

Obtención de pectina a partir del albedo de maracuyá y limón tahití a través de hidrólisis química

Juan Pablo Ibarra-Egas

Jaime Andrés Ordoñez-Villegas

Estudiantes de Ingeniería de procesos
Universidad Mariana

Iván Alexander Ortiz-Cabrera

Profesor de Ingeniería de procesos
Universidad Mariana

Introducción

La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de obtener pectina a partir del albedo de limón tahití (*Citrus Latifolia*) y maracuyá (*Passiflora Edulis*) a través de hidrólisis química, empleando un ácido orgánico débil como el ácido cítrico. Para ello se caracterizó la materia prima y, se determinó las condiciones óptimas de extracción, haciendo uso de un diseño de superficie de respuesta Box-Behnken que dio como resultado, 27 experimentos para cada una de las materias primas.

Se tomó en cuenta como variables independientes, la temperatura, tiempo de extracción, tamaño de partícula y concentración de ácido; y, como variables de respuesta, el rendimiento de la extracción de pectina.

El modelo seleccionado se ajustó a un modelo cuadrático con un R^2 de 91,45 % para el albedo de limón tahití y, de 90,91 % para el albedo de maracuyá. Se determinó que, las condiciones óptimas para la extracción de pectina a partir de albedo de limón tahití, maximizando el rendimiento de extracción, fueron: temperatura, 58,55 °C; tiempo de extracción, 30,10 minutos; tamaño de partícula, 215,92 μm y, concentración de ácido de 4,46 %, alcanzando así un rendimiento de 27,20 %.

En cuanto a las condiciones óptimas para la extracción de pectina a partir de albedo de maracuyá, maximizando el rendimiento de extracción, se encontró una temperatura de 53,264 °C; tiempo, 49,989 minutos; tamaño de partícula, 222,67 μm ; y, concentración de ácido de 2,59 %, alcanzando así un rendimiento de 23,86 %, con una deseabilidad del 100 % en los dos casos.

Finalmente, el análisis de espectroscopia infrarroja FT-IR indicó que, la pectina obtenida es de un alto nivel de metoxilo y poder gelificante, cuya aplicación es posible en la industria alimentaria.

El maracuyá (*Passiflora edulis*) “es una planta enredadera, que ha sido introducida y cultivada con gran interés comercial en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Es altamente apreciada por su fruto, debido a los beneficios que proporciona” (Álvarez et al., 2011, p. 1); también, por su alta cantidad de agua, vitamina C, beta caroteno, además de minerales como fósforo, potasio y magnesio (Taborda, 2013), alcanzando una producción mundial de 1,5 millones de toneladas en 2017, gracias a las fuertes cosechas realizadas en Brasil, considerado el productor más importante (Altendorf, 2018). En Colombia, la producción en el año 2019 alcanzó una cifra de 137.456 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Su producción implica la generación de residuos, bagazo y cáscara, siendo esta última, el residuo principal, considerado como potencial por su gran cantidad generada: alrededor de 50 % a 60 % del fruto en base húmeda (Taborda, 2013).

De otro lado, uno de los cítricos frescos producidos en el mundo es el limón persa (tahití). Gil (2015, citado por Arias y Suarez, 2016) sostiene que México es uno de los exportadores vitales, cuyo “principal destino es Estados Unidos, quien en 2015 demandó del mundo 295.849 toneladas” (p. 20). En Colombia,

según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA [...] durante el año 2014 en Colombia se obtuvo una producción de 360.836 toneladas de limón (común, pajarito o de Castilla y Tahití). [...] El departamento de Nariño es el principal productor con 254.404 toneladas que corresponden al 70,5 % de la producción total. [...] Es de anotar que Nariño presenta rendimientos de 22 toneladas por hectárea al año, superando el promedio nacional. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, 2015, pp. 1-2)

Guzmán (2013) manifiesta que, este producto

no es un limón propiamente dicho, sino que corresponde a una variedad de la clasificación de las limas ácidas que crece de manera silvestre. Aparentemente, esta variedad se originó de plántalos de frutas provenientes de Tahití; de ahí su nombre. (p. 2-3)

Esta fruta cítrica tiene una excelente calidad y uniformidad; es una variedad con árboles vigorosos de abundante producción, que crece desde el nivel del mar hasta los 2200 metros de altitud; tiene bondades en la acción terapéutica y curativa en hepatitis, estados gripales o inflamaciones; presenta un contenido de jugo entre el 40 % y 60 % o más, en base húmeda, con un índice de acidez entre 5 % y 10 %; su aceptación en la vida diaria se debe a su alto valor nutritivo.

“El consumo de alimentos es de carácter masivo y la industria dedicada a la elaboración de los mismos tiene una particular relevancia dentro de la producción y desempeño económico [regional y] nacional” (Carrillo, 2009, p. 2). La pectina es un polisacárido que absorbe gran cantidad de agua (Chasquibol et al., 2008) y, “es un producto tecnológicamente funcional, de interés para la industria de alimentos en el desarrollo de productos, por sus propiedades reológicas que son favorables para la elaboración de diferentes productos, aportando así a la textura y consistencia” (D’Addosio et al., 2005, p. 12).

Tradicionalmente, la pectina ha sido extraída de frutas cítricas y de pulpa de manzana, que proporcionan mayores rendimientos y permiten alcanzar el 70 % en el proceso de extracción (Urango-Anaya et al., 2018). Dado que la industria de alimentos ha evolucionado con el paso del tiempo, han surgido muchos compuestos químicos con actividad antimicrobiana (Rodríguez, 2011), relacionados directamente con la seguridad alimentaria. Además, la pectina puede ser utilizada como un aditivo y/o coagulante, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2005), quienes la reconocen como segura y sin restricciones para ser utilizada en este tipo de industria, porque tiene la propiedad de formar geles en medio ácido y en presencia de azúcares. La mayor parte de las frutas, en especial las cítricas, contienen pectina, pero no en la cantidad suficiente para gelificar, por lo que es necesario agregar una determinada cantidad de ella para elaborar ciertos alimentos.

Existe una demanda comercial considerable en cuanto a la pectina; por ejemplo, el uso y aplicación en la industria cosmética, como agente coagulante en sus formulaciones (Calderón y Concuá, 2015). De igual manera, se encuentra inscrita en la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), como un aditivo seguro, sin límites de consumo diario, por lo que ha sido ampliamente utilizada como excipiente en la formulación de comprimidos matriciales, geles, cubiertas de formas farmacéuticas, etc. (Mamani et al., 2011).

Su principal desafío es extraerla de los residuos (cáscara) de frutas, con la más alta eficiencia; para ello se ha empleado diversas técnicas; entre las convencionales, por arrastre de vapor e hidroddestilación; dentro de las no convencionales, la extracción asistida por microondas (EAM) y la extracción por hidrólisis ácida, que es aplicada ampliamente a nivel industrial (Qiu et al., 2010).

El presente estudio realiza la extracción de pectina de la cáscara de maracuyá y limón tahití, comparando diversas investigaciones con el método de hidrólisis ácida, obteniendo rendimientos de extracción entre el 10 y el 70 % (Pinheiro et al., 2008; Liew et al., 2014; Freitas et al., 2016). Estudios realizados por Kalapathy y Proctor (2001) indican que la extracción con ácido clorhídrico (HCl) genera mayores rendimientos, mejor calidad de pectina y menor consumo de alcohol en la precipitación. Sin embargo, existen reportes de extracción de pectina de diferentes cáscaras asistidas por microondas, que no tienen en cuenta la variación de la concentración del ácido utilizado, el cual ofrece un gran aporte en la hidrólisis de la protopectina y exposición de la pectina al solvente (Seixas et al., 2014).

Por todo lo anterior, el objetivo de este proyecto es evaluar técnicamente diferentes configuraciones de temperatura, tiempo de extracción, concentración de ácido y tamaño de partícula en la hidrólisis química, utilizando ácido cítrico, para la producción de pectina a partir del albedo de *Passiflora edulis* y *Citrus latifolia* y, así, obtener un mayor rendimiento en el proceso.

Desarrollo

Caracterización fisicoquímica de la materia prima

En la Tabla 1 se presenta los resultados de las pruebas fisicoquímicas realizadas en los albedos de maracuyá y limón tahití.

Al tomar las referencias de Chung et al. (2018) y Cerón-Salazar y Cardona-Alzate (2011) para el albedo de maracuyá y limón tahití respectivamente, se estima que están dentro de los rangos normales. Por otra parte, observando los resultados y con base en la información presentada por Jacomini (2018), el maracuyá, al poseer más porcentaje de pectina a extraer, contiene mayores cantidades de holocelulosas, hemicelulosas y α -celulosas en el albedo ya pretratado; en cambio, en el limón tahití se da, aproximadamente, la mitad del contenido de estas características.

Tabla 1

Análisis fisicoquímico de las materias primas

Materia	Cenizas	Holocelulosa	Hemicelulosa	α -celulosa	Lignina Klason insoluble	Total
Maracuyá	1,64 % ± 0,09 %	63,44 % ± 1,78 %	19,16 % ± 8,46 %	59,16 % ± 7,13 %	19,88 % ± 5,43 %	84,95 %
Limón tahití	2,75 % ± 0,10 %	31,4 % ± 1,81 %	57,944 % ± 4,07 %	26,60747 % ± 4,64 %	11,06 % ± 4,63 %	45,14 %

Diseño experimental

Limón tahití

En la Tabla 2 se presenta los resultados obtenidos en la ejecución experimental de la variable de respuesta estudiada, ajustándose al modelo cuadrático. En cuanto al rendimiento de extracción de pectina se evidenció un efecto significativo en la variable del tiempo ($p < 0,0001$), la cual dio la pauta para el estudio de las condiciones óptimas de extracción.

Tabla 2

Ajuste de modelo

Fuente	Secuencial p-valor	Falta o Ajuste p-valor	R ² Ajustado	R ² Previsto	
Lineal	0,2031	0,0237	0,0879	-0,0219	
2FI	0,7071	0,0205	-0,0155	-0,2044	
Cuadrático	< 0.0001	0,2133	0,9145	0,7791	Sugerido
Cúbico	0,3476	0,1946	0,9382	-0,1060	

En la Tabla 3, a continuación, se puede observar el ANOVA ajustado al modelo cuadrático.

Es posible evidenciar que, los valores P-Value de las variables Tiempo y Temperatura son inferiores a 0,05; esto quiere decir que, afectan de manera directa el rendimiento de extracción de la pectina, al igual que la interacción entre las variables tiempo-tamaño de partícula y concentración de ácido-tamaño de partícula.



Tabla 3

ANOVA para modelo cuadrático limón tahití

Fuente	Suma de Cuadrados	df	Cuadrados Medios	F-valor	p-valor	
Modelo	502,07	14	35,86	20,86	< 0.0001	Significante
A-Temperatura	4,40	1	4,40	2,56	0,1355	
B-Tiempo	79,88	1	79,88	46,46	< 0.0001	
C-Concentración de ácido	26,91	1	26,91	15,65	0,0019	
D-Tamaño de partícula	8,10	1	8,10	4,71	0,0507	
AB	1,70	1	1,70	0,9906	0,3393	
AC	5,98	1	5,98	3,48	0,0869	
AD	8,85	1	8,85	5,15	0,0425	
BC	1,07	1	1,07	0,6231	0,4452	
BD	51,98	1	51,98	30,24	0,0001	
CD	7,16	1	7,16	4,16	0,0640	
A ²	203,31	1	203,31	118,25	< 0.0001	
B ²	28,22	1	28,22	16,42	0,0016	
C ²	185,13	1	185,13	107,68	< 0.0001	
D ²	92,87	1	92,87	54,02	< 0.0001	
Residual	20,63	12	1,72			
Falta o Ajuste	19,66	10	1,97	4,07	0,2133	No significativo
Error	0,9665	2	0,4832			
Total	522,70	26				

Por otro lado, en la Tabla 4 se observa el establecimiento de los rangos de importancia para la optimización del proceso de extracción de pectina, donde a cada una de las variables independientes se le asignó una importancia de 3, mientras que, al rendimiento, se le asignó una importancia de 5, con el objetivo de maximizarlo.

Tabla 4

Parámetros de optimización

Fuente	Objetivo	Límite Inferior	Límite Superior	Importancia Mínima	Importancia Máxima	Importancia
A: Temperatura	En rango	40	80	1	5	3
B: Tiempo	En rango	30	180	1	5	3
C: Concentración de ácido	En rango	2	6	1	5	3
D: Tamaño de partícula	En rango	180	300	1	5	3
Rendimiento	Maximizar	11,38	26,8	1	5	5

En la Tabla 5 se indica las principales soluciones de optimización y las mejores condiciones para la extracción de pectina. Cabe resaltar que, los valores encontrados para las variables se encuentran dentro de los rangos establecidos inicialmente, mientras que el valor del rendimiento está fuera del rango, debido a que se maximiza.

Tabla 5

Condiciones óptimas

Fuente	Temperatura	Tiempo	Concentración de ácido	Tamaño de partícula	Rendimiento	Deseabilidad	
1	58,557	30,106	4,463	215,927	27,203	1,000	Seleccionado
2	60,613	40,506	3,942	233,860	26,842	1,000	
3	59,001	44,743	4,354	222,959	27,293	1,000	

Ramírez-Hernández et al. (2016), al evaluar el efecto del tamaño de partícula en niveles de entre 200 y 600 μm , apreciaron un efecto significativo sobre el rendimiento estandarizado de la pectina. El rendimiento se maximiza cada vez que el tiempo sale del rango establecido, debido a lo cual el valor óptimo del tiempo en el proceso de extracción de pectina es de 60(min) aproximadamente (Pinheiro et al., 2008)

Diseño experimental

Maracuyá

En la Tabla 6 se presenta los resultados obtenidos en la ejecución experimental de la variable de respuesta estudiada, ajustándose al modelo cuadrático. Sobre el rendimiento de extracción de pectina se evidenció un efecto significativo en la variable del tiempo ($p < 0,0001$), la cual dio la pauta para el estudio de las condiciones óptimas de extracción.

Tabla 6

Ajuste de modelo

Fuente	Secuencial p-valor	Falta o Ajuste p-valor	R ² Ajustado	R ² Previsto	
Linear	0,0988	0,0141	0,1591	-0,0649	
2FI	0,6364	0,0126	0,0907	-0,6137	
Cuadrático	< 0.0001	0,1146	0,9091	0,7618	Sugerido
Cubico	0,4842	0,0786	0,9165	-0,7068	

En la Tabla 7 se puede evidenciar el ANOVA ajustado al modelo cuadrático.

Es posible evidenciar que, los valores P-Value de las variables Tiempo, Concentración de ácido y Temperatura son inferiores a 0,05; esto quiere decir que, afectan de manera directa el rendimiento de extracción de la pectina (Pinheiro et al., 2008) al igual que la interacción entre las variables Temperatura-tiempo, Temperatura-concentración de ácido, Temperatura-tamaño de partícula, Tiempo-concentración de ácido. Asimismo, se halló un efecto significativo de las relaciones entre las variables Tiempo de extracción ($p < 0,001$), Concentración de ácido ($p < 0,0211$) y Tamaño de partícula ($p < 0,0012$), que fueron significativas en el rendimiento del proceso.

Por otra parte, en la Tabla 8 fueron establecidos los rangos de importancia para la optimización del proceso de extracción de pectina, donde a cada una de las variables independientes se le asignó una importancia de 3, mientras que al rendimiento se le dio una importancia de 5, con el objetivo de maximizarlo.



Tabla 7

ANOVA para modelo cuadrático maracuyá

Fuente	Suma de Cuadrados	df	Cuadrados Medios	F-valor	p-valor	
Modelo	73,48	14	5,25	19,56	< 0.0001	Significante
A-Temperatura	0,1496	1	0,1496	0,5577	0,4696	
B-Tiempo	15,32	1	15,32	57,11	< 0.0001	
C-Concentración de ácido	1,89	1	1,89	7,04	0,0211	
D-Tamaño de partícula	4,76	1	4,76	17,75	0,0012	
AB	2,24	1	2,24	8,33	0,0137	
AC	1,46	1	1,46	5,46	0,0377	
AD	1,92	1	1,92	7,15	0,0203	
BC	0,2256	1	0,2256	0,8410	0,3772	
BD	5,29	1	5,29	19,72	0,0008	
CD	0,5256	1	0,5256	1,96	0,1869	
A²	3,79	1	3,79	14,11	0,0027	
B²	0,3136	1	0,3136	1,17	0,3009	
C²	0,1776	1	0,1776	0,6621	0,4317	
D²	35,29	1	35,29	131,56	< 0.0001	
Residual	3,22	12	0,2683			
Falta o Ajuste	3,14	10	0,3142	8,12	0,1146	No significativa
Error	0,0774	2	0,0387			
Total	76,70	26				

Tabla 8

Parámetros de optimización maracuyá

Fuente	Objetivo	Límite inferior	Límite superior	Importancia mínima	Importancia máxima	Importancia
A: temperatura	En rango	40	80	1	5	3
B. tiempo	En rango	30	180	1	5	3
C: concentración de ácido						
	En rango	2	6	1	5	3
D. tamaño de partícula						
	En rango	180	300	1	5	3
Rendimiento	Maximizar	11,38	26,8	1	5	3

En la Tabla 9 se puede observar las principales soluciones de optimización y las mejores condiciones para la extracción de pectina a partir del albedo de maracuyá. Cabe resaltar que, los valores encontrados para las variables están dentro de los rangos establecidos inicialmente mientras que, el valor del rendimiento se encuentra fuera del rango, debido a que se maximiza.

Tabla 9

Condiciones óptimas maracuyá

Fuente	Temperatura	Tiempo	Concentración de ácido	Tamaño de partícula	Rendimiento	Deseabilidad	
1	53,263	49,989	2,592	222,679	23,869	1,000	Seleccionado
2	40,000	30,000	4,000	240,000	23,534	1,000	
3	49,490	31,830	2,845	222,977	24,263	1,000	

La temperatura y tiempo óptimo de extracción es de 60 °C y 60 min, respectivamente. Ramírez-Hernández et al. (2016), al evaluar el efecto del tamaño de partícula en niveles de entre 200 y 600 µm, encontraron un efecto significativo sobre el rendimiento estandarizado de la pectina. El rendimiento se maximiza cada vez que el tiempo, concentración de ácido o tamaño de partícula salen de los rangos establecidos (Pinheiro et al., 2008)

Caracterización de la pectina

En las Figuras 1 y 2 se puede evidenciar los espectros de FT-IR tanto para limón tahití como para maracuyá, respectivamente, donde se observa características similares, evidenciando picos a longitudes de onda de 3417,86 cm⁻¹ y 3425,58 cm⁻¹, debido a las vibraciones de tensión del grupo O-H, indicando la existencia de estos grupos en la estructura de la pectina. La banda a longitudes de onda de 2922,16 cm⁻¹ corresponde a la tensión del grupo C-H de los grupos CH₂. Los picos entre longitudes de onda de 1647,21cm⁻¹ a 1653cm⁻¹ corresponden a la banda de vibración de tensión del grupo C=C, mientras que las bandas que aparecen entre 1276,88 cm⁻¹ a 1444,68 cm⁻¹ corresponden a los grupos carboxílicos de los grupos C-O y de los grupos O-H de la pectina. Los picos a 1371,39 cm⁻¹ a 1444,68 cm⁻¹ atañen a la banda de vibración de tensión del C-O-H. Los picos a 1276,88 cm⁻¹ y 1282,66 cm⁻¹ son la banda de vibración de tensión asimétrica del C-O-C, e indican la abundancia de los grupos metoxilos (O-CH₃) (Chasquibol et al., 2008).

Las bandas de mayor importancia son aquellas presentes alrededor de 1737,86 cm⁻¹ y 1741,72 cm⁻¹, indicando la existencia de grupos Ester metílicos, los cuales son útiles para determinar el grado de esterificación. Para la identificación de pectinas de alto y bajo metoxilo (Manrique y Lajolo, 2002), los picos a 1020,34 cm⁻¹ y 1024,20 cm⁻¹ indican la banda de vibración de tensión del grupo simétrico C-O-C. La presencia de ambas bandas confirma el alto grado de esterificación y la presencia de pectina de alto metoxilo en el albedo del maracuyá y en el limón tahití, respectivamente.

A partir del análisis anterior, es posible afirmar que se obtuvo pectina de alto contenido de metoxilos debido a las altas vibraciones de tensión de las bandas. Gracias a la capacidad gelificante que depende de su grado de metilación, la pectina obtenida puede ser empleada en el procesamiento de frutas, mermeladas, jaleas (Chasquibol et al., 2008).



Figura 1

Espectro IR de la pectina de limón tahití

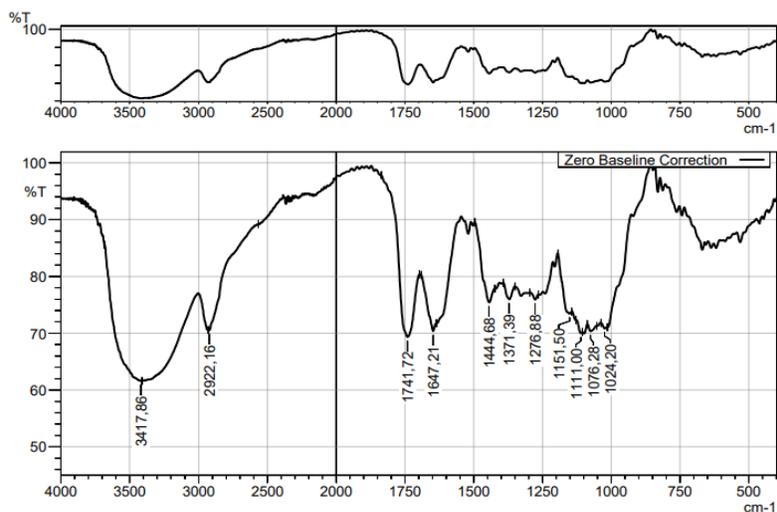
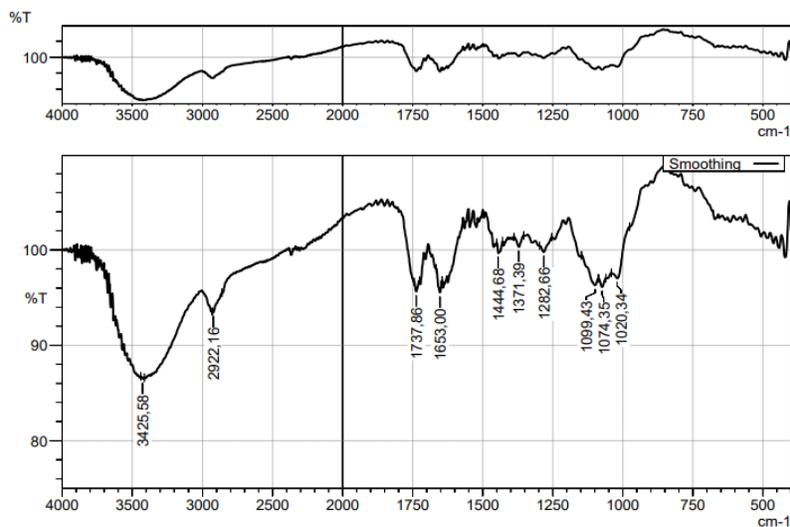


Figura 2

Espectro IR de la pectina de limón tahití



Conclusiones

Se determinó que, la producción de pectina en función de las frutas de maracuyá y limón tahití fueron satisfactorias. Los métodos utilizados para la caracterización fisicoquímica de las materias primas resultaron muy eficientes.

Los contenidos de holocelulosas, hemicelulosas y α -celulosas fueron de alto porcentaje, lo cual es favorable, ya que la pectina se compone de azúcares presentes en estas moléculas.

De los factores variados en sus distintos niveles podemos afirmar que, el tiempo de extracción tiene mayor efecto significativo en el rendimiento de pectina del albedo de *pasiflora edulis* y *citrus latifolia*. De igual manera, la variable Concentración de ácido tiene efecto significativo en el rendimiento en ambas cortezas.

Al variar el tamaño de partícula manteniendo la velocidad de agitación constante, no existe una gran diferencia en el rendimiento en el limón tahití; en cambio, en la corteza de maracuyá sí tuvo un efecto significativo, siendo relativamente mayor cuando la partícula es fina.

Evidentemente, cuanto más pequeñas sean las partículas, mayor es la superficie interfacial y más corta la longitud de los poros; por lo tanto, mayor es la velocidad de transferencia de masa. Sin embargo, tamaños excesivamente pequeños pueden hacer que las partículas se apelmacen, lo que dificulta la extracción.

Las características fisicoquímicas y el análisis en espectrómetro infrarrojo confirman que, las pectinas obtenidas son de alto contenido de metoxilo. Por otro lado, el alto grado de esterificación se ve representado en la fuerza y capacidad de gelificación, por lo que es posible emplear este producto en la manufactura de mermeladas, jaleas, confites, yogures de frutas, en bebidas de bajas calorías, alimentos probióticos y, en productos farmacéuticos.

Referencias

- Arias, F. y Suarez, E. (2016). Comportamiento de las exportaciones de limón persa (*Citrus latifolia tanaka*) al mercado de los Estados Unidos. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 5(2), 20-31. <https://doi.org/10.22507/jals.v5n2a2>
- Altendorf, S. (2018). Minor Tropical Fruits. Mainstreaming a niche market. <http://www.fao.org/3/a-l8080e.pdf>.
- Álvarez, U., Albany, M., Burgos, S. y Floribel, M. (2011). *Comparación de las técnicas de extracción de pectina a partir de la cáscara de la Parchita Amarilla (Passiflora Edulis F. Flavicarpa)* [Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela]. <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/3521>
- Calderón, C. M. y Concuá, C. E. (2015). *Extracción de pectina de Malus domestica (manzana) y Daucus carota (zanahoria) para la utilización en suspensiones y emulsiones cosméticas* [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3765.pdf
- Carrillo, D. (2009). La industria de alimentos y bebidas en el Ecuador. <https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2021/04/ALIMENTOS-1.pdf>
- Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Integral evaluation process for obtaining pectin and essential oil. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/401>
- Chasquibol, N., Arroyo, E. y Morales, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, (026), 175-199. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>
- Chung, J. A., Muro, N. P., Ontaneda, M. P., Palas, S. P. y Rodríguez, S. F. (2018). *Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina a base de la cáscara de maracuyá en Quicornac S.A.C.* [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3829?show=full>
- D'Addosio, R., Páez, G., Marín, M., Mármol, Z. y Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(3), 241-251.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2015). Cultivo del limón o lima Tahití (*Citrus latifolia Tanaka*) frente a los efectos de las condiciones climáticas adversas. *Boletín mensual*, (41). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_nov_2015.pdf
- Freitas, C., Giordani, D., Lutckemier, R., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., & Ferreira, L. D. (2016). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.027>
- Guzmán, R. (2013). *Rhizoctonia solani Kühn, causante de la marchitez del limonero persa (Citrus latifolia Tanaka), en el Estado de Morelos y en la Comarca Lagunera de Coahuila* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma Agraria 'Antonio Narro']. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7107/RA%20DAL%20GUZM%C1N%20CORONA.pdf?sequence=1>
- Jacomini, I. (2018). *Produção e caracterização de embalagens (tubetes) biodegradáveis a partir do resíduo de maçã* [Tesis de Pregrado, Universidad Federal de Uberlândia]. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27787/9/ProduçãoCaracterizaçãoEmbalagens.pdf>



- Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food Chemistry*, 73(4), 393-396. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00307-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00307-1)
- Liew, S. Q., Chin, N. & Yusof, Y. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>
- Mamani, P. S., Ruiz, R. y Veiga, M. D. (2011). *Pectina : usos farmacéuticos y aplicaciones terapéuticas*. <http://www.anales.ranf.com/ojs/2012/01/10.htm>
- 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(2002), 99-107. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00160-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00160-0)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Cadena del pasifloras. Indicadores e instrumentos. Segundo trimestre 2020. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Codex alimentarius. Alimentos producidos orgánicamente*. FAO y OMS.
- Pinheiro, E. R., Silva, I., Gonzaga, L. V., Amante, E. R., Teófilo, R. F., Ferreira, M. & Amboni, R. (2008). Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 99(13), 5561-5566. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.058>
- Qiu, L. P., Zhao, G. L., Wu, H., Jiang, L., Li, X. F., & Liu, J. J. (2010). Investigation of combined effects of independent variables on extraction of pectin from banana peel using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 80(2), 326-331. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.018>
- Ramírez-Hernández, D., Moreno-Quintero, M., Curbelo-Hernández, C. y Crespo-Zafra, L. (2016). Influencia del tamaño de partícula y la velocidad de agitación sobre el rendimiento de pectina. *Revista Cubana de Farmacia*, 50(1), 98-105.
- Rodríguez, E. N. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1), 153-170. <https://doi.org/10.35197/rx.07.01.2011.14.er>
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F., Garcia, P. S., Petkowicz, C., Jagadevan, S., & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f.flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.001>
- Taborda, N. (2013). Fruto de la pasión, Maracuyá. <https://dokumen.tips/documents/el-maracuya-tesispdf.html>
- Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G. y Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas. *Informacion Tecnológica*, 29(1), 129-136. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000100014>