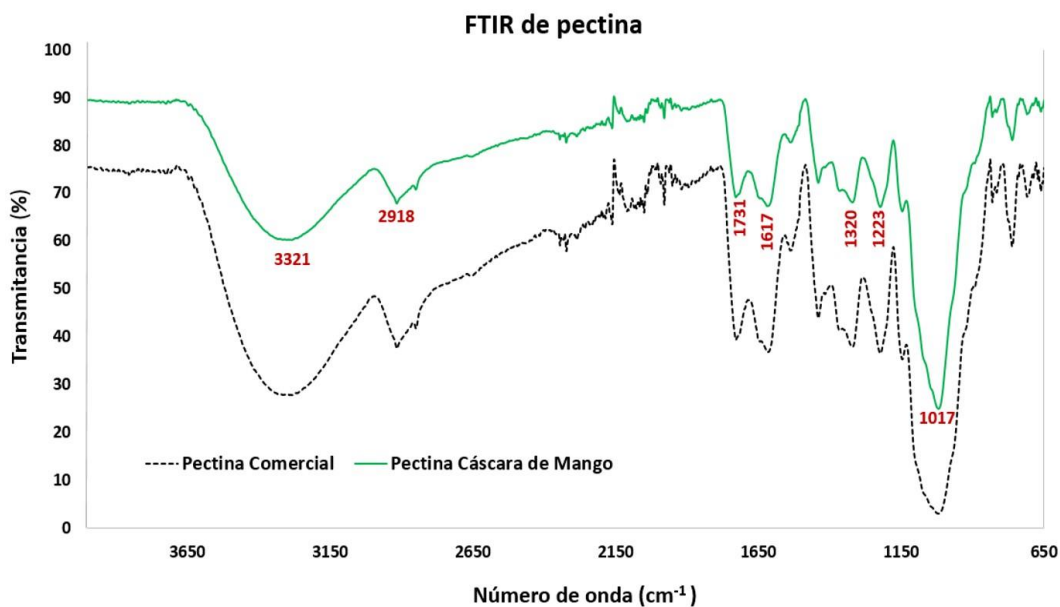


Figura 3. Espectros infrarrojos de transformada de Fourier (FT-IR) de pectina de cáscara de mango de desecho y pectina comercial

La pectina comercial se encuentra caracterizada con un grado de esterificación de 75 %. Con base a esta curva, se obtuvo el grado de esterificación de la PMD de 52.41%. Por lo tanto, a partir del uso de cáscara de mango de desecho y utilizando un método ácido-térmico, se obtienen pectinas de alto nivel de metoxilo, ya que su grado de esterificación es > 50. Mientras mayor sea el grado de esterificación, las propiedades gelificantes de las soluciones acuosas de pectina, mejoran, además, el tiempo requerido para la gelificación, disminuye [21].

Los resultados son similares a los reportados por Wang [15], en pectinas extraídas de cáscara de toronja por cavitación acústica, los grados de esterificación en estos residuos fueron de 48.5 a 50 %. De igual manera, un análisis de pectina de cáscara de mango de 8 cultivos de diferentes regiones, se determinó un grado de esterificación promedio de 65.21 %, siendo Guifei, una variedad de mango cultivado en China, el más similar al reportado en este trabajo, con 53.64 %. Además, esta variedad presentó la emulsión más estable y la elasticidad más sólida, características muy solicitadas en la industria de alimentos [16].

Calorimetría Diferencial de Barrido de pectina

Se realizó un análisis de calorimetría para determinar el comportamiento térmico de la pectina extraída de cáscara de mango y compararlo con la pectina comercial.

En la Tabla 1, se registran las temperaturas y entalpías de PC y PMD obtenidas durante el análisis térmico. Se observan tres temperaturas importantes para PDM, la primera es la de transición cristalina del biopolímero ($T_g = 158.3 \text{ }^\circ\text{C}$), la segunda representa la temperatura de cristalización ($T_c = 216.35 \text{ }^\circ\text{C}$) y la tercera es la temperatura de fusión ($T_m = 251.5 \text{ }^\circ\text{C}$).

La entalpía de fusión para PC fue de 59.67 J/g y la de PMD fue de 93.25 J/g, esta diferencia de entalpía, indica que la PMD necesita un mayor flujo de calor para que la muestra pueda ser degradada.

Tabla 1. Registros de temperaturas y entalpías de pectinas

	$T_m \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta H_m \text{ J/g}$	$T_g \text{ }^\circ\text{C}$	$T_c \text{ }^\circ\text{C}$	$T_m \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta H_m \text{ J/g}$
	Pico endotérmico		Pico exotérmico			
PMD	135.8	128.65	158.3	225.8	251.5	93.25
PC	115.3	135.7	145.6	218.1	241.2	59.67

En la Figura 4, se muestran los termogramas obtenidos. El análisis DSC de PC y PMD mostró una transición endotérmica a 115.3 y 135.8 °C, respectivamente, señal que se debe a la pérdida de moléculas de agua [20].

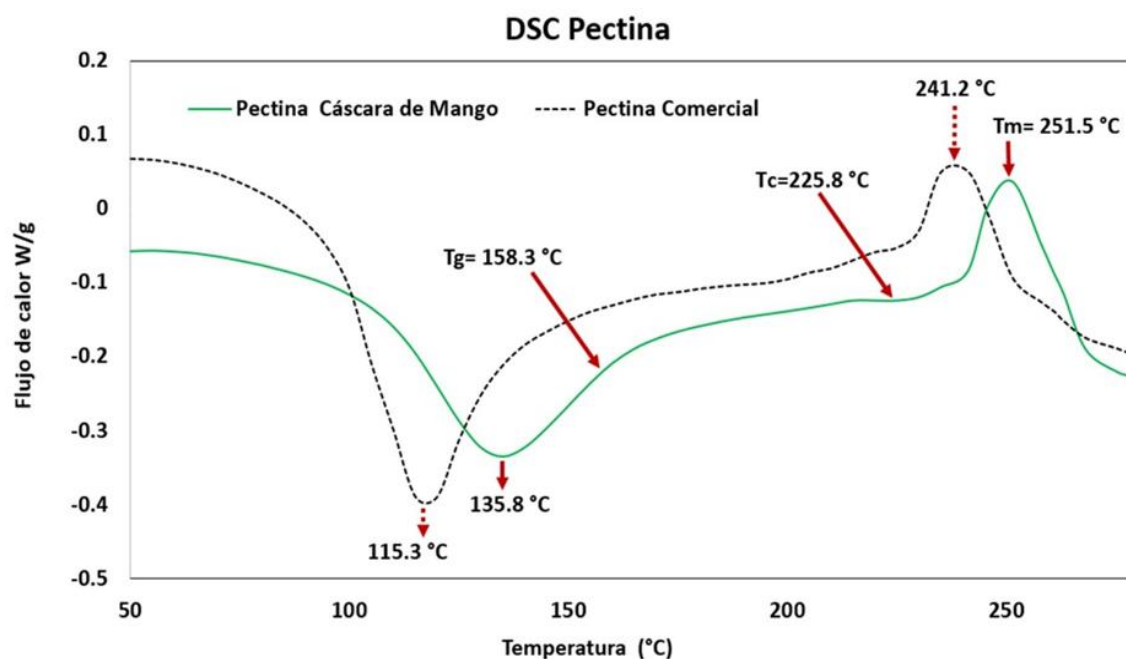


Figura 4. Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) de pectina de cáscara de mango de desecho y pectina comercial

En ambas muestras se puede observar una transición exotérmica aguda, esto indica que las muestras tienen amplio rango de fusión y una buena estabilidad térmica [16]. En la segunda señal, los picos para PC y PMD se mostraron en 241.2 °C y 251.5 °C, respectivamente. Las señales a esta temperatura, indican el flujo de calor necesario para la degradación de la pectina [22].

Los resultados indican que PMD es térmicamente más estable que PC, lo que significa que la muestra PMD, podría ser utilizada en procesos que impliquen mayor exposición al calor. La fuente de extracción de la pectina, puede variar sus propiedades térmicas. De igual manera, los métodos de extracción, y las condiciones ambientales influyen de manera considerable en la capacidad térmica del biopolímero.

Hosseini [23] reportó que la T_m de la cáscara de cereza agria es de 252.15 °C, otros estudios reportan que la cáscara de caquis presenta una T_m de 248.26 °C [24] y la morera negra una T_m de 251.82 °C [25]. Las propiedades térmicas de PMD, son similares a las fuentes mencionadas anteriormente e incluso, todas estas fuentes tuvieron mayor estabilidad térmica que la pectina comercial utilizada en este trabajo. Una de las características principales de las pectinas comerciales es su estabilidad térmica, esta particularidad les da valor agregado para su uso en la industria de alimentos, al encontrar una pectina de cáscara de mango de desecho con propiedades similares, abre una oportunidad para su aprovechamiento, producción y uso comercial.

Trabajo a futuro

Es necesario determinar los grados de ácido galacturónico, análisis de compuestos fenólicos y análisis reológicos. Esto con la finalidad de determinar la capacidad de esta pectina para su uso en la industria alimentaria, farmacéutica entre otras.

Conclusión

Se obtuvo pectina a partir de mango de desecho variedad Ataulfo, utilizando un método con ácido cítrico, temperaturas variables y sonicación. Los resultados de MEB muestran pectinas con estructura porosa y laminar, y un grado de esterificación de 52.41 %, que la denota como pectina de alto nivel de metoxilo y, con una buena estabilidad térmica (temperatura de degradación = 251.5 °C). La pectina de cáscara de mango presentó menor grado de esterificación, en comparación con la pectina comercial. Sin embargo, existen trabajos anteriores que indican que pectinas con grado de esterificación de 50 a 75 % pueden ser utilizadas en la industria de alimentos, por su buena capacidad para gelificar. Consecuentemente, es necesario seguir buscando alternativas que ayuden a proporcionar valor agregado a los residuos agrícolas y agroindustriales, y como secuela, la mitigación de los impactos ambientales que estos residuos generan en los ecosistemas.

Referencias

- [1] J. Müller-Maatsch, M. Bencivenni, A. Caligiani, T. Tedeschi, G. Bruggeman, M. Bosch, and S. Sforza, "Pectin content and composition from different food waste streams," *Food Chemistry*, Vol. 201, pp. 37-45, 2016.
- [2] B. R. Sharma, L. Naresh, N. C. Dhuldhoya, S. U. Merchant, and U. C. Merchant, "An overview on pectins," *Times Food Processing Journal*, vol. 23 no.2, pp. 44-51, 2006.
- [3] SAGARPA-SIAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Atlas agroalimentario, 2018, Available: http://siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2017/AtlasAgroalimentario2017.
- [4] M. A. Lorenzo-Santiago, A. L. Juárez-López, J. L. Rosas-Acevedo, J. R. Rendón-Villalobos, J. Toribio-Jiménez, and E. García-Hernández, "Management and Final Disposal of Mango Waste in the State of Guerrero, Mexico: A Brief Review," *Journal of Agricultural Science*, vol.10, no. 12, pp.34-41, 2018.
- [5] C. M. Ajila, M. Aalami, K. Leelavathi, and U. P. Rao, "Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol.11 no.1, pp. 219-224, 2010.
- [6] N. O'Shea, E. Arendt, and E. Gallagher, "Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol.16, pp.1-10, 2012.
- [7] FAOSTAT, F. and A. Organization of the United Nations, FAO, 2017. Available: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.
- [8] W. Wang, X. Ma, P. Jiang, L. Hu, Z. Z. J. Chen, T. Ding, Y. Xingqian, and L. Donghong, "Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions," *Food Hydrocolloids*, vol. 61, pp.730-739, 2016.

- [9] R., Rendón-Villalobos, E., García-Hernández, M., Güizado-Rodríguez, R., Salgado-Delgado, and N. A. Rangel-Vázquez, "Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) acetilado a diferentes grados de sustitución," *AFINIDAD*, vol.67, no.547, pp. 294-300, 2010.
- [10] C. S. Pappas, A. Malovikova, Z. Hromadkova, P. A. Tarantilis, A. Ebringerova, and M. G. Polissiou, "Determination of the degree of esterification of pectinates with decyl and benzyl ester groups by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) and curve-fitting deconvolution method," *Carbohydrate Polymers*, vol. 56 no. 4, pp. 465-469, 2004.
- [11] M. Vinatoru, "An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs," *Ultrasonics sonochemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 303-313, 2001.
- [12] R. Minjares-Fuentes, A. Femenia, M. C. Garau, J. A. Meza-Velázquez, S. Simal, and C. Rosselló, "Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: a response surface methodology approach," *Carbohydrate Polymers*, vol.106, pp. 179-189, 2014.
- [13] J. S. Yang, T. H. Mu, and M. M. Ma, "Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp," *Food chemistry*, vol. 244, pp.197-205, 2018.
- [14] S. Q. Liew, N. L. Chin, and Y. A. Yusof, "Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 231-236, 2014.
- [15] W. Wang, X. Wu, T. Chantapakul, D. Wang, S. Zhang, X. Ma, and D. Liu, "Acoustic cavitation assisted extraction of pectin from waste grapefruit peels: A green two-stage approach and its general mechanism," *Food Research International*, vol. 102, pp. 101-110, 2017.
- [16] Z. Deng, Y. Pan, W. Chen, W. Chen, Y. Yun, Q. Zhong, and H. Chen, "Effects of cultivar and growth region on the structural, emulsifying and rheological characteristic of mango peel pectin," *Food Hydrocolloids*, vol. 103, pp.1-10, 2020.
- [17] L. C. Vriesmann, and C. L. de Oliveira Petkowicz, "Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): Structural characterization of a pectic fraction," *Carbohydrate Polymers*, vol. 77 no.1, pp. 72-79, 2009.
- [18] A. K. Chatjigakis, C. Pappas, N. Proxenia, O. Kalantzi, P. Rodis, and M. Polissiou, "FT-IR spectroscopic determination of the degree of esterification of cell wall pectins from stored peaches and correlation to textural changes," *Carbohydrate Polymers*, vol. 37, no.4, pp. 395-408,1998.
- [19] F. Priyangini, S. G. Walde, and R. Chidambaram, "Extraction optimization of pectin from cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.) with ascorbic acid using response surface methodology," *Carbohydrate polymers*, vol. 202, pp. 497-503, 2018.
- [20] U. Einhorn-Stoll, and H. Kunzek, "Thermoanalytical characterisation of processing-dependent structural changes and state transitions of citrus pectin," *Food Hydrocolloids*, vol. 23, no.1, pp. 40-52, 2009.
- [21] I. Saldamli, "Gıda Kimyası," Hacettepe University Publications, Ankara, Turkey. 2005.
- [22] Z. Qin, H. M. Liu, X. C. Cheng, and X. D. Wang, "Effect of drying pretreatment methods on structure and properties of pectins extracted from Chinese quince fruit," *International journal of biological macromolecules*, vol. 137, pp. 801-808, 2019.
- [23] S. Hosseini, K. Parastouei, and F. Khodaiyan, "Simultaneous extraction optimization and characterization of pectin and phenolics from sour cherry pomace," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 158, pp. 911-921, 2020.
- [24] Y. Jiang, Y. Xu, F. Li, D. Li, and Q. Huang, "Pectin extracted from persimmon peel: A physicochemical characterization and emulsifying properties evaluation," *Food Hydrocolloids*, vol. 101, no.105561, 2020.
- [25] F. Khodaiyan, and K. Parastouei, "Co-optimization of pectin and polyphenols extraction from black mulberry pomace using an eco-friendly technique: Simultaneous recovery and characterization of products," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 164, pp.1025-1036, 2020.