

INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
EN INGENIERÍAS

Caracterización fisicoquímica de pectinas extraídas de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) mediante hidrólisis ácida asistida por microondas


Physicochemical characterization of pectin extracted from banana peel (*Musa paradisiaca* var. hartón) using microwave-assisted acid hydrolysis

Gustavo Adolfo González Muñoz 

Programa de ingeniería de alimentos, Universidad de Cartagena

Valentina López Llorente 

Programa de ingeniería de alimentos, Universidad de Cartagena

Edwin Gustavo Fuentes Ordóñez 

Grupo de Investigación en Transformación de Matrices Industriales y Agroindustriales – ITMIA. Universidad de Cartagena

Fabián Rico Rodríguez 

Universidad de Cartagena

OPEN  ACCESS

Recibido: 29/09/2025

Aceptado: 27/02/2026

Publicado: 05/03/2026

Correspondencia:
fricor@unicartagena.edu.co

DOI:
[10.17081/invinno.14.1.7954](https://doi.org/10.17081/invinno.14.1.7954)



Copyright 2026 by
Investigación e Innovación en
Ingenierías

Resumen

Objetivo: Evaluar las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) usando ácidos orgánicos en presencia de microondas. **Metodología:** Para la extracción de las pectinas obtenidas a partir de la cáscara del plátano, se usaron dos diferentes métodos de extracción (hidrólisis ácida convencional e hidrólisis ácida asistida por microondas) y como solventes se utilizaron tres diferentes ácidos para cada tratamiento (HCl, ácido acético y ácido cítrico), en todos los casos el pH se fijó en 3.0. Una vez obtenida cada muestra se cuantificaron el contenido de metoxilo, grado de esterificación, peso equivalente y acidez libre. **Resultados:** Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en función del método de extracción y el agente utilizado. Ambos parámetros influyeron significativamente en el rendimiento de extracción, siendo la combinación de microondas y ácido clorhídrico la más eficaz (21.21%). Así mismo se encontraron diferencias ($p < 0.05$) sobre las propiedades fisicoquímicas de la pectina, teniendo que la hidrólisis ácida asistida por microondas da pectina con mejores características para su uso industrial. **Conclusiones:** Es posible extraer pectina de bajo metoxilo a partir del pericarpio del fruto de plátano; así mismo, realizar una hidrólisis ácida asistida por microondas combinado con HCl arrojó un mejor resultado tanto en rendimiento como en sus propiedades fisicoquímicas en comparación con los otros tratamientos usados.

Palabras claves: pectina, microondas, extracción ácida, residuos agroindustriales, grado de metoxilación, cáscara de plátano.

Abstract

Objective: To evaluate the physicochemical properties of pectins extracted from the peel of plantains (*Musa paradisiaca* var. hartón) using organic acids in the presence of microwaves. **Methodology:** For pectin extraction obtained from the peel of plantains (*Musa paradisiaca* var. hartón), two different extraction methods were used (conventional acid hydrolysis and microwave-assisted acid hydrolysis). Three different acids were used as solvents for each treatment (HCl, acetic acid, and citric acid), with the pH of each aqueous solution set to 3.0. Once the sample was obtained, its quality was assessed by measuring the methoxyl content, degree of esterification, equivalent weight, and free acidity. **Results:** Significant differences ($p < 0.05$) were found depending on the extraction method and the agent used. Both parameters significantly influenced the extraction yield, with the combination of microwaves and hydrochloric acid being the most effective (21.21%). Likewise, differences ($p < 0.05$) were observed in the physicochemical properties of pectin, with microwave-assisted acid hydrolysis producing pectin with better characteristics for industrial use. **Conclusions:** Low-methoxyl pectin can be extracted from banana peel, and performing microwave-assisted acid hydrolysis combined with HCl yielded better results both in terms of yield and physicochemical properties compared to the other treatments used.

Keywords: Pectin, microwave, acid extraction, agro-industrial waste, methoxyl degree, banana peel.

Como citar (IEEE): F. Rico Rodríguez, G. A. González Muñoz, "Caracterización fisicoquímica de pectinas extraídas de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) mediante hidrólisis ácida asistida por microondas", Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 14, no. 1, pp. 59–79, 2026, doi: 10.17081/invinno.14.1.7954

1. Introducción

El plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) es una fruta de alta demanda en Colombia y, particularmente en el departamento de Bolívar, dado que es utilizada para la preparación de una gran variedad de comidas típicas de la región caribe, emprendimientos enfocados en el área de alimentos a base de patacón, harina de plátano, entre otros. Otro factor relevante es la importancia que juega dentro de la canasta familiar, siendo esta última una de las mayores generadoras de residuos debido a que su cáscara no tiene un uso tangible. La cáscara y la pulpa son los dos componentes del plátano. Aproximadamente el 40 % que tiene el peso del fruto está compuesto por cáscara, el cual es el principal subproducto del plátano [1]. Las cáscaras del plátano se usan exclusivamente como barrera de protección natural para alargar su vida útil.

Al no tener un valor agregado suele ser utilizado para alimentación de bovinos [2], a pesar de poseer compuestos de interés industrial como es el caso de la pectina, la cáscara se desaprovecha y contribuye en la generación de residuos de origen alimentario. Las cáscaras de plátano generan grandes cantidades de residuos no deseables durante su consumo y procesamiento en la agroindustria. Tras la cosecha, aproximadamente el 60 % de la biomasa del plátano queda como residuo. Sin embargo, se ha recomendado utilizar la cáscara de la fruta para la obtención de pectina. La cáscara contiene diferentes suplementos alimenticios, entre los que se pueden mencionar los compuestos bioactivos (ácido ascórbico, carotenoides, polifenoles y tocoferoles), que ofrecen protección contra enfermedades cardíacas y cáncer [3].

El procesamiento agroindustrial del plátano representa solo el 7%, el 89% se vende para consumo en fresco y el 4% restante se exporta [4]. Según el censo nacional agropecuario Colombia produce más de 4.8 millones de toneladas al año, ubicándose en el quinto puesto de los países de mayor exportación [5].

Por otro lado, la pectina es una materia prima importante en la industria de los alimentos debido a los beneficios que trae para la dieta humana, entre ellos la adsorción de azúcar y grasas de los jugos gástricos divididos por el hígado y la reducción de problemas intestinales [6]. La aplicación que se le da a la pectina depende de su estructura molecular, es una macromolécula natural con alto grado de complejidad y diversidad estructural. Comúnmente, se considera que es un polisacárido compuesto por diferentes cantidades de monosacáridos mediante diversos enlaces, como la δ -galactosa, la β -ramnosa y la β -arabinosa [7]. Adicionalmente, gracias sus características tecno funcionales, la pectina es usada como ingrediente en la elaboración de productos alimenticios como jaleas, mermeladas y néctares, gracias a su poder espesante; es más, en los últimos años se han tenido grandes avances de investigaciones para aplicaciones biomédicas y farmacéuticas de este ingrediente [8].

La pectina se encuentra naturalmente en las paredes celulares de muchas plantas, su característica principal es su alto contenido de ácido galacturónico (monómeros unidos por enlaces $\alpha(1-4)$, los cuales pueden o no estar esterificados o acetilados parcialmente gracias a la presencia de grupos metilo [9]. La pectina se puede clasificar según el contenido de grupos metoxilo presentes en su estructura como de alto metoxilo si su grado de metoxilación es mayor al 50%; de lo contrario se denomina pectina de bajo metoxilo. Estas últimas son peculiares debido a que su acción requiere la presencia de cationes divalentes de Ca^{++} o Mg^{++} para poder formar geles generando una red tridimensional entre los cationes y los grupos metoxilo [10], [11]. La producción anual mundial de pectina asciende a 35 mil toneladas métricas de las cuales la mayoría corresponde a pectina cítrica [12]. Esta alta demanda requiere la búsqueda de diversas alternativas tanto de materias prima como de métodos accesibles de extracción que permitan aumentar la producción de pectina [13].

Se sabe que las propiedades fisicoquímicas de la pectina como son el peso equivalente, acidez libre, rendimiento, grado de esterificación y metoxilo varían en función de factores como el método de extracción o el solvente empleado. Es por ello por lo que es importante determinar las condiciones óptimas de extracción [14], [15]. Existen varios métodos para la extracción de pectina, uno de estos es la extracción ácida convencional, que utiliza soluciones de ácidos fuertes como el clorhídrico, nítrico o sulfúrico, así como ácidos orgánicos (cítrico o acético), ajustados a un pH generalmente entre 1 y 3. Este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas con agitación constante durante todo el procedimiento, que puede durar una hora o más.

La función del ácido es hidrolizar las estructuras de la pared celular, promoviendo la ruptura de los enlaces de los polisacáridos y, en consecuencia, la liberación de pectina, un efecto que se intensifica al aumentar la temperatura. Por otro lado, otra tecnología utilizada para obtener pectina es la extracción alcalina, en la que se emplean soluciones diluidas de hidróxido de sodio (NaOH) con un pH entre 9 y 13. Este método se realiza a temperaturas más bajas que la extracción ácida (30–80 °C) y bajo agitación continua [16], [17].

Entre los métodos emergentes de extracción de las pectinas se encuentra el uso de microondas, que aprovecha la capacidad de las materias primas para absorber la energía generada por ondas, mejorando el movimiento de las moléculas y facilitando la separación de los componentes del compuesto [18]. La integración de la irradiación por microondas ayuda a reducir el tiempo de procesamiento, así como también, proporciona las ventajas de un bajo consumo energético, un calentamiento uniforme y selectivo, y una prometedora eficiencia de extracción [19].

Aunque este método sea reciente, hay diversos estudios donde evalúan la extracción de pectinas a través de sistemas asistidos por microondas (AMw) dando como resultado un mejor rendimiento, reducción en tiempos de extracción y buena calidad en el producto [20]. Al optimizar diversos parámetros como la composición del disolvente y la potencia, este método ha demostrado ser uno altamente eficaz para la extracción de compuestos bioactivos como es el caso de la obtención de pectina [21]. Además, se debe tener en cuenta el tipo de ácido a tratar, así como su concentración puesto que ambos aspectos influyen significativamente en las propiedades y en la calidad de la pectina [22]. Debido a lo anteriormente expuesto, se planteó el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas de las pectinas extraídas de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) mediante un proceso de extracción asistido por microondas (AMw) y ácidos orgánicos.

2. Metodología

2.1. Materiales

Las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) con un grado de madurez 2 (verde con pintas amarillas) fueron recolectadas de diferentes locales de comidas rápidas de la ciudad de Cartagena (Bolívar). El etanol 96%, ácido clorhídrico (HCl) 37%, ácido cítrico (ACi), ácido acético (AAc) glacial y carbonato de calcio fueron suministrados por Merck (Colombia).

2.2. Adecuación de la materia prima

Se eliminó cualquier rastro de pulpa de las cáscaras a través de una limpieza y raspado, posteriormente se cortaron en trozos de 1 cm. Luego, los trozos se sumergieron en una solución de NaOCl 1.3 mM, dejándolos reposar durante diez minutos para luego ser lavados para eliminar cualquier rastro de NaOCl. A continuación, se realizó un escaldado a 90 °C durante diez minutos para inactivar las enzimas. seguido a esto, las cáscaras se secaron a 55 °C hasta alcanzar un peso constante (Humedad de 10%). Finalmente, se realizó una molienda para reducir el

tamaño de las partículas utilizando un molino de cuchillas (Black&Decker CBG110S), obteniendo así un polvo de las cáscaras [23].

2.3. Extracción de pectina por hidrólisis ácida convencional

La pectina se extrajo utilizando el método reportado por Vázquez et al. [16]. Se tomaron 50 gramos de polvo de cáscara de plátano y se calentó en una suspensión acuosa preparada con diferentes soluciones ácidas (HCl, ACi ó AAC) a una concentración de 0.1 M, ajustando el pH a 3.0 ± 0.1 . Cada solución acuosa se mezcló con la materia prima en una relación sólido-líquido de 1:10. Luego, se calentó a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una hora con agitación constante a 200 rpm. Al finalizar, se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente para poder separar las dos fases utilizando un filtro de tela. La fracción líquida se centrifugó durante 10 minutos a 3000 rpm para eliminar cualquier rastro de sólidos. Posteriormente, la pectina se precipitó con etanol en una relación de 1:2 (sobrenadante: alcohol) y se llevó a refrigeración. Después, se filtró nuevamente para eliminar impurezas presentes y así obtener el gel de pectina. Por último, se secó en un horno a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante.

2.4. Extracción de pectina por hidrólisis ácida asistida por microondas

Se mezcló el polvo de cáscara de plátano obtenido con cada una de las soluciones ácidas preparadas (HCl, ACi ó AAC) a una concentración de 0.1 M, con un pH de 3.0 ± 0.1 y una relación de 1:10 (sólido:líquido). Las muestras se introdujeron en un horno microondas a una potencia de 540 W durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo, se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente para luego filtrar con un filtro de tela y luego centrifugar, separando la fracción sólida y obteniendo una fracción líquida sin impurezas. Posteriormente, se precipitó el sobrenadante con etanol (96 % v/v) en una relación de 1:2, obteniendo gel de pectina que se secó en un horno a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante, en la Figura 1 se puede apreciar el diagrama de flujo experimental de la extracción de la pectina. [24], [25].

2.5. Rendimiento de las pectinas obtenidas

El rendimiento de la extracción de determinó por la relación del peso obtenido de pectina seca (m_2), con el peso inicial (m_1) de las cáscaras pulverizadas, como se aprecia en la ecuación 1.

$$\%Rendimiento = \frac{m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

2.6. Caracterización fisicoquímica de las pectinas obtenidas

Las pectinas obtenidas, fueron caracterizadas siguiendo la metodología de Vázquez et al. [23] para la extracción convencional (CON) así como también, para la caracterización fisicoquímica y se tomó la investigación de Arias et al. [26] como base para la extracción asistida por microondas, evaluando parámetros de calidad como:

2.1.6 Peso equivalente

Se pesan 0.5 g de pectina en un vidrio de reloj, luego se trasladan a un erlenmeyer y se humedece con alcohol al 96%, se agrega agua destilada con fenolftaleína como indicador y se titula con NaOH al 0.1 N. Se calcula el peso equivalente de la pectina según la siguiente ecuación:

$$peso\ equivalente\ (Pe) = \frac{mg\ componente\ ácido}{mEq\ (A)\ NaOH} \quad (2)$$

Donde, $mEq\ A\ (NaOH)$ corresponde a los miliequivalentes de NaOH utilizados en la titulación y $mg\ componente\ ácido$ son los mg de pectina.

2.2.6 Acidez libre

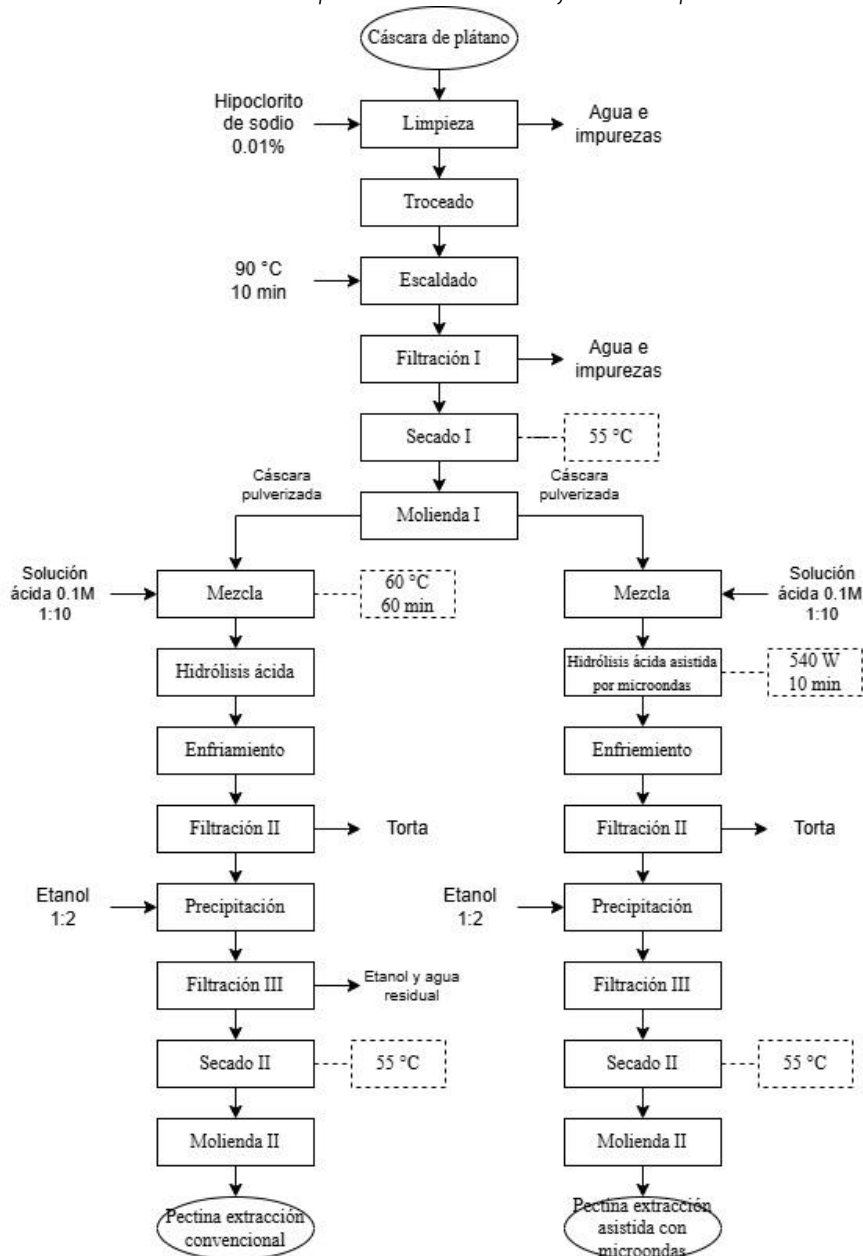
Teniendo en cuenta que la acidez libre es inversamente proporcional al peso equivalente, se utilizaron los mismos valores obtenidos en la caracterización

anterior, cuantificándose a través de la titulación con NaOH 0.1 mol/L y calculando la acidez libre mediante la [ecuación 3](#).

$$\text{Acidez libre (Al)} = \frac{\text{mEq A (NaOH)}}{\text{g componente ácido}} \quad (3)$$

Donde, mEq A (NaOH) son los mEq de NaOH utilizados en la titulación y g componente ácido son los mg de pectina.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso experimental de extracción de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), por hidrólisis ácida e hidrólisis ácida asistida por microondas a diferentes tipos de ácidos.



Fuente: Elaboración propia.

2.3.6 Grado de metoxilación

Tomando la solución que se obtuvo para calcular el peso equivalente y la acidez libre, se le agregó 10 ml de hidróxido de sodio a una concentración de 0.1 N, agitándola de manera constante a 200 rpm por media hora. Al concluir este tiempo, se le agregó ácido clorhídrico a 0.1 N para neutralizar el hidróxido de sodio

agregado. Posteriormente, se realizó una nueva titulación para determinar el grado de metoxilación de cada pectina mediante la **ecuación 4**.

$$\%metoxilo = \frac{mEq\ B * PM\ de\ metoxilo}{mg\ de\ la\ muestra} * 100 \quad (4)$$

Donde, *mEq B* son los miliequivalentes de NaOH utilizados en la titulación, *PM de metoxilo*: peso molecular del metoxilo (CH₃O) expresado en mg/mEq, mg de la muestra: cantidad de pectina usada en mg.

Grado de esterificación

Para calcular los grados de esterificación, fue necesario dividir los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en la determinación del contenido de metoxilo entre la suma de los miliequivalentes de hidróxido de sodio utilizados tanto en la determinación de la acidez libre como en la del contenido de metoxilo, como se expresa en la **ecuación 5**.

$$Esterificación = \frac{mEq\ B}{mEq\ A + mEq\ B} \quad (5)$$

Donde, *mEq A* son los miliequivalentes utilizados en la primera titulación NaOH 0.1 mol/L, *mEq B* son los miliequivalentes utilizados de NaOH 0.1 mol/L en la segunda titulación para determinar el contenido de metoxilo.

Para verificar los datos obtenidos en el grado de metoxilación y esterificación se caracterizó por medio de un análisis FTIR (Transformada de Fourier para infrarrojos) con un equipo de marca *buck scientific model 530 infrared spectrophotometry* (USA). Los espectros FTIR de pectina se obtuvieron en el rango de 4000 a 600 cm⁻¹ [27].

Humedad

Para este parámetro, se tomó una muestra representativa de cada tipo de pectina en una balanza térmica, con el objetivo de determinar su porcentaje de humedad, se calculó por medio de la **ecuación 6**.

$$\%Humedad = \frac{w\ humedad - w\ seca}{w\ humedad} * 100 \quad (6)$$

Donde, *W* humedad corresponde a peso inicial de la muestra y *W* seca es el peso final de la muestra.

2.7. Determinación del mejor método de extracción

Con la finalidad de determinar cuál fue el mejor método para obtener pectinas a partir de las cáscaras de plátano, se tuvieron en cuenta los valores obtenidos experimentalmente. Se emplea la **ecuación 7** para la evaluación de la calidad de la pectina extraída. Para esto, se utilizaron los valores de los parámetros fisicoquímicos asociados a la calidad de la pectina, los cuales fueron ponderados con respecto a su relevancia en el desempeño funcional. Por lo tanto, el peso equivalente (*peq*), el grado de metoxilación (*met*), el grado de esterificación (*est*) y el rendimiento de extracción (*ren*) se incorporaron de manera aditiva, asignándoles coeficientes porcentuales de 0.15, 0.35, 0.25 y 0.10, respectivamente, de acuerdo con su contribución a la calidad global del producto. A diferencia de la acidez libre (*aci*) la cual fue considerada como un factor de penalización y, por tanto, se incluyó con un signo negativo, dado que valores elevados de acidez se asocian con una disminución en la calidad de la pectina.

$$MT = peq(0.15) + met(0.35) + est(0.25) + ren(0.10) - aci(0.15) \quad (7)$$

Donde, *peq*: Peso equivalente, *met*: Grado de metoxilación, *est*: Grado esterificación, *ren*: Rendimiento, *aci*: Acidez libre.

2.8. Diseño Experimental

Esta investigación se ejecutó con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 2X3, con la finalidad de poder evaluar el método de extracción y el tipo de ácido sobre la calidad fisicoquímica de las pectinas extraídas de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), la combinación de cada

uno de los factores generó seis tratamientos experimentales y fueron evaluados de forma independiente.

Factores evaluados

Factor A: Método de extracción

A₁: Hidrólisis ácida convencional.

A₂: Hidrólisis ácida asistida por microondas.

Factor B: Tipo de ácido

B₁: Ácido clorhídrico (HCl).

B₂: Ácido cítrico.

B₃: Ácido acético.

2.9. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en los parámetros de calidad de las pectinas fueron interpretados usando un análisis de varianza ANOVA con dos factores, los cuales fueron el tipo de ácido a tres diferentes niveles (HCl, ACi y AAC) y dos diferentes métodos de extracción (CON y AMw), las diferencias significativas se evaluaron a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Todos los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar (\pm SD, $n = 3$).

Las barras de error que aparecen en las tablas de resultados representan la incertidumbre de repetibilidad, calculada a partir de las tres mediciones independientes. La incertidumbre instrumental asociada al equipo utilizado se consideró mínima y, por lo tanto, no se incluyó en las gráficas. El software estadístico empleado fue Statgraphics®.

3. Resultados

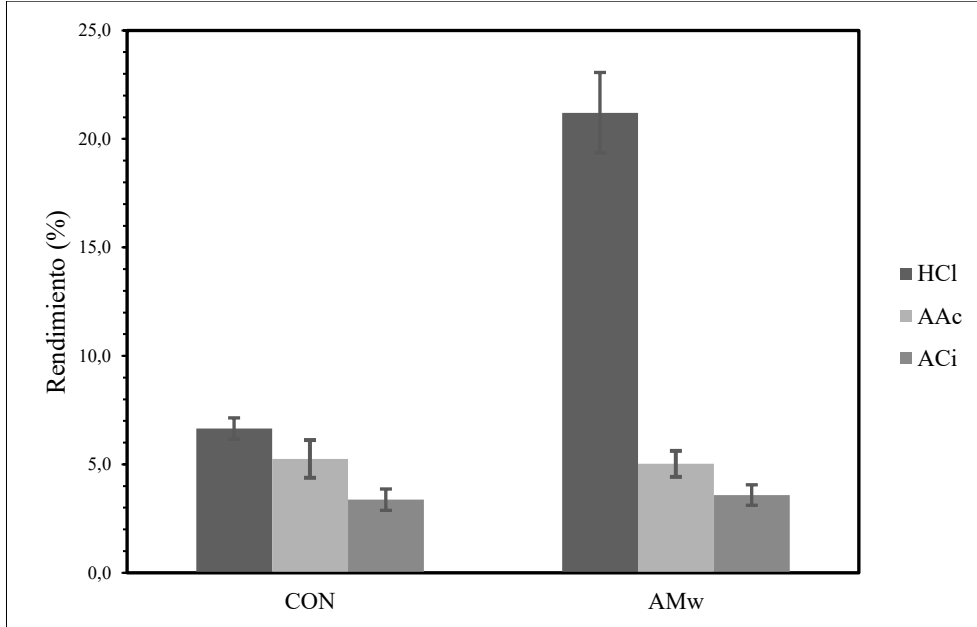
3.1. Rendimiento

Como se aprecia en la [Figura 2](#), los rendimientos obtenidos oscilaron en un rango de 3.4% y 21.2% obteniendo un mayor valor en el tratamiento con HCl y AMw, los ácidos orgánicos usados en las extracciones dieron rendimientos hasta dos veces más bajos para el caso del método CON y hasta 6 veces menor en el caso del método AMw en comparación con el HCl. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) tanto para el tipo de ácido usado, como para el método de extracción empleado. El uso del HCl mostró resultados de rendimientos elevados para ambos métodos. Esto pudo ocurrir debido que hay una mayor afinidad de este ácido por cationes como Ca^{+} debido a una mayor fuerza iónica que estabiliza la molécula de pectina [\[28\]](#). El estudio realizado por Jafarzadeh-Moghaddam et al. [\[29\]](#) en donde comparan la extracción por calentamiento convencional y asistido por ultrasonido determinaron que el uso de un método convencional es un proceso largo y, contiene mayores impurezas, que conduce a un rendimiento bajo y de baja calidad.

En un estudio realizado por Arias et al. [\[26\]](#) se reportaron mayores rendimientos con ácidos inorgánicos dado que evaluaron las propiedades fisicoquímicas de las pectinas extraídas a diferentes pH y tipo de ácidos, donde el HCl fue superado por el ácido nítrico. Allí, los ácidos orgánicos también tuvieron bajos rendimientos demostrando coherencia con los resultados reportados en este trabajo. Pei et al. [\[30\]](#), en su estudio evaluaron el rendimiento de pectina y propiedades fisicoquímicas a partir de la cáscara de limón. Se realizó la AMw y por ultrasonido, sus resultados tienen semejanza con los obtenidos en esta investigación puesto que los parámetros que influyen en la extracción de pectina son diversos cuando se trata del método de extracción a usar, lo cual variará los rendimientos que se obtienen. Teniendo en cuenta a Mao et al. [\[31\]](#), y su estudio con la AMw, se puede apreciar que se tiene una relación con los factores que afectan el rendimiento debido a que en comparación del método CON, hay mejores resultados con el empleo de esta técnica, ya que las ondas electromagnéticas promueven la ruptura de las paredes celulares haciendo más fácil la liberación de la pectina [\[32\]](#).

También mencionan que se debe desarrollar procesos emergentes de extracción de pectina, pues el uso comercialmente afecta algunas propiedades como el grado de esterificación de la pectina, limitando aplicaciones del producto, además de su potencial efecto perjudicial para el medio ambiente.

Figura 2. Rendimientos de extracción de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), por hidrólisis ácida e hidrólisis ácida asistida por microondas a diferentes tipos de ácidos.



Fuente: Elaboración propia.

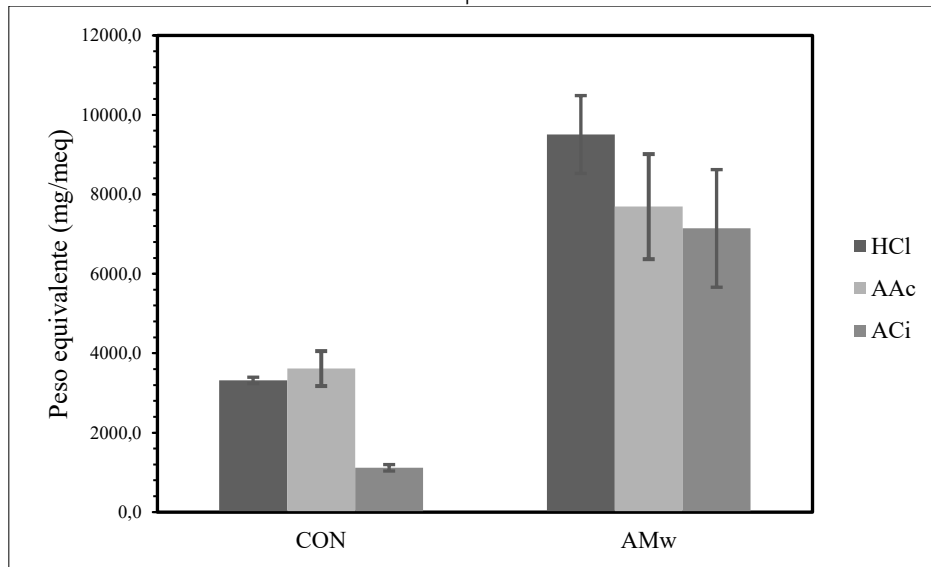
3.2. Peso Equivalente (PE)

El PE es una propiedad esencial en la caracterización de la pectina, el peso equivalente determina la funcionalidad de la pectina y la pureza de la misma, debido a que es una medida del ácido galacturónico libre no esterificados presentes en la cadena molecular del polímero, por ende, en cuanto menor sea el peso equivalente menor será el contenido de pectina presente [33].

Los resultados obtenidos muestran una superioridad en términos de hidrólisis ácida para los tratamientos asistidos por microondas, además de evidenciar la superioridad del HCl y AAc sobre el ACi, para procesos de extracción de pectina por hidrólisis ácida, tal como se observa en la Figura 3. En esta, se presentan los valores de PE expresados en (mg/mEq) para la extracción convencional y la extracción asistida por microondas, donde se evidencia un notable incremento del PE entre la extracción convencional y la asistida por microondas, siendo esta última superior, mostrando hasta un 250% más para hidrólisis ácidas con HCl y AAc, y hasta un 640% para ACi. Este aumento se puede deber a una menor degradación parcial de la pectina durante la extracción [34].

Los valores de PE para la extracción con HCl convencional y asistida fueron de 3316.7 ± 79.8 y 9506.4 ± 980.2 mg/mEq respectivamente, estos resultados se asemejan a los obtenidos en la investigación realizada por Arellanes et al. [35], donde se usó la cáscara de la variante Musa AAB y una hidrólisis ácida con ACi y HCl a diferentes valores de pH, obteniendo valores de 9944.3 para la extracción con HCl a un pH de 3.0. En un estudio hecho por Khamsucharit et al. [36] donde se extrajo pectina de diferentes variedades de piel de banana, empleando una solución de ACi al 6%, se obtuvieron resultados de 943.1 ± 0.1 hasta 1456.9 ± 0.1 mg/mEq estos resultados que obtuvieron son similares a los obtenidos en este estudio por medio de la extracción convencional con ACi.

Figura 3. Peso equivalente de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), por hidrólisis ácida e hidrólisis ácida asistida por microondas a diferentes tipos de ácidos.



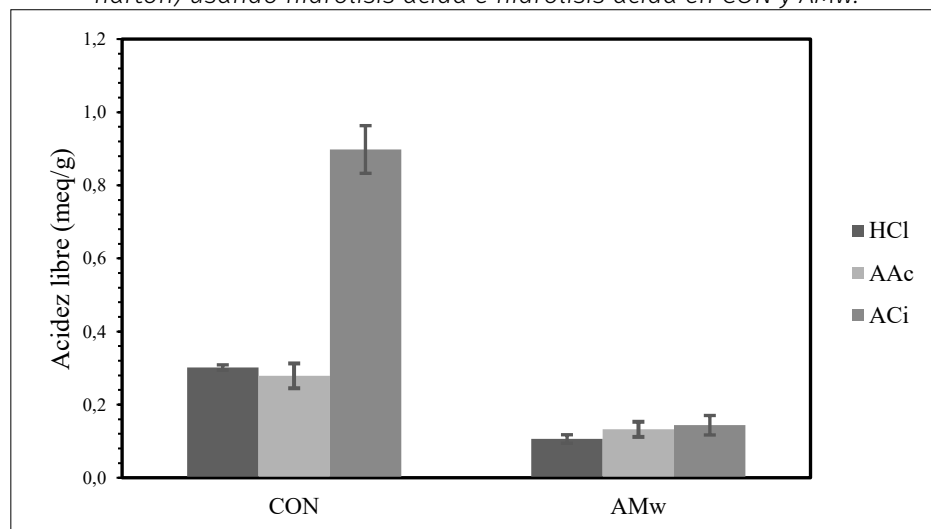
Fuente: *Elaboración propia.*

La AMw mostró mejores resultados en cuanto al PE de cada extracción por medio de los diferentes ácidos, esto es debido a que el proceso de irradiación al cual se somete la muestra promueve una extracción de los compuestos de interés en un menor tiempo y con un calentamiento uniforme, lo que eleva la pureza de la pectina [37].

3.3. Acidez libre

Los resultados obtenidos en la acidez libre mostraron valores altos con la CON, siendo el ácido cítrico de 0.9. En comparación, las pectinas obtenidas mediante el método de AMw presentaron valores considerablemente más bajos. Esto se puede observar en la [Figura 4](#), donde también se destaca que el AAc y el HCl, asistidos por el método emergente, obtuvieron mejores resultados, ya que se busca una reducción en la acidez libre.

Figura 4. Acidez libre de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón) usando hidrólisis ácida e hidrólisis ácida en CON y AMw.



Fuente: *Elaboración propia.*

Cabarcas et al. [38], señalaron en su estudio que el estado de maduración y las condiciones físicas de las cáscaras de plátano utilizadas para la extracción de

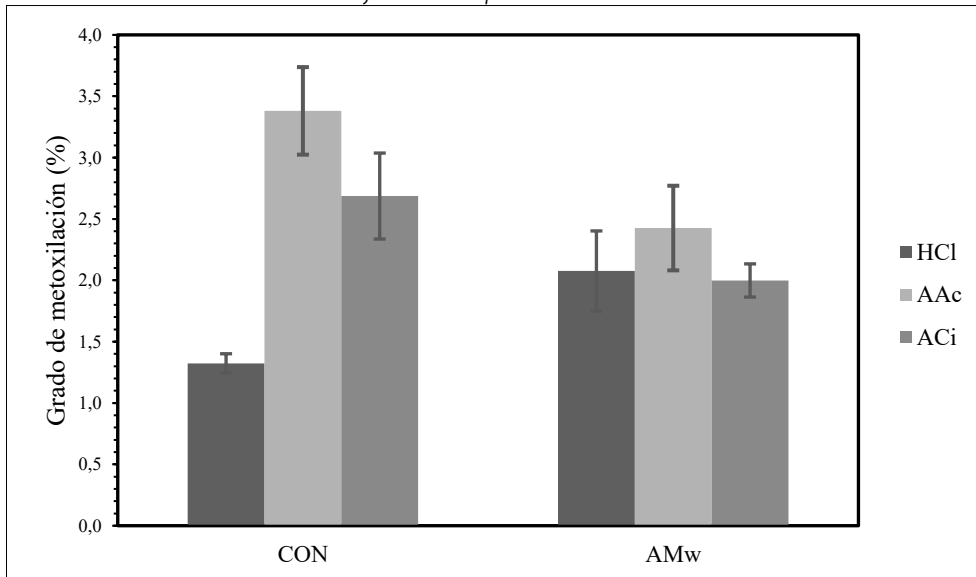
pectina no afectan de manera significativa los valores de los pesos equivalentes y la acidez libre.

En la investigación realizada por Rodríguez et al. [39], donde extrajeron pectinas del cacao por método convencional usando dos agentes de extracción, entre los cuales utilizaron el ACi obtuvieron el valor más alto siendo de 0.9, lo cual concuerda con esta investigación.

3.4. Grado metoxilación

Los resultados obtenidos para este parámetro indican valores inferiores al 50%, lo que confirma la obtención de pectinas de bajo grado de metoxilación. Como se muestra en la Figura 5, el mayor grado de metoxilación se presentó en los tratamientos de extracción convencional, especialmente en aquellos realizados con ácido acético. Este comportamiento podría atribuirse a la presencia de un mayor número de grupos carboxilo esterificados en la estructura de la pectina, lo que incrementa su contenido de metoxilo [40], esto estaría acorde a estudios como el de Arias et al. [26], ellos usaron ácidos orgánicos e inorgánicos para extraer pectina a diferentes pH, los cuales afirman que el tipo de agente de extracción que se use afecta este parámetro

Figura 5. Grado metoxilación de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), por hidrólisis ácida e hidrólisis AMw por microondas a diferentes tipos de ácidos.



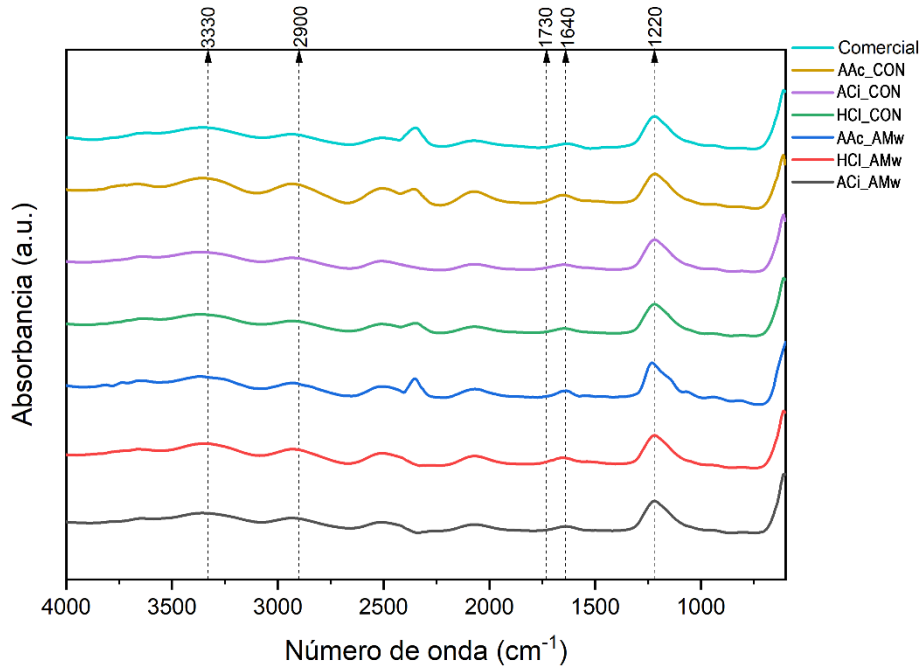
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, Petkowicz et al. [41] extrajeron pectina a partir de la cáscara del fruto de cubio (*Solanum sessiliflorum* D.) utilizando como agente de extracción el ácido nítrico a pH 1.5 por 2 horas a 100 °C, obteniendo un alto grado de metoxilación para las pectinas, con esos resultados y los obtenidos en esta investigación, se puede deducir que las propiedades de la pectina van a depender de las condiciones y factores de extracción, así como también de la fuente del material vegetal.

El análisis por espectrofotometría infrarroja (FTIR) se presentan en la Figura 6. En el cual se observan los espectros para las muestras de pectina extraída asistida por microondas y las extraídas por método convencional, además del espectro de pectina comercial. Se observaron bandas en la región de 3330 cm^{-1} las cuales pueden atribuirse a los grupos O-H y el estiramiento de estas relacionados con los enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares presentes en el polímero de ácido galacturónico, por otro lado, también se pueden atribuir estas interacciones a grupos hidroxilo libres, o a enlaces O-H de ácidos carboxílicos [42].

Para diferenciar pectinas de bajo y alto grado de metoxilación se observaron las bandas en el rango de número de onda entre 3000 cm^{-1} a 2900 cm^{-1} esto debido a que en este rango se encuentran bandas que corresponden a la absorción de los enlaces C-H, las bandas de estiramientos de los grupos metoxilos (-OCH₃), esto incluye vibraciones y estiramientos de grupos CH, CH₂ y CH₃ de forma general estas bandas observadas hacen referencia a los compuestos alifáticos, por otro lado también se pueden observar superposiciones de grupos O-H que pueden estar en el rango de 3600 cm^{-1} a 2500 cm^{-1} [43].

Figura 6. Análisis infrarrojo de las muestras de pectina extraídas (AAc_CON: ácido acético, ACi_CON: ácido cítrico, HCl_CON: ácido clorhídrico, AAc_AMw: ácido acético asistido por microondas, ACi_AMw: ácido cítrico asistido por microondas, HCl_AMw: ácido clorhídrico asistido por microondas).



Fuente: Elaboración propia.

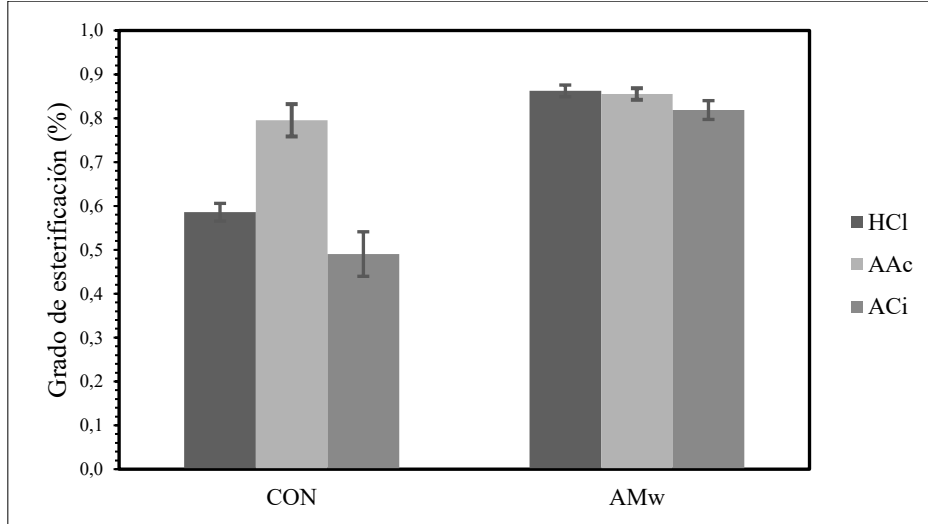
Las bandas en el rango de 1730 cm^{-1} a 1220 cm^{-1} se catalogan como los picos claves de caracterización del polímero. Las pectinas evaluadas presentaron vibraciones en este espectro gracias a la presencia de grupos carboxilo, éster metilesterificados y los no metilesterificados. El pico 1220 cm^{-1} se vincula con vibraciones C-O-C y C-O, importantes para identificar la estructura de grupos metoxilo y el grado de metoxilación. A 1640 cm^{-1} , se observa la presencia de enlaces C=O de ácidos carboxílicos en su forma ionizada. Por último, el pico en 1730 cm^{-1} es relevante porque se identifica grupos éster en pectinas. La interacción con el espectro infrarrojo genera una vibración debido al estiramiento de los enlaces C=O del grupo carboxilo y éster que son típicos de la pectina [44], [45], [46].

3.5. Grado esterificación

En la Figura 7, se logra apreciar que los diferentes tratamientos obtuvieron un grado de esterificación relativamente alto, exceptuando los tratamientos convencionales con HCl y ACi. El bajo grado de esterificación de estos tratamientos puede estar relacionado con el grado de metoxilo lo que sugiere la presencia de otros grupos que forman complejos con los grupos carboxilo del ácido poligalacturónico, es decir se presentó un bajo grado de metoxilo y un bajo grado de esterificación. Esto concuerda por lo estipulado por Correa [47]. Adicionalmente, lo reportado por Biratu et al. [48], afirma que la pectina con un bajo contenido de metoxilo provoca un incremento de la desesterificación de las cadenas poligalacturónicas, lo que genera un grado de esterificación bajo. Otro estudio

realizado por Pholsin et al. [49], afirma que el grado de esterificación fue superior al 50 % en todas las muestras de pectina tratadas térmicamente y extraídas con ácido y se denominaron muestras de pectina con alto contenido de metoxilo. Este comportamiento no se observó en el estudio actual.

Figura 7. Grado esterificación de pectina de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca* var. hartón), por hidrólisis ácida e hidrólisis ácida asistida por microondas a diferentes tipos de ácidos

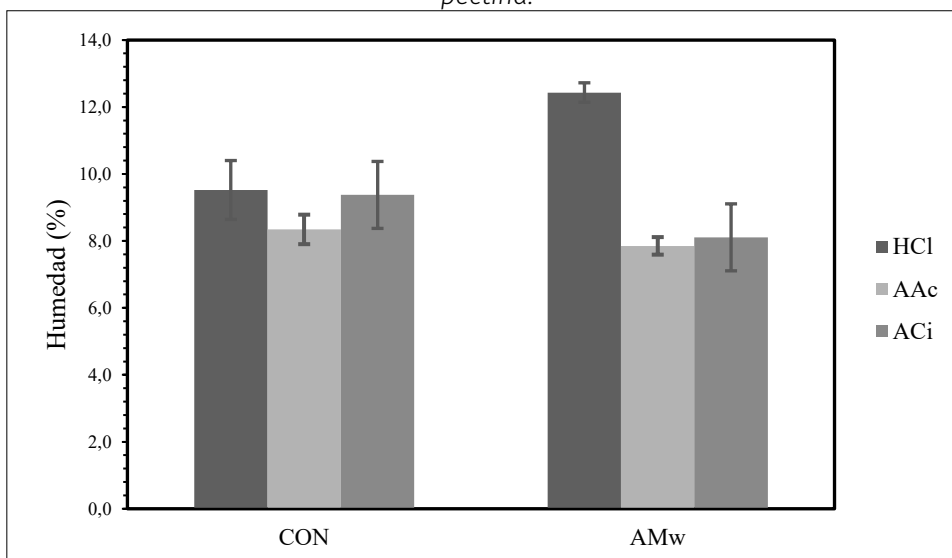


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la mayoría de las pectinas obtenidas presentaban un alto grado de esterificación. Este aspecto ha recibido considerable atención en las investigaciones debido a su impacto significativo en la estructura de la pectina y sus propiedades funcionales. Entre estas propiedades se encuentran la capacidad de formar geles y su propiedad emulsionante, siendo la formación de geles la característica funcional más destacada y única de la pectina [50]. Las pectinas comerciales muestran valores de esterificación superiores al 60%, lo que sugiere que un mayor grado de esterificación de la pectina corresponde a un aumento de la viscosidad [51].

3.6. Porcentaje humedad

Figura 8. Resultados de porcentaje de humedad de las diferentes extracciones de pectina.



Fuente: Elaboración propia.

En la [Figura 8](#), se muestran los porcentajes de humedad de las distintas extracciones de pectina, donde se observa dispersión en los datos obtenidos, para los diferentes tratamientos. Por otro lado, se destaca que el tratamiento con HCl mediante hidrólisis ácida AMw presenta el mayor porcentaje de humedad. Este alto contenido de humedad no es deseable para la pectina, ya que es fundamental para su almacenamiento y para prevenir el crecimiento de microorganismos, lo que influye negativamente en la calidad de la pectina extraída. Dado que la pectina es un componente altamente higroscópico, es esencial conservarla en un ambiente cerrado y seco [52]. Un estudio realizado por Lai et al. [53], reveló que la pectina extraída de cáscaras de plátano verdes tenía un contenido de humedad del 16.10 %, lo cual es relativamente mayor en comparación con los datos obtenidos en esta investigación. Adicionalmente, el estudio de Liang et al. [50], obtuvo porcentajes de humedad de 14.91 % y 12.71 % para pectinas con aceites esenciales, valores que son menores que los reportados en esta investigación.

3.7. Mejor método de extracción

Se determinó que las mejores condiciones de extracción ([Tabla 1](#)) son aquellas realizadas por hidrólisis ácida AMw en combinación con HCl, pues obtuvieron el puntaje más alto en esta evaluación, aunque los valores obtenidos para el AAc son prometedores, se sugiere que futuros estudios varíen la concentración de esta solución durante la hidrólisis para evaluar si mejora la calidad de las pectinas. Por otro lado, el ACi presentó un resultado bajo. Los valores de cada variable de respuesta fueron integrados a la [ecuación 7](#), la cual es una función objetivo global, construida bajo un esquema de optimización por regresión ponderada. Esto permitió asegurar múltiples respuestas experimentales en un solo indicador de calidad, facilitando la comparación y selección de las condiciones de extracción más favorables.

Tabla 1. Puntaje de cada método de extracción.

Tratamiento	HCl	AAc	ACi
CON	1.12	2.32	0.35
AMW	2.63	2.45	1.35

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Tanto el rendimiento como las características fisicoquímicas de las pectinas varía considerablemente dependiendo tanto de las condiciones de extracción como del tipo de solvente de extracción empleado, por eso es importante evaluar cuales son los métodos más adecuados para su extracción. Las pectinas adquiridas, se han categorizado como pectinas de bajo grado de metoxilación, pero de alto grado de esterificación; tanto las obtenidas por método convencional como el emergente, esto se pudo deber a que la esterificación del grupo carboxilo se da con grupos distintos al metoxilo.

Teniendo en cuenta los resultados de este estudio se determina que esta pectina extraída de la cáscara del plátano se puede convertir en un recurso altamente valorado en la industria alimentaria, especialmente para la creación de nuevos productos, utilizando un método asistido por microondas. La combinación de hidrólisis ácida asistida por microondas (540 W de potencia) con el que contenía ácido clorhídrico consiguió las mejores propiedades fisicoquímicas en comparación con los otros tratamientos evaluados, obteniendo un mejor rendimiento (21,21%), el peso equivalente obtuvo valores elevados y la acidez libre valores más bajos con microondas, para el grado de metoxilación los datos estuvieron por debajo del 7% y la esterificación superiores al 59% teniendo los grados SAG una variación entre 98,1 y 124,3, sin embargo, se pudo apreciar que el ácido acético puede ser una alternativa también viable a futuro consiguiendo mejores rendimientos si se busca una mejor optimización de extracción.

Desde una perspectiva industrial, los resultados de esta investigación demuestran que el uso de residuos agroindustriales, como las cáscaras de plátano, representa una fuente sostenible y de bajo costo para la producción de pectinas funcionales, con aplicaciones potenciales en formulaciones alimentarias (agentes gelificantes, espesantes o estabilizantes) y en sectores no alimentarios, como el farmacéutico y el cosmético.

Como línea de investigación futura, se recomienda optimizar aún más las condiciones del proceso asistido por microondas (tiempo, potencia, relación sólido-líquido) y evaluar la funcionalidad tecnológica de las pectinas obtenidas en matrices alimentarias reales, así como su estabilidad y comportamiento reológico bajo diferentes condiciones de procesamiento.

5. References

- [1] D. Paul and S. Tewari, "Utilization of banana peels in several industry: an overview," *The Bioscan*, vol. 19, no. Supplement 1, pp. 05–08, May 2024, doi: 10.63001/TBS.2024.V19.I02.S1.PP05-08
- [2] V. Ramos, A. Aguilera, y E. Ochoa, "Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria," *Revista de Simulación y Laboratorio ECORFAN*®, vol. 3–9, no. 9, pp. 22–29, 2016, [Online]. Available: www.ecorfan.org
- [3] T. Singh Bisht Krishi Vigyan Kendra et al., "A novel approach towards the fruit specific waste minimization and utilization: A review," *J Pharmacogn Phytochem*, vol. 9, no. 1, pp. 712–722, Jan. 2020, Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.phytojournal.com/archives/2020.v9.i1.10532/a-novel-approach-towards-the-fruit-specific-waste-minimization-and-utilization-a-review>
- [4] A. Chávez-Salazar, L. A. Bello-Pérez, E. Agama-Acevedo, F. J. Castellanos-Galeano, C. I. Álvarez-Barreto, and G. Pacheco-Vargas, "Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia," *Int J Biol Macromol*, vol. 98, pp. 240–246, May 2017, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2017.01.024
- [5] C. L. Gomez Heredia, T. A. Lerma, and M. Luna Palencia, "Spectral dynamics analysis of pesticide residues in banana peel during the ripening process," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 121, p. 105354, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.JFCA.2023.105354
- [6] H. Yamada, "Contribution of pectins on health care," *Progress in Biotechnology*, vol. 14, no. C, pp. 173–190, Jan. 1996, doi: 10.1016/S0921-0423(96)80254-1
- [7] P. K. S. Pillai, B. E. Morales-Contreras, L. Wicker, and M. T. Nickerson, "Effect of enzyme de-esterified pectin on the electrostatic complexation with pea protein isolate under different mixing conditions," *Food Chem*, vol. 305, p. 125433, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.125433
- [8] D. Arias, J. Rodríguez, B. López, and P. Méndez, "Evaluation of the physicochemical properties of pectin extracted from *Musa paradisiaca* banana peels at different pH conditions in the formation of nanoparticles," *Heliyon*, vol. 7, no. 1, p. e06059, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.HELİYON.2021.E06059
- [9] M. Boukroufa, C. Boutekedjiret, L. Petigny, N. Rakotomanomana, and F. Chemat, "Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin," *Ultrason Sonochem*, vol. 24, pp. 72–79, May 2015, doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2014.11.015

- [10] E. P. Quintero, "Evaluación de la incidencia del método de extracción en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de pectina obtenida de la cáscara de curuba (*passiflora mollisima*)," *Ingeniería de Alimentos*, Jan. 2019, Accessed: Oct. 21, 2022. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/270
- [11] A. Cruz, "Extracción de pectina bruta y su nivel de gelidificación obtenida a partir de la cáscara de guayaba (*Psidium guajava*) recolectada de la zona del Valle de Chipillico en el distrito de Las Lomas," *Universidad Nacional de Piura*, 2018, Accessed: Oct. 25, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2621>
- [12] M. Martínez y K. Urango, "Evaluación del rendimiento y costos de la pectina extraída a partir de cáscaras de maracuyá (*passiflora edulis flavicarpa*) utilizando la técnica de extracción asistida por microondas (eam)," 2018
- [13] M. Pagliaro, R. Ciriminna, A. Fidalgo, R. Delisi, and L. Ilharco, "Pectin Production and Global Market," *Agro Food Industry Hi Tech*, vol. 27, Sep. 2016
- [14] S. Yoo et al., "Structural characteristics of pumpkin pectin extracted by microwave heating," *J Food Sci*, vol. 77, no. 11, pp. C1169–C1173, 2012
- [15] H. Garna et al., "Effect of Extraction Conditions on the Yield and Purity of Apple Pomace Pectin Precipitated but Not Washed by Alcohol," *J Food Sci*, vol. 72, no. 1, pp. C001–C009, Jan. 2007, doi: 10.1111/J.1750-3841.2006.00227.X
- [16] A. Pattarapisitporn and S. Noma, "Alternative Solvents for Pectin Extraction: Effects of Extraction Agents on Pectin Structural Characteristics and Functional Properties," *Foods* 2025, Vol. 14, Page 2644, vol. 14, no. 15, p. 2644, Jul. 2025, doi: 10.3390/FOODS14152644
- [17] C. S. Salazar Ripoll and G. A. Hincapié-Llanos, "Evaluation of sources and methods of pectin extraction from fruit and Vegetable wastes: A Systematic Literature Review (SLR)," *Food Biosci*, vol. 51, p. 102278, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.FBIO.2022.102278
- [18] Z. Song et al., "Study on the microwave extraction process and product distribution of essential oils from citrus peel," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 171, p. 108726, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.CEP.2021.108726
- [19] O. Turan, A. Isci, M. S. Yilmaz, A. Tolun, and O. Sakiyan, "Microwave-assisted extraction of pectin from orange peel using deep eutectic solvents," *Sustain Chem Pharm*, vol. 37, p. 101352, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.SCP.2023.101352
- [20] Z. Rahmani, F. Khodaiyan, M. Kazemi, and A. Sharifan, "Optimization of microwave-assisted extraction and structural characterization of pectin from sweet lemon peel," *Int J Biol Macromol*, vol. 147, pp. 1107–1115, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2019.10.079
- [21] O. Gamarra-Castillo, M. Hernández-Carrión, and A. del P. Sánchez-Camargo, "Revalorization of purple passion fruit peel: Compositional analysis, anthocyanin microwave-assisted extraction, and beverage application," *Future Foods*, vol. 11, p. 100536, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.FUFO.2024.100536
- [22] H. A. Abd-Elazize, E. H. Rahma, T. A. El-Adawy, and A. E. Elbltagy, "Effect Of Extraction Medium And Acid Type On The Physio-Chemical Properties Of Orange Peels Isolated Pectin," *Menoufia Journal of Food and*

Dairy Sciences, vol. 6, no. 4, pp. 35–50, Dec. 2021, doi: 10.21608/MJFDS.2021.214214

[23] R. Vasquez, L. Ruesga, R. D'addosio, G. Páez, y M. Marín, "Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón," *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 25, no. 2, pp. 318–333, 2008, [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182008000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

[24] F. Dranca, E. Talón, M. Vargas, and M. Oroian, "Microwave vs. conventional extraction of pectin from *Malus domestica* 'Fálticeni' pomace and its potential use in hydrocolloid-based films," *Food Hydrocoll*, vol. 121, p. 107026, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2021.107026

[25] F. L. Seixas et al., "Extraction of pectin from passion fruit peel (*Pasiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating," *Food Hydrocoll*, vol. 38, pp. 186–192, Jul. 2014, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2013.12.001

[26] D. Arias, J. Rodríguez, B. López, and P. Méndez, "Evaluation of the physicochemical properties of pectin extracted from *Musa paradisiaca* banana peels at different pH conditions in the formation of nanoparticles," *Heliyon*, vol. 7, no. 1, p. e06059, May 2021, doi: 10.1016/J.HELİYON.2021.E06059

[27] M. M. Mahmud, M. Belal, S. Ahmed, M. M. Hoque, and W. Zzaman, "Microwave-assisted extraction and characterization of pectin from citrus fruit wastes for commercial application," *Food Res*, vol. 5, no. 5, pp. 80–88, Oct. 2021, doi: 10.26656/FR.2017.5(5).592

[28] K. A. Israel, S. F. Bagueio, M. D. B. Diasanta, R. C. Lizardo, E. Dizon, and M. I. F. Mejico, "Extraction and characterization of pectin from Saba banana [*Musa 'saba'*(*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*)] peel wastes: A preliminary study," *Int Food Res J*, vol. 22, pp. 202–207, May 2015

[29] M. Jafarzadeh-Moghaddam, R. Shaddel, and S. H. Peighambaroust, "Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: a comparison," *J Food Sci Technol*, vol. 58, no. 7, pp. 2567–2578, 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04763-1

[30] C. C. Pei, T. S. Hsien, F. C. Hsuan, H. L. Hsuan, C. C. Chi, and L. M. Yi, "Microwave- and Ultrasound-Assisted Extraction of Pectin Yield and Physicochemical Properties from Lemon Peel," *J Agric Food Res*, vol. 15, p. 101009, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101009>

[31] Y. Mao, J. P. Robinson, and E. R. Binner, "Current status of microwave-assisted extraction of pectin," *Chemical Engineering Journal*, vol. 473, p. 145261, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.CEJ.2023.145261

[32] M. Marić, A. N. Grassino, Z. Zhu, F. J. Barba, M. Brnčić, and S. Rimac Brnčić, "An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwave-, and enzyme-assisted extraction," *Trends Food Sci Technol*, vol. 76, pp. 28–37, 2018, doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.022

[33] V. Elsyana and L. R. Alvita, "Characterization of Pectin from Cincau (*Premna Oblongifolia* Merr.) Leaves," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012050

[34] A. Siddiqui, K. Chand, and N. C. Shahi, "Effect of Process Parameters on Extraction of Pectin from Sweet Lime Peels," *Journal of The Institution*

of Engineers (India): Series A, vol. 102, no. 2, pp. 469–478, Jun. 2021, doi: 10.1007/S40030-021-00514-3/FIGURES/3

[35] A. Arellanes, M. Jaraba, Z. Mármo, G. Páez, C. Aiello Mazzarri, y M. Rincón, “Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (Musa AAB),” *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, vol. 28, no. 4, 2012, Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26899>

[36] P. Khamsucharit, K. Laohaphatanalert, P. Gavinlertvatana, K. Sriroth, and K. Sangseethong, “Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties,” *Food Sci Biotechnol*, vol. 27, no. 3, p. 623, May 2018, doi: 10.1007/S10068-017-0302-0

[37] G. Navarrete Vazquez et al., “SÍNTESIS ORGÁNICA ASISTIDA POR MICROONDAS: Crónicas en la obtención de compuestos bioactivos,” *Quimiofilia*, vol. 29, no. 1, pp. 43–49, May 2023, doi: 10.56604/QFLA202229QUIM-LUZ4349

[38] E. Cabarcas, A. Guerra, y C. Henao, “Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción,” *Universidad de Cartagena*, 2012

[39] D. A. Rodríguez, M. Ab, A. Felipe, R. Garcés, A. Del, y S. Altamar, “Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (Theobroma Cacao L.) y su aplicación en la obtención de biopelículas,” *Revista Mutis*, vol. 13, no. 1, pp. 1–20, May 2023, doi: 10.21789/22561498.1885

[40] S. S. Hosseini, F. Khodaiyan, M. Kazemi, and Z. Najari, “Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method,” *Int J Biol Macromol*, vol. 125, pp. 621–629, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2018.12.096

[41] C. L. O. Petkowicz, L. C. Vriesmann, and P. A. Williams, “Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin,” *Food Hydrocoll*, vol. 65, pp. 57–67, May 2017, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2016.10.040

[42] E. E. Santos, R. C. Amaro, C. C. C. Bustamante, M. H. A. Guerra, L. C. Soares, and R. E. S. Froes, “Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification,” *Food Hydrocoll*, vol. 107, p. 105921, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2020.105921

[43] R. Gnanasambandam and A. Proctor, “Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy,” *Food Chem*, vol. 68, no. 3, pp. 327–332, Feb. 2000, doi: 10.1016/S0308-8146(99)00191-0

[44] E. A. Günter, A. K. Melekhin, V. S. Belozarov, E. A. Martinson, and S. G. Litvinets, “Preparation, physicochemical characterization and swelling properties of composite hydrogel microparticles based on gelatin and pectins with different structure,” *Int J Biol Macromol*, vol. 258, p. 128935, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2023.128935

[45] Y. Huang, B. Sun, and B. Muhoza, “Influence of processing conditions on the physical properties, retention rate, and antimicrobial activity of cinnamaldehyde loaded in gelatin/pectin complex coacervates,” *Food Biophys*, vol. 17, no. 3, pp. 289–301, Sep. 2022, doi: 10.1007/S11483-022-09718-X/METRICS

- [46] M. Ahsan et al., "Exploring pectin from ripe and unripe Banana Peel: A novel functional fat replacers in muffins," *Food Chem X*, vol. 23, p. 101539, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.FOCHX.2024.101539
- [47] J. E. Correa Taculí, "Grado de Esterificación y Rendimiento de Pectina utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia Ficus Indica*.) extraída a diferentes tiempos y temperaturas," *Universidad Nacional de Cajamarca*, Jul. 2023, Accessed: Jun. 07, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5912>
- [48] G. Biratu, H. W. Woldemariam, and G. Gonfa, "Optimization of pectin yield extracted from coffee Arabica pulp using response surface methodology," *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. 29636, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29636
- [49] R. Pholsin et al., "Impact of pectin edible coating extracted from cacao shell powder on postharvest quality attributes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit during storage," *Food Control*, vol. 155, p. 110023, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.FOODCONT.2023.110023
- [50] W. ling Liang, J. song Liao, J. R. Qi, W. xin Jiang, and X. quan Yang, "Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification," *Food Chem*, vol. 375, p. 131806, May 2022, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131806
- [51] T. C. Ramírez-Gavídia, N. M. González-Colmenares, and E. K. Guerrero-Pernía, "Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R.," *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, vol. 8, no. 2, pp. 84–91, May 2020, doi: 10.15649/2346030X.819
- [52] N. C. Silva, E. A. Benites, J. Carlos, and M. Gomero, "Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana," *Ingeniería Industrial*, vol. 0, no. 026, pp. 175–199, Jun. 2008, doi: 10.26439/ING.IND2008.N026.640
- [53] J. C. H. Lai, D. Mahesan, N. A. S. binti Abdul Samat, and R. Baini, "Characterization and optimization of extracted pectin from unripe banana and mango fruit peels," *Mater Today Proc*, vol. 65, pp. 3020–3029, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.03.580