

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**TECNOLOGÍA COMBINADA DE MICROONDAS,  
PRESIONES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA  
EXTRACCIÓN DE PECTINA DE CÁSCARA DE SANDÍA  
(*Citrullus lanatus*) VAR. CRIMSON SWEET PARA SU  
EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Autor (a): Egr. Omer Jose Fernandez Burga  
Bach. Celinda Yoslit Gavidia Diaz**

**Asesor (a): Dr. Ernesto Hernández Martínez**




**Línea de investigación: LI\_IJA\_03 Ingeniería de Procesos Alimentarios**

**JAÉN – PERÚ**

**2025**

# Omer José Fernández Burga Celinda Yoslit Gavidia ...

## TECNOLOGÍA COMBINADA DE MICROONDAS, PRESIONES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE ...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3381127487

Fecha de entrega

21 oct 2025, 9:25 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 oct 2025, 9:48 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

CELINDA\_GAVIDIA\_DIAZ\_INF-FINAL\_-\_CELINDA\_YOSLIT\_GAVIDIA\_DIAZ.pdf

Tamaño del archivo


3.2 MB

74 páginas

13.241 palabras

70.843 caracteres

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

  
Dr. Alexander Huamán Mera  
Responsable de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Ingeniería




## 5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

*Dr. Alexander Huamán Mera*  
Responsable de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 31 de octubre del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano  
Secretario: Dr. Juan Dario Rios Mera  
Vocal: Mg. Giancarlo Joel Pérez Mejía, para evaluar la Sustentación de:

- ( ) Trabajo de Investigación
- ( X ) Tesis
- ( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "TECNOLOGÍA COMBINADA DE MICROONDAS, PRESIONES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE CÁSCARA DE SANDÍA (*Citrullus lanatus*) VAR. CRIMSON SWEET PARA SU EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA", presentado por las tesisistas Omer Jose Fernandez Burga y Celinda Yoslit Gavidia Diaz de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

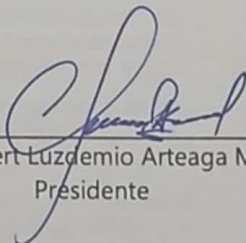
- ( X ) Aprobar ( ) Desaprobar ( X ) Unanimidad ( ) Mayoría


Con la siguiente mención:

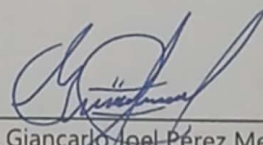
- a) Excelente 18, 19, 20 ( )
- b) Muy bueno 16, 17 ( )
- c) Bueno 14, 15 ( 14 )
- d) Regular 13 ( )
- e) Desaprobado 12 ó menos ( )

Siendo las 12:08 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 31 de octubre de 2025

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Dario Rios Mera  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Giancarlo Joel Pérez Mejía  
Vocal

**“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMIA  
PERUANA”**

**ANEXO N°06:**

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO  
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Celinda Yoslit Gavidia Diaz, egresada de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 71143268.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

**“Tecnología combinada de microondas, presiones y ácidos orgánicos para la extracción de pectina de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) var. Crimson Sweet para su evaluación fisicoquímica”.**

Asesorado por el Dr. Ernesto Hernández Martínez.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 01, diciembre 2025.



Celinda Yoslit Gavidia Diaz



# “AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMIA PERUANA”

## ANEXO N°06:

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Omer Fernández Burga, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 62090487.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

**“Tecnología combinada de microondas, presiones y ácidos orgánicos para la extracción de pectina de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) var. Crimson Sweet para su evaluación fisicoquímica”.**

Asesorado por el Dr. Ernesto Hernández Martínez.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 01, diciembre 2025.

  
\_\_\_\_\_  
Omer José Fernández Burga



## ÍNDICE

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1. Lugar de ejecución.....	14
2.2. Población, muestra y muestreo .....	14
2.2.1. Población .....	14
2.2.2. Muestra .....	14
2.2.3. Muestreo .....	14
2.3. Metodología.....	15
2.3.1. Procedimiento experimental.....	15
2.3.2. Métodos de análisis de variables dependientes .....	19
2.4. Diseño experimental .....	22
2.5. Análisis de datos .....	24
III. RESULTADOS .....	25
3.1. Análisis del extracto de pectina .....	27
3.2. Análisis de la pectina en polvo .....	30
3.3. Análisis de componentes principales.....	33
IV. DISCUSIÓN.....	35
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
DEDICATORIA.....	53
AGRADECIMIENTO .....	54
ANEXOS.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Resultados promedios y error estándar de cada variable dependiente.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Promedios de los factores y sus interacciones aplicado en el extracto de pectina .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Promedio de los factores y sus interacciones aplicado en la pectina en polvo</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la Viscosidad del extracto de pectina.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la Luminosidad del extracto de pectina ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la coordenadas a del extracto de pectina .</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la coordenada b del extracto de pectina ...</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para el Rendimiento de la pectina en polvo .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la humedad de la pectina en polvo.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para las cenizas de la pectina en polvo.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Análisis de varianza (ANVA) para la Acidez de la pectina en polvo.....</i>	<i>74</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	<i>Diagrama de flujo para el obtención de cáscara deshidratada de sandia.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Diagrama de flujo para la obtención de pectina en polvo .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Instrumento de medición de viscosímetro vibracional de onda sinusoidal sv</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Esquema experimental de la investigación.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Análisis de componentes principales (ejes F1 y F2: 78.82 %)</i> .....	<i>34</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Viscosidad analítica del extracto de pectina .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Luminosidad del extracto de pectina .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Coordenada a del extracto de pectina .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Coordenada b del extracto de pectina .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Rendimiento de la pectina en polvo .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Humedad de la pectina en polvo.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Cenizas de la pectina en polvo.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 13</i>	<i>Acidez de la pectina en polvo.....</i>	<i>74</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Galería de fotos: Obtención de cáscara deshidratada de sandia .....</i>	<i>55</i>
<i>Anexo 2. Galería de fotos: Proceso de extracción de pectina.....</i>	<i>57</i>
<i>Anexo 3. Galería de fotos: Determinación de viscosidad analítica .....</i>	<i>61</i>
<i>Anexo 4. Galería de fotos: Determinación de color del gel de pectina.....</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 5. Galería de fotos: Determinación de rendimiento .....</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 6. Galería de fotos: Determinación de humedad.....</i>	<i>64</i>
<i>Anexo 7. Galería de fotos: Determinación de cenizas.....</i>	<i>65</i>
<i>Anexo 8. Galería de fotos: Determinación de acidez .....</i>	<i>66</i>
<i>Anexo 9. Figuras y Tablas ANVA de viscosidad.....</i>	<i>67</i>
<i>Anexo 10. Figuras y Tablas ANVA de luminosidad.....</i>	<i>68</i>
<i>Anexo 11. Figuras y Tablas ANVA de coordenada a .....</i>	<i>69</i>
<i>Anexo 12. Figuras y Tablas ANVA de coordenada b .....</i>	<i>70</i>
<i>Anexo 13. Figuras y Tablas ANVA de rendimiento .....</i>	<i>71</i>
<i>Anexo 14. Figuras y Tablas ANVA de la humedad.....</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 15. Figuras y Tablas ANVA de cenizas.....</i>	<i>73</i>
<i>Anexo 16. Figuras y Tablas ANVA de acidez .....</i>	<i>74</i>

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo obtener y evaluar físicamente la pectina de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) var. Crimson Sweet mediante la aplicación combinada de microondas (con y sin), ácidos orgánicos (málico y cítrico) y presiones (atmosférica y manométrica). Entre las variables dependientes, se tiene que la viscosidad mostró variaciones significativas principalmente en función del tipo de ácido utilizado, destacando el ácido cítrico bajo presión atmosférica con valores superiores, mientras que la aplicación de microondas no presentó un efecto relevante; en cuanto al color, la luminosidad y la coordenada a estuvieron influenciadas por los ácidos, mientras que la coordenada b no mostró cambios relevantes; sobre el rendimiento estuvo condicionado por la combinación de microondas, ácidos y presiones, siendo más eficiente el tratamiento T5 (sin microondas, ácido cítrico y presión atmosférica); referente a la humedad se vio significativamente afectada por el tipo de ácido, obteniéndose menores valores con ácido cítrico; concerniente al contenido de cenizas reflejó la influencia de las combinaciones, indicando que un exceso de minerales podría comprometer la pureza; por último, la medición de la acidez estuvo determinada principalmente por la acción de los microondas y la interacción entre ácidos y presiones, resaltando el ácido cítrico como el agente con mayor potencial para optimizar la calidad de la pectina. El análisis de varianza (ANVA) permitió identificar efectos significativos de los factores principales y de sus interacciones dobles y triples, mientras que el análisis de componentes principales (PCA) facilitó la visualización de los patrones multivariados entre tratamientos y variables dependientes.

**Palabras clave:** Propiedades físicas, análisis fisicoquímico, interacciones, análisis multivariante, subproducto agroindustrial.

## ABSTRACT

The objective of this study was to obtain and physically evaluate pectin from watermelon rind (*Citrullus lanatus*) var. Crimson Sweet through the combined application of microwaves (with and without), organic acids (malic and citric), and pressures (atmospheric and manometric). Among the dependent variables, viscosity showed significant variations mainly depending on the type of acid used, with citric acid under atmospheric pressure showing higher values, whereas the application of microwaves did not have a significant effect; regarding color, brightness and the a coordinate were influenced by the acids, while the b coordinate did not show significant changes; as for yield, it was conditioned by the combination of microwaves, acids, and pressures, with treatment T5 (without microwaves, citric acid, and atmospheric pressure) being the most efficient; in relation to moisture, it was significantly affected by the type of acid, with lower values obtained with citric acid; concerning ash content, it reflected the influence of the combinations, thus suggesting that an excess of minerals could compromise purity; finally, acidity measurement was mainly determined by the action of microwaves and the interaction between acids and pressures, highlighting citric acid as the agent with the greatest potential for optimizing pectin quality. Analysis of variance (ANVA) identified significant effects of the main factors and their double and triple interactions, whereas principal component analysis (PCA) facilitated the visualization of multivariate patterns between treatments and dependent variables.

**Keywords:** Physical properties, physicochemical analysis, interactions, multivariate analysis, agroindustrial byproducts.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de subproductos agroindustriales se presenta como una opción sustentable para reducir desechos y producir compuestos útiles, como la pectina. Este polisacárido natural, que se encuentra en la pared celular de las frutas, se emplea como agente gelificante, emulsionante y estabilizante en el sector de la industria alimentaria (Vera, 2025).

Según Chiroque y Sencio (2020), la sandía (*Citrullus lanatus*) var. Crimson sweet es abundante principalmente en Piura, Lambayeque, La Libertad y otras ciudades del Perú, debido a su excelente adaptación de cultivo, ha logrado posicionarse en la mayor parte del mercado con una producción de 15 242 toneladas en el 2023 (Sihuas, 2023).

Tradicionalmente la extracción se llevaba a cabo a través de la hidrólisis ácida con ácidos inorgánicos a elevadas temperaturas, lo que incrementaba los costos y los riesgos para el medio ambiente. Por esta razón, se ha investigado la aplicación de ácidos orgánicos, especialmente el ácido cítrico y el ácido málico, como extractantes más seguros y respetuosos con el medio ambiente (Aparicio et al., 2024).

Dentro de las investigaciones de referencia se mencionan a:

Mediante el método asistido por microondas, Urango et al. (2018) aplicando 1000 W de potencia por 100 segundos extrajeron pectina de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) obteniendo un rendimiento de 68.76 % a base húmeda; la metodología incluyó el uso de una solución de HCl de 0.24 N.

Hartati y Subekti (2015) extrajeron pectina de cáscara de sandía por microondas; el mayor rendimiento fue de 11.25 % a condiciones de 15 min de tiempo de extracción en solución ácida 0.5 M de ácido sulfúrico, con una relación de sólido a líquido de 1:8 a una potencia de 39.9 W.

Arellanes et al. (2011) extrajeron pectina de cambur manzano por hidrólisis ácida convencional y por microondas habiéndose utilizado ácido cítrico, ácido clorhídrico y ácido anhídrico, donde la extracción con este último obtuvo un 94.38 % en comparación con el ácido cítrico que presentó 16.14 % en base seca.

Zegada (2015) realizó extracción de pectina a base de cáscara de naranja por el método de hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO), mediante ácido cítrico por 7 minutos logrando ahorrar energía y tiempo en la producción, obteniendo 16.8 % de rendimiento, 7.1 % de metoxilos y 8.7 % de humedad logrando una pectina de alta pureza en el producto final.

Diez (2021) realizó extracción de pulpa de remolacha mediante extracción asistida por microondas utilizando ácido clorhídrico como agente de extracción a 60 °C durante 3 minutos y con una capacidad de 297.7 kW, obteniendo así un flujo másico de pectina húmeda de 15.48 t/h, rendimiento del 21 % y acidez de 3.41 %.

Vargas (2019) desarrolló la extracción de pectina de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y pitahaya roja (*Cereus undatus Haw*), mediante microondas y tratamiento de extracción térmica con ácido de hidrocloreto, ácido láctico, hidrocloreto, ácido láctico, determinando el contenido de cenizas de 5.10 %, un rendimiento mayor en la pitahaya roja con 23.67 % y una concentración de gelificación de 0.02 %.

Curbelo et al. (2017) en su análisis de extracción de pectina de bagazo de sábila por hidrólisis ácida determinaron que hubo un mejor resultado a 90 °C, 60 milisegundos, ya que obtuvieron 5.92 % de humedad, 4.91 % de cenizas, 0.12 % de acidez, 11.45 % de rendimiento y presentan una rápida gelificación.

Choo (2020) extrajo pectina a base de sandía (*Citrullus lanatus*) mediante hidrólisis ácida utilizando ácido clorhídrico y ácido cítrico, mediante condiciones optimizadas como

extractante al ácido cítrico con un pH 2 a 80 °C por 3 horas y una proporción de sustrato de 1:25, con lo cual se obtuvo un rendimiento de extracción de  $8.38 \pm 0.43$  superior al obtenido con ácido clorhídrico.

Méndez et al. (2021) mediante el diseño de Box-Behnken extrajeron pectina de cáscara de sandía y valorizaron el pH, la temperatura, rendimiento y la composición, donde las condiciones óptimas de rendimiento fueron de 13.4 %, pureza 540  $\mu\text{g/g}$  de ácido galacturónico y masa molar 106.1 kDa las cuales se compararon con fuentes tradicionales de pectina donde mostraron un mayor grado de ramificación.

Cuesta y Muñoz (2012) utilizando ácido clorhídrico, extrajeron pectina de cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. flavicarpa degener*) con un grado de esterificación del 90.9 %, 13.4 % de metoxilo en tiempos de gelificación de 4 minutos, obteniendo así un 62.0 % de rendimiento y 1.4 % de cenizas

Barreto et al. (2017) realizaron la extracción de pectina de cáscara de mango en madurez óptima donde se obtuvo como pH 1 a 100 °C, donde su rendimiento fue de  $15.257 \pm 0.04$ , humedad 4.51 %, contenido de cenizas 1.35 % y acidez 0.85 %, definiéndose como pectina de rápida gelificación y pureza.

Moreno (2019) extrajo pectina de albedo de naranja (*Citrus sinensis L. Osbeck*) y limón (*Citrus limon L. Osbeck*) mediante hidrólisis ácida y asistida por microondas obtuvieron rendimientos semejantes al método convencional con un rendimiento promedio de 17.69 % y grado de esterificación de 73.34 % a temperaturas entre 90 y 100 °C lo que le calificó como una pectina de alto metoxilo.

Rodriguez et al. (2023) emplearon la hidrólisis ácida obtuvieron pectina a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) utilizando ácido cítrico donde obtuvieron valores de pH

bajos de 2.0 a 3.0 y de rendimiento de 1.06 % en comparación con el ácido clorhídrico que presentó problemas en la calidad del producto final.

En la extracción de pectina de residuos de naranja sin extraer aceite esencial mediante hidrólisis ácida, Ramírez et al. (2020) emplearon ácido clorhídrico para su extracción con pH 3.2 durante 90 min a 90 °C, lo que obtuvo rendimiento 35.83%, grado de esterificación 70.49% y cenizas 2.03%.

De acuerdo a Chasquibol et al. (2008) mediante la extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana en este caso de níspero y granadilla encontraron en cuanto al contenido de acidez (87.97 % y 85.99 %), contenido de humedad (17.80 % y 17.50 %) respectivamente, en cambio el contenido de cenizas (3.47 % y 4.95 %) y el análisis espectrofotométrico infrarrojo confirmaron que las pectinas obtenidas son de alto metoxilo, de alta pureza y de buena calidad.

Maldonado et al. (2010) en la extracción de pectina por hidrólisis ácida de maushan y mediante ácido fosfórico y cítrico obtuvieron porcentajes considerables de acidez de 25.86 % y 28.5 %, porcentaje de rendimiento de 2.15 % y 2.10 % y tiempos menores de gelificación (5.63 y 6.04 %).

En guayabas verdes, pintonas y maduras, Paredes et al. (2015) estudiaron el efecto del grado de madurez sobre el contenido de pectinas de guayabas (*Psidium guajava L.*). Se observó que el rendimiento de extracción disminuyó progresivamente con la madurez, registrándose valores de 5.49 %, 5.24 % y 4.77 %, el contenido de cenizas fue de 1.40 %, 1.69 % y 1.80 %, el grado de esterificación mostró una tendencia descendente, con 88.58 %, 80.53 % y 64.60 %, mientras que la acidez pasó de 16.15 %, 11.58 % y 7.27 %.

El viscosímetro de vibración de onda sinusoidal ha llegado a ser el más utilizado debido a su versatilidad y bajo costo, llega a medir la viscosidad detectando la corriente eléctrica excitatoria y repercutir las dos placas del sensor a una frecuencia y amplitud de onda constante, además llega a medir la temperatura de inmediato y lo más importante es que no causa daños al líquido de la muestra (Risso, 2022).

En la evaluación del efecto de la alta presión sobre la cinética de muerte de las esporas de *Alicyclobacillus acidoterrestris* y sobre las características de calidad de la pulpa de mango, se observó que esta tecnología no solo ofreció ventajas frente al procesamiento térmico en términos de menor tiempo y temperatura de tratamiento, sino que además mejoró todos los parámetros de color evaluados. Asimismo, favoreció una mayor capacidad de retención de agua y, en consecuencia, una menor liberación de suero (Ribeiro y Cristianini, 2021).

La problemática de la investigación se centró en identificar las diferencias entre tratamientos originados por la aplicación de microondas, ácidos orgánicos y presiones sobre las características fisicoquímicas de la pectina de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) debido a que la sandía está compuesta por 80 % de mesocarpio (cáscara), el cual contiene 93 % de agua (Sánchez, 2020) y en su mayoría es desechada y utilizada para la alimentación de animales o simplemente eliminada a los vertederos causando contaminación ambiental, debido a la eliminación de gases nocivos que tienen al momento de llegar a ser incinerados en los vertederos (García y Zegarra, 2020). Por otro lado, la pectina es un producto con alta demanda en la industria alimentaria utilizada en la producción de gelatinas, mermeladas, jaleas, entre otros; sin embargo, sus altos costos de producción aumentan su precio de venta (Prieto et al., 2017; Berger y Díaz, 2011). Hasta mayo de 2024 luego de haberse hecho la búsqueda literaria, se ha encontrado que hay un vacío del conocimiento dado que no se ha encontrado investigaciones que involucren en forma simultánea el uso de microondas y

presiones para la extracción de pectina, generalmente se realiza mediante métodos convencionales como la ebullición y el uso de solventes, lo que limita la exploración de nuevas técnicas y enfoques que podrían mejorar la eficiencia y la calidad de la extracción de pectina.

La justificación del estudio abarcó el uso de nuevas tecnologías que combinan microondas, ácidos orgánicos y presiones que mejoran la extracción y caracterización fisicoquímica de la pectina. Aunque existe un potencial optimista en la aplicación de estas tecnologías, se requiere de más investigaciones y estudios para comprender completamente su viabilidad y efectividad en comparación con los métodos tradicionales de extracción de pectina.

El estudio tuvo como objetivo general obtener y evaluar físicamente la pectina de cáscara de sandía aplicando microondas, ácidos orgánicos y presiones, asimismo, los objetivos específicos fueron estimar la viscosidad, luminosidad, coordenada a y coordenada b del extracto de pectina para los ocho tratamientos y determinar el rendimiento, humedad, ceniza y acidez de la pectina en polvo para ocho tratamientos.

Por lo tanto, debido a la aplicación de tratamientos hubo diferencias por la combinación de microondas, ácidos orgánicos y presiones evaluadas en la determinación de características fisicoquímicas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en distintos lugares debido a los diferentes tipos de análisis: El tratamiento de la materia prima, proceso de extracción de pectina, análisis de rendimiento, cenizas, humedad y acidez de la pectina se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén; el análisis de viscosidad y color del extracto de pectina se ejecutó en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en la Ciudad de Lambayeque.

### 2.2. Población, muestra y muestreo

#### 2.2.1. Población

Las sandías var. Crimson sweet se adquirieron de “Servifruta” ubicada en la Av. Pakamuros N° 2160, los cuales fueron recolectados del centro poblado El Tablón, distrito Chirinos, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca.

#### 2.2.2. Muestra

24 unidades de sandía con un promedio de 10 kg, las cuales fueron recolectadas del centro poblado El Tablón, distrito Chirinos, provincia de San Ignacio, Departamento de Cajamarca.

#### 2.2.3. Muestreo

Para la obtención de las sandías (*Citrullus lanatus*) el muestreo fue no probabilístico según conveniencia de los investigadores.

## **2.3. Metodología**

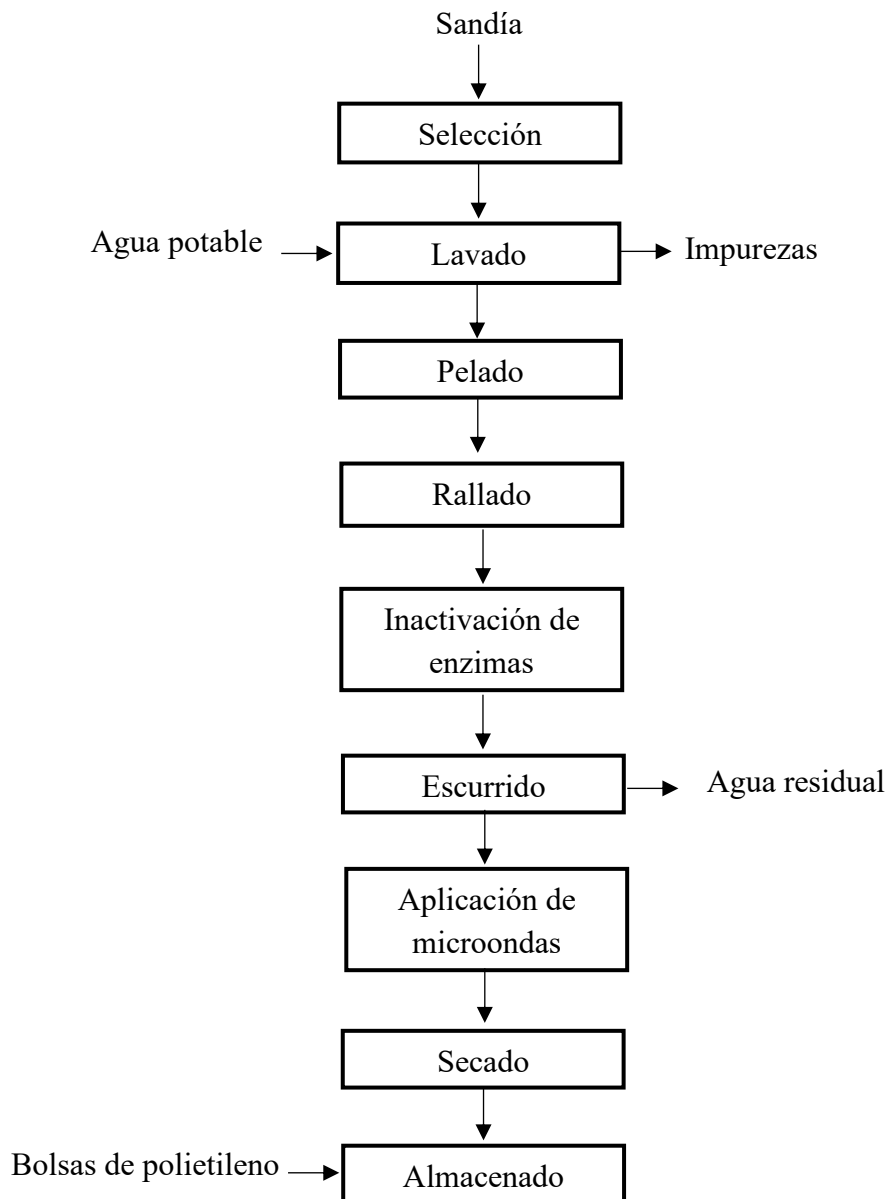
### **2.3.1. Procedimiento experimental**

Las sandías adquiridas se seleccionaron previamente de acuerdo a su peso, indicadores físicos y visuales, luego se procedió al lavado con agua potable con la finalidad de eliminar impurezas, se le retiró el epicarpio con un pelador de papas, luego se separó el mesocarpio de la pulpa y se procedió al rayado de forma manual obteniendo así pequeñas láminas. Se inactivaron las enzimas presentes en la cáscara de sandía mediante escaldado a 80 °C por 10 minutos (Juarez, 2018). Posteriormente se escurre para minimizar el contenido de agua y sólidos solubles. Algunos tratamientos incluyeron la aplicación de microondas (FZ-2018MH-S, Finezza, China) durante 3 minutos (Urango et al., 2018). Finalmente, la cáscara rallada se secó en la estufa eléctrica (9053A, Kertlab, China) a 60 °C durante 24 horas y se almacenó en bolsas de polietileno.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo detallado para el acondicionamiento de la materia prima que a partir de la sandía se obtendrá la cáscara deshidratada de sandía, así como en las figuras mostradas en el Anexo 1.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo para el obtención de cáscara deshidratada de sandía*



A partir de la cáscara deshidratada de sandía, se realizó una extracción por hidrólisis ácida, mediante el uso de una olla a presión (Tramontina, 62416/220, Brasil) sin perilla y una olla a presión (Tramontina, 62416/220, Brasil) (Anexo 2) con adaptación de manómetro 15 PSI (13230631, Weizz, Perú), donde la adición de calor y el ácido diluido (ácido cítrico y ácido málico 1M) durante 60 minutos llegó a convertir la protopectina insoluble en pectina soluble ( Juarez, 2018). Posterior a

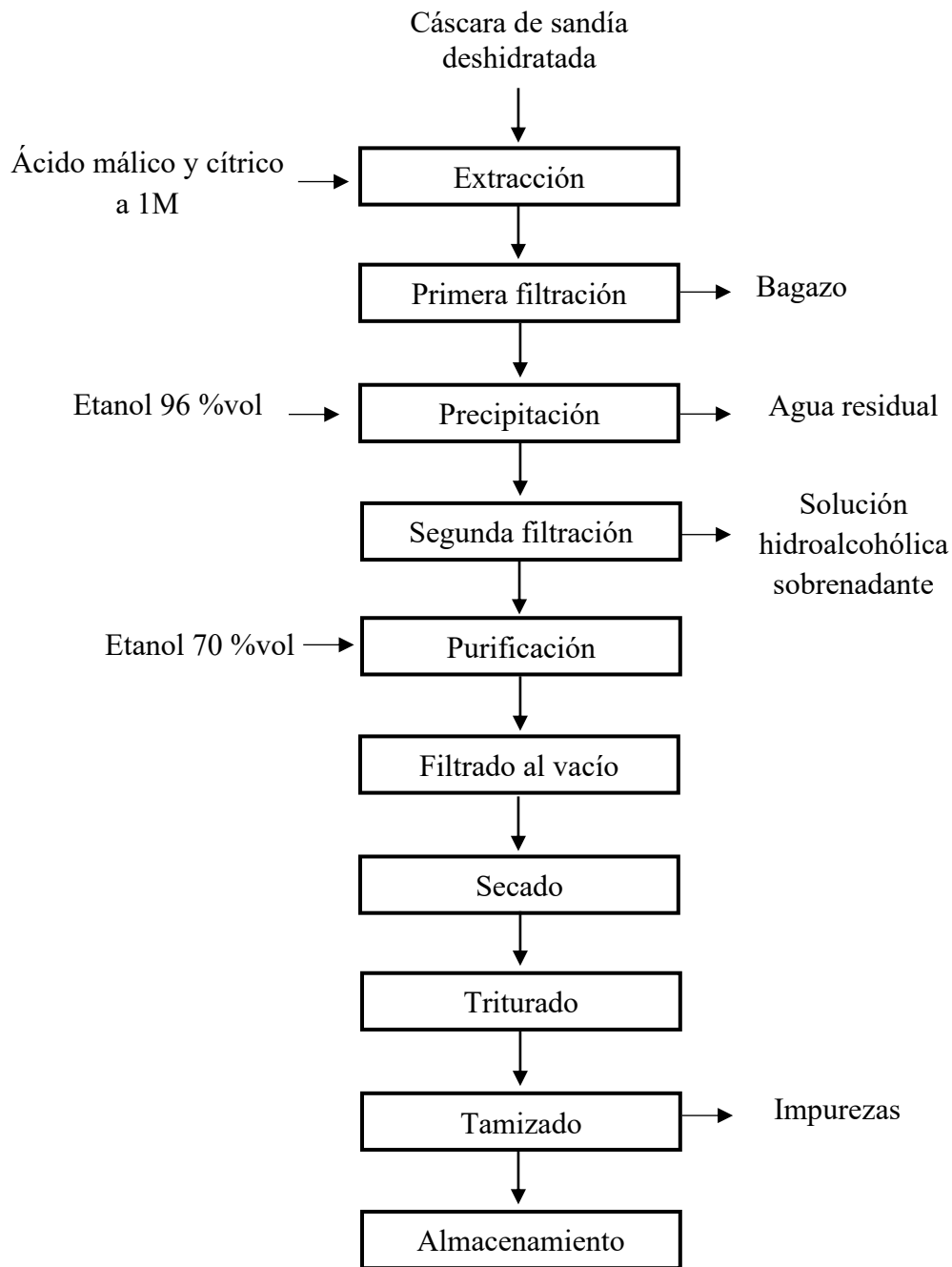
ello se filtró a través de una tela de organza para separar el bagazo. Se procedió con la precipitación de la pectina mediante etanol de 96 % vol. en una proporción 1:1 y se dejó reposar 24 horas (Espinoza y Santos, 2018). Luego se realizó una segunda filtración para separar el agua y alcohol mediante una pipeta dejando solo el gel péptico. Se purificó la pectina mediante lavados con alcohol al 70 % vol y finalmente, se filtró al vacío usando un kit de filtración por succión al vacío (R300, BOECO, Alemania) para eliminar el alcohol restante y medir la viscosidad de la pectina obtenida.

El secado se realizó en una estufa eléctrica (9053A, Kertlab, China) a 55 °C, para el cual se usaron placas Petri y las muestras se colocaron en capas delgadas y se secaron hasta que alcanzaron un peso constante (Juarez, 2018). Luego se trituró en un mortero de porcelanato de tal manera que se obtuvieron pequeñas partículas, se procedió con el tamizado donde se usó un tamiz de malla N° 30 – 0.6 mm ASTM y de esta manera se llegó a uniformizar el tamaño de las partículas.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de pectina en polvo a base de cáscara de sandía ya deshidratada, así también mostradas las operaciones en el Anexo 2

**Figura 2**

*Diagrama de flujo para la obtención de pectina en polvo*



### **2.3.2. Métodos de análisis de variables dependientes**

Todos los análisis se realizaron por triplicado con el fin de asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados, en los que las muestras fueron procesadas bajo las mismas condiciones experimentales para cada repetición. A continuación, se describe el procedimiento para cada variable:

#### **- Viscosidad del extracto de pectina**

La viscosidad se realizó en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en la Ciudad de Lambayeque mediante el uso de Viscosímetro vibracional de onda sinusoidal (SV AND, SV10A, Japón). Para cada medición, del gel de pectina obtenido luego de la purificación, se introdujeron 35 ml en la celda de medición que fue colocada en la celda de medición. La sonda del viscosímetro generó una onda sinusoidal a una frecuencia de 30 Hz mediante vibración del diapasón. Finalmente, el viscosímetro registró la viscosidad del gel en respuesta a la onda sinusoidal de forma clara y precisa ya sea en centipoise (cP) o poise (P).

En la Figura 3 se muestra el sistema de medición de viscosidad usado para el gel de pectina.

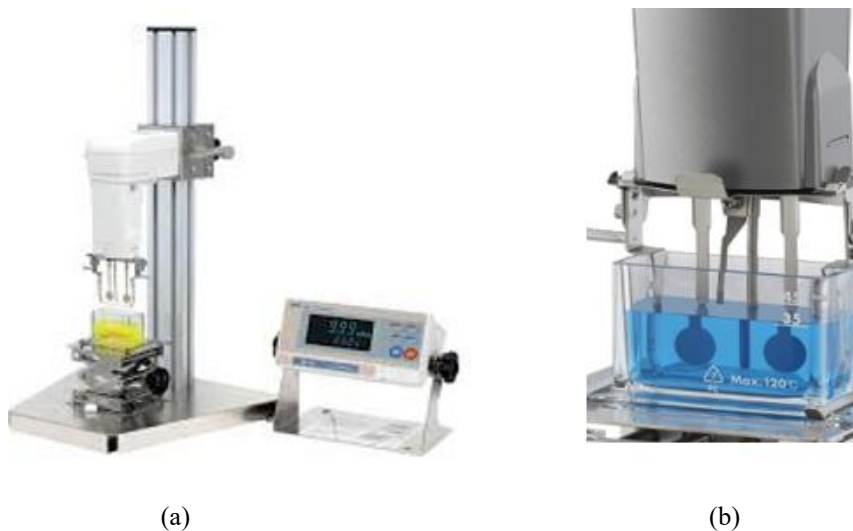
#### **- Luminosidad, coordenada a y b del extracto de pectina**

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en la Ciudad de Lambayeque mediante el uso del espectrofotómetro (3nh, NS810, China). Para cada evaluación, las muestras de gel fueron colocadas en bolsas transparentes de polietileno, tratando de eliminar la presencia de aire y

distribuyendo el gel de pectina de manera uniforme, para obtener una superficie lisa y homogénea. Cada muestra fue evaluada en tres puntos distintos y los resultados obtenidos fueron promediados y guardados en la memoria interna del equipo para luego ser exportados a una computadora.

### Figura 3

*Instrumento de medición de viscosímetro vibracional de onda sinusoidal sv*



Nota: La Figura 3 muestra dos diferentes vistas del viscosímetro. La imagen (a) muestra el instrumento completo desde su soporte vertical, mecanismo de medición y pantalla digital. En la imagen (b) se muestra el mecanismo de medición, el cual es de dos placas que se activan por fuerza electromagnética, vibrando con la onda sinusoidal. Tomado de (Risso, 2022) y (AyD Company, 2004).

#### - **Determinación de rendimiento**

Para determinar el rendimiento de pectina se realizó mediante el método 999.43 AOAC (1995) de acuerdo a Juárez (2018) donde se tomaron las muestras sin contenido de humedad y luego se aplicó un cálculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{g de pectina obtenida}}{\text{g de cáscara}} \times 100$$

#### - **Determinación de humedad**

Luego de pesar 5 g de pectina en polvo en la balanza analítica (HR-250 AZ, AyD COMPANY, Japón), se colocó en un crisol cubriendo de tal manera toda la superficie, luego

se llevó a la estufa eléctrica (9053a, Kertlab, China) a 100 °C por 4 horas. Luego de ese tiempo se llevó a enfriar por 30 min y finalmente se registró su peso. El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

- **Determinación de cenizas**

Para evidenciar el porcentaje de cenizas que contenía la pectina en polvo, luego de pesar 2 g de muestra en la balanza analítica (HR-250 AZ, AyD COMPANY, Japón) dentro de un crisol calibrado y seco, se llevó a fuego lento evitando la formación de hollín, después pasaron a ser quemadas en un horno de mufla (856, JSB, Alemania) a 550 °C por 3 h, se dejó enfriar por aproximadamente 30 min, se volvió a colocar a la mufla hasta que la calcinación se completó, se retiró y colocó al desecador hasta que se enfrió y finalmente se pesó así calcular el porcentaje de cenizas mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

- **Determinación de acidez**

Se pesó un aproximado de 0.2 g de muestra de pectina en polvo, luego se diluyó en una fiola de 100 ml, así proceder a colocar 35 ml de muestra en el matraz junto a 3 gotas de fenolftaleína y determinar la acidez con NaOH al 0.005 N, finalmente de cálculo el porcentaje de acidez mediante la siguiente fórmula:

*% acidez*

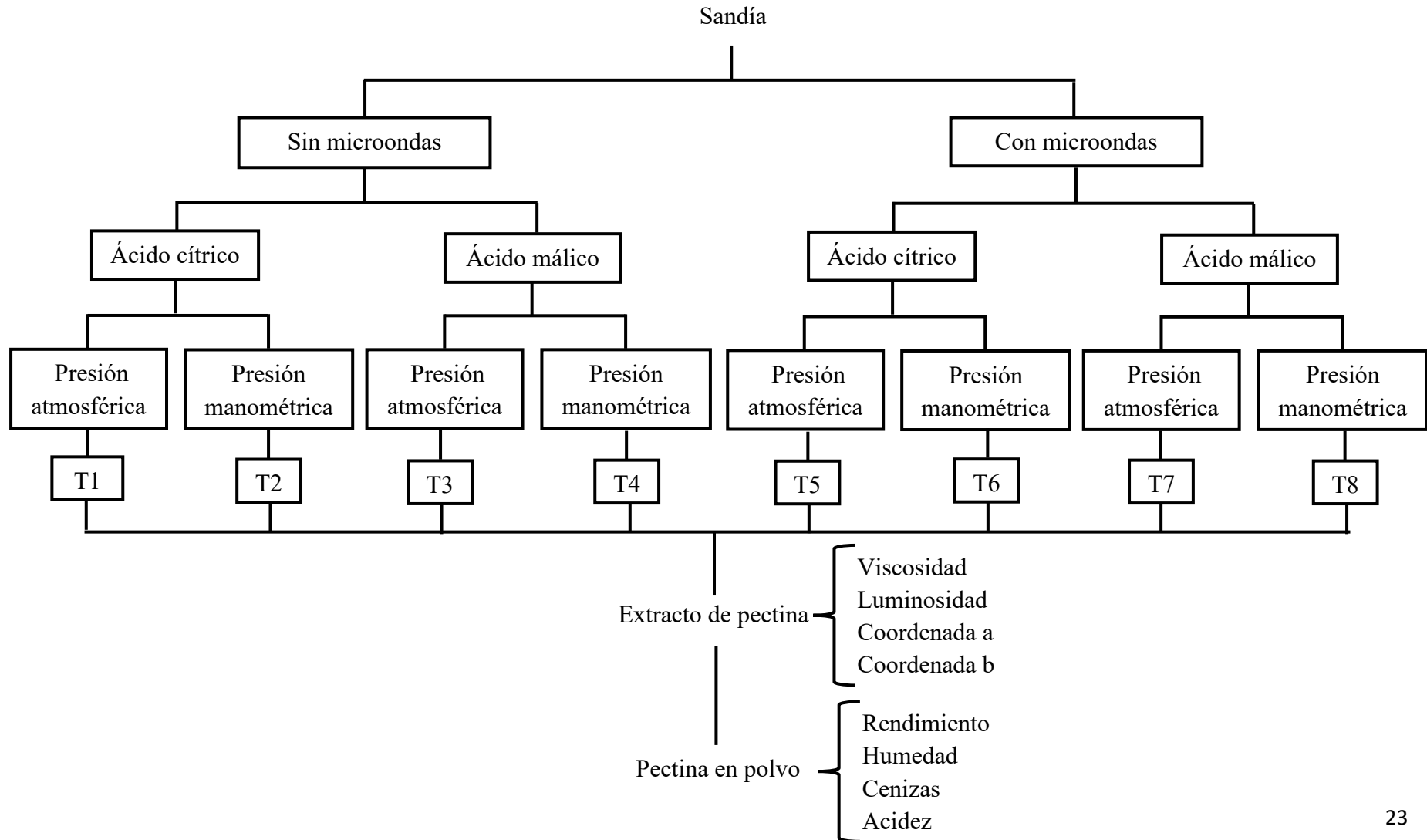
$$= \frac{\text{Vol. NaOH usado (ml)} \times \text{Conc. NaOH (N)} \times \text{Peso molecular Acido Galacturónico} \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

#### **2.4. Diseño experimental**

Es la Figura 4 se muestra el diseño experimental que tuvo la presente investigación, la cual corresponde a un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $2 \times 2 \times 2$ , donde se utilizaron dos tratamientos con y sin microondas, dos tratamientos con ácidos y dos tratamientos de presiones, según se muestra a continuación:

**Figura 4**

*Esquema experimental de la investigación*



## 2.5. Análisis de datos

Mediante el programa XLSTAT se realizó el análisis estadístico, que comprendió en primer lugar la aplicación de un análisis de varianza (ANVA) a todos los tratamientos generados en la evaluación de las variables dependientes (viscosidad, luminosidad, coordenadas a y b, rendimiento, humedad, cenizas y acidez) dentro del diseño factorial. Los resultados descriptivos de cada tratamiento se expresaron como media aritmética  $\pm$  error estándar (EE). Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %, para contrastar las medias de los tratamientos. Segundo, para examinar con mayor detalle la influencia de los factores en el diseño factorial, se estimaron las medias ajustadas (LS means  $\pm$  error estadístico-EE) (Wen et al., 2022). Las diferencias significativas entre los efectos principales (microondas, tipo de ácido y presión), así como entre sus interacciones dobles y triples, fueron determinadas igualmente mediante la prueba de Tukey al 5 % de significancia. De esta manera, se identificaron los grupos estadísticamente diferentes entre sí, lo que proporcionó una comprensión más profunda sobre los efectos de las variables independientes en las respuestas evaluadas. Tercero, con el fin de explorar las relaciones entre las variables dependientes y reducir la dimensionalidad de los datos, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA); los resultados se representaron en biplots bidimensionales que muestran simultáneamente las correlaciones de las variables y la distribución de los tratamientos, permitiendo una visualización gráfica de los patrones de asociación multivariante.

### **III. RESULTADOS**

Como parte de la investigación, se expusieron los resultados obtenidos en relación con los objetivos específicos. A continuación, en la Tabla 1 se detallan los promedios de cada una de las variables dependientes analizadas, los resultados en extenso de cada una de las variables dependientes evaluadas, para cada uno de los 8 tratamientos junto con sus tres repeticiones, que dieron origen a la media aritmética y error estándar, se encuentran en las Figuras 6 al 13.

**Tabla 1***Resultados promedios y error estándar de cada variable dependiente*

Microondas	Variable			Extracto de pectina			Pectina en polvo			
	Ácidos	Presiones	Viscosidad (Poise)	L	a	b	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Acidez (%)
Con microondas	Ác. málico	p. atmosférica	44.7 ± 11.53	43.94 ± 13.23	7.57 ± 5.79	-7.50 ± 6.05	40.34 ± 4.92	7.27 ± 0.59	0.37 ± 0.11	25.38 ± 1.69
Con microondas	Ác. málico	p. manométrica	40.17 ± 7.03	32.61 ± 6.69	7.75 ± 6.52	-17.8 ± 1.10	51.02 ± 1.18	5.93 ± 0.96	0.48 ± 0.06	17.16 ± 2.21
Con microondas	Ác. cítrico	p. atmosférica	74.73 ± 22.71	25.59 ± 14.27	14.55 ± 5.01	-13.61 ± 3.86	59.2 ± 2.12	5.76 ± 1.22	0.12 ± 0.01	16.7 ± 2.86
Con microondas	Ác. cítrico	p. manométrica	54.75 ± 7.27	28.39 ± 18.18	8.6 ± 6.18	-3.59 ± 10.46	62.52 ± 1.72	4.53 ± 1.43	0.4 ± 0.35	24.99 ± 2.91
Sin microondas	Ác. málico	p. atmosférica	49.38 ± 11.72	49.25 ± 4.39	8.87 ± 5.74	8.21 ± 10.22	62.88 ± 6.04	6.4 ± 0.64	1.33 ± 0.20	40.95 ± 2.21
Sin microondas	Ác. málico	p. manométrica	52.61 ± 10.85	44.26 ± 10.83	3.55 ± 0.53	6.73 ± 12.43	60.79 ± 4.44	6.8 ± 0.83	1.0 ± 0.28	29.76 ± 2.43
Sin microondas	Ác. cítrico	p. atmosférica	76.87 ± 14.52	3.46 ± 0.86	28.55 ± 7.73	-7.55 ± 12.04	59.65 ± 2.21	5.07 ± 0.40	0.31 ± 0.06	33.15 ± 1.50
Sin microondas	Ác. cítrico	p. manométrica	67.42 ± 6.34	6.54 ± 4.74	13.59 ± 2.41	4.65 ± 8.00	57.06 ± 5.66	4.67 ± 1.17	0.7 ± 0.38	49.78 ± 7.79

### 3.1. Análisis del extracto de pectina

A partir de los datos experimentales que dieron origen a la Tabla 1, y con el objetivo de evaluar la influencia de los factores de estudio (microondas, tipo de ácido y presión) y sus interacciones dobles y triples sobre las propiedades físicas del extracto de pectina, se calcularon las medias ajustadas por mínimos cuadrados (*Least Squares Means* o *Marginal Means*) mediante un análisis de varianza (ANVA) factorial, seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey al 95 % de confianza. Los resultados se presentan en la Tabla 2, así también se tuvo el mismo procedimiento presentado en la Tabla 3 para el cálculo de las propiedades físicas de la pectina en polvo; en ambas tablas se muestran los efectos principales de cada factor y sus interacciones sobre las variables dependientes (viscosidad, luminosidad y coordenadas de color a y b), expresados como medias  $LS \pm$  error estándar (EE). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos.

En las Tablas 10, 11, 12 y 13 de anexos se muestra el ANVA en la que se muestran los efectos de los microondas, ácidos, presiones, así como sus interacciones sobre la viscosidad, luminosidad, coordenada a y coordenada b respectivamente, en donde se detallan las medias  $LS \pm$  error estándar, así como las letras minúsculas que indican las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según prueba de Tukey.

**Tabla 2***Promedios de los factores y sus interacciones aplicado en el extracto de pectina*

	<b>Factor</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Luminosidad</b>	<b>Coordenada a</b>	<b>Coordenada b</b>
Microondas	Sin Microondas	61.570 ± 5.924a	32.633 ± 5.345a	13.641 ± 2.731a	3.013 ± 4.439a
	Con Microondas	53.589 ± 5.924a	25.877 ± 5.345a	9.614 ± 2.731a	-10.626 ± 4.439b
Ácidos	Ácido Cítrico	68.444 ± 5.924a	42.512 ± 5.345a	16.321 ± 2.731a	-5.024 ± 4.439a
	Ácido Málico	46.714 ± 5.924b	15.998 ± 5.345b	6.934 ± 2.731b	-2.589 ± 4.439a
Presiones	Presión Atmosférica	61.419 ± 5.924a	30.561 ± 5.345a	14.884 ± 2.731a	-5.110 ± 4.439a
	Presión Manométrica	53.739 ± 5.924a	27.949 ± 5.345a	8.371 ± 2.731a	-2.503 ± 4.439a
Microondas*Ácidos	Sin microondas*Ácido Cítrico	72.145 ± 8.377a	5.002 ± 7.560b	21.071 ± 3.862a	-1.447 ± 6.278a
	Con microondas*Ácido Cítrico	64.744 ± 8.377a	26.993 ± 7.560ab	11.571 ± 3.862a	-8.600 ± 6.278a
	Sin microondas*Acido Málico	50.994 ± 8.377a	46.752 ± 7.560a	6.211 ± 3.862a	7.473 ± 6.278a
	Con microondas*Acido Málico	42.433 ± 8.377a	38.273 ± 7.560a	7.657 ± 3.862a	-12.651 ± 6.278a
Microondas*Presiones	Sin microondas*Presión Atmosférica	63.121 ± 8.377a	26.355 ± 7.560a	18.711 ± 3.862a	0.334 ± 6.278a
	Sin microondas*Presión Manométrica	60.018 ± 8.377a	25.398 ± 7.560a	8.571 ± 3.862a	5.692 ± 6.278a
	Con microondas*Presión Atmosférica	59.717 ± 8.377a	34.767 ± 7.560a	11.507 ± 3.862a	-10.553 ± 6.278a
	Con microondas*Presión Manométrica	47.461 ± 8.377a	30.500 ± 7.560a	8.171 ± 3.862a	-10.698 ± 6.278a
Ácidos*Presiones	Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	75.800 ± 8.377a	46.390 ± 7.560b	21.549 ± 3.862a	-10.577 ± 6.278a

	Ácido Cítrico*Presión Manométrica	61.089 ± 8.377a	17.467 ± 7.560ab	11.093 ± 3.862ab	0.530 ± 6.278a
	Acido Málico*Presión Atmosférica	47.038 ± 8.377a	46.593 ± 7.560a	8.219 ± 3.862ab	0.358 ± 6.278a
	Acido Málico* Presión Manométrica	46.390 ± 8.377a	38.432 ± 7.560ab	5.648 ± 3.862b	-5.536 ± 6.278a
Microondas*Ácidos*Presiones	Sin microondas*Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	76.867 ± 11.847a	3.464 ± 10.691a	28.551 ± 5.462a	-7.546 ± 8.878a
	Con microondas*Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	74.733 ± 11.847a	25.593 ± 10.691a	14.547 ± 5.462a	-13.608 ± 8.878a
	Sin microondas*Ácido Cítrico*Presión Manométrica	67.423 ± 11.847a	6.540 ± 10.691a	13.592 ± 5.462a	4.652 ± 8.878a
	Con microondas*Ácido Cítrico*Presión Manométrica	54.754 ± 11.847a	28.393 ± 10.691a	8.595 ± 5.462a	-3.592 ± 8.878a
	Sin microondas*Ácido Málico*Presión Manométrica	52.613 ± 11.847a	44.257 ± 10.691a	3.549 ± 5.462a	6.733 ± 8.878a
	Con microondas*Ácido Málico*Presión Atmosférica	49.375 ± 11.847a	43.940 ± 10.691a	7.567 ± 5.462a	-7.498 ± 8.878a
	Sin microondas*Ácido Málico*Presión Atmosférica	44.700 ± 11.847a	49.246 ± 10.691a	8.872 ± 5.462a	8.214 ± 8.878a
	Con microondas*Ácido Málico*Presión Manométrica	40.167 ± 11.847a	32.607 ± 10.691a	7.747 ± 5.462a	-17.804 ± 8.878a

Nota: Las medias corresponden a LS Mean ± EE (error estándar)

En la Tabla 3 se muestra que hay diferencias significativas tanto para la viscosidad, así como la luminosidad y la coordenada a aplicados a los ácidos cítrico y málico en un intervalo de confianza del 95%; en el caso de la viscosidad el ácido cítrico posee un valor superior de manera significativa, en cuanto a la luminosidad el ácido málico posee un valor superior de manera significativa y relacionado a la coordenada a asume el mismo comportamiento que la luminosidad. Se aprecia también que en la coordenada b hay diferencias significativas para la aplicación de microondas siendo su valor positivo cuando no se aplican microondas y su valor negativo cuando sí se aplican microondas.

### **3.2. Análisis de la pectina en polvo**

Con el objetivo de evaluar la influencia de los factores de estudio (microondas, tipo de ácido y presión) y sus interacciones dobles y triples sobre las propiedades fisicoquímicas de la pectina en polvo, la Tabla 3 presenta los efectos principales de cada factor y sus interacciones sobre las variables dependientes rendimiento, humedad, cenizas y acidez, que se expresan en medias  $LS \pm$  error estándar (EE) y se tiene que las letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos.

En las Tablas 14, 15, 16 y 17 de anexos se muestra el ANVA en la que se muestran los promedios de los microondas, ácidos, presiones, así como sus interacciones sobre la rendimiento, humedad, cenizas y acidez respectivamente, en donde se detallan las medias  $LS \pm$  error estándar, así como las letras minúsculas que indican las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según prueba de Tukey.

**Tabla 3***Promedio de los factores y sus interacciones aplicado en la pectina en polvo*

	<b>Factor</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Acidez</b>
Microondas	Sin Microondas	53.271 ± 2.003b	53.271 ± 0.484a	0.837 ± 0.124a	38.411 ± 1.753a
	Con Microondas	60.094 ± 2.003a	5.873 ± 0.484a	0.343 ± 0.124b	21.056 ± 1.753b
Ácidos	Ácido Cítrico	59.607 ± 2.003a	5.006 ± 0.484a	0.384 ± 0.124b	31.155 ± 1.753a
	Ácido Málico	53.758 ± 2.003a	6.600 ± 0.484b	0.796 ± 0.124a	28.312 ± 1.753a
Presiones	Presión Atmosférica	57.848 ± 2.003a	6.123 ± 0.484a	0.534 ± 0.124a	29.045 ± 1.753a
	Presión Manométrica	55.518 ± 2.003a	5.483 ± 0.484a	0.646 ± 0.124a	30.422 ± 1.753a
Microondas*Ácidos	Sin microondas*Ácido Cítrico	58.354 ± 2.833a	4.867 ± 0.684a	0.507 ± 0.175ab	41.467 ± 2.480a
	Con microondas*Ácido Cítrico	60.860 ± 2.833a	5.145 ± 0.684a	0.262 ± 0.175b	20.843 ± 2.480b
	Sin microondas*Acido Málico	61.834 ± 2.833a	6.600 ± 0.684a	1.167 ± 0.175a	35.355 ± 2.480a
	Con microondas*Acido Málico	45.683 ± 2.833b	6.600 ± 0.684a	0.425 ± 0.175b	21.269 ± 2.480b
Microondas*Presiones	Sin microondas*Presión Atmosférica	61.261 ± 2.833a	5.733 ± 0.684a	0.823 ± 0.175a	37.048 ± 2.480a
	Sin microondas*Presión Manométrica	58.927 ± 2.833ab	5.733 ± 0.684a	0.850 ± 0.175a	39.773 ± 2.480a
	Con microondas*Presión Atmosférica	49.774 ± 2.833b	6.512 ± 0.684a	0.245 ± 0.175a	21.041 ± 2.480b
	Con microondas*Presión Manométrica	56.769 ± 2.833ab	5.233 ± 0.684a	0.442 ± 0.175a	21.071 ± 2.480b
Ácidos*Presiones	Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	59.425 ± 2.833a	5.412 ± 0.684a	0.218 ± 0.175a	24.925 ± 2.480b

	Ácido Cítrico*Presión Manométrica	59.789 ± 2.833a	4.600 ± 0.684a	0.550 ± 0.175a	37.385 ± 2.480a
	Acido Málico*Presión Atmosférica	51.610 ± 2.833a	6.833 ± 0.684a	0.850 ± 0.175a	33.164 ± 2.480ab
	Acido Málico* Presión Manométrica	55.906 ± 2.833a	6.367 ± 0.684a	0.742 ± 0.175a	23.459 ± 2.480b
Microondas*Ácidos*Presiones	Sin microondas*Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	59.646 ± 4.006ab	57.063 ± 0.968a	0.313 ± 0.248a	33.150 ± 3.507abc
	Con microondas*Ácido Cítrico*Presión Atmosférica	59.204 ± 4.006ab	59.204 ± 0.968a	0.123 ± 0.248a	16.700 ± 3.507c
	Sin microondas*Ácido Cítrico*Presión Manométrica	57.063 ± 4.006ab	51.021 ± 0.968a	0.700 ± 0.248a	49.783 ± 3.507a
	Con microondas*Ácido Cítrico*Presión Manométrica	62.516 ± 4.006a	40.344 ± 0.968a	0.400 ± 0.248a	24.987 ± 3.507bc
	Sin microondas*Ácido Málico*Presión Manométrica	60.791 ± 4.006a	62.516 ± 0.968a	1.000 ± 0.248a	29.763 ± 3.507bc
	Con microondas*Ácido Málico*Presión Atmosférica	40.344 ± 4.006b	62.877 ± 0.968a	1.333 ± 0.248a	25.382 ± 3.507bc
	Sin microondas*Ácido Málico*Presión Atmosférica	60.791 ± 0.968a	49.246 ± 10.691a	0.367 ± 0.248a	40.946 ± 3.507ab
	Con microondas*Ácido Málico*Presión Manométrica	51.021 ± 4.006ab	59.646 ± 0.968a	0.483 ± 0.248a	17.155 ± 3.507c

Nota: Las medias corresponden a LS Mean ± EE (error estándar)

En la Tabla 3 se muestra que el rendimiento muestra diferencias significativas tanto en el factor microondas obteniendo valor superior sin aplicación de microondas como en la interacción microondas\*ácidos, donde el tratamiento sin microondas\*ácido málico presentó el valor más bajo. Respecto a la humedad, se encontraron diferencias significativas en el tipo de ácido, presentando el ácido málico mayor contenido de humedad. Finalmente, para la variable cenizas, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el factor microondas (sin microondas con mayores valores) y en el tipo de ácido, siendo el ácido málico el que presentó la mayor concentración de cenizas.

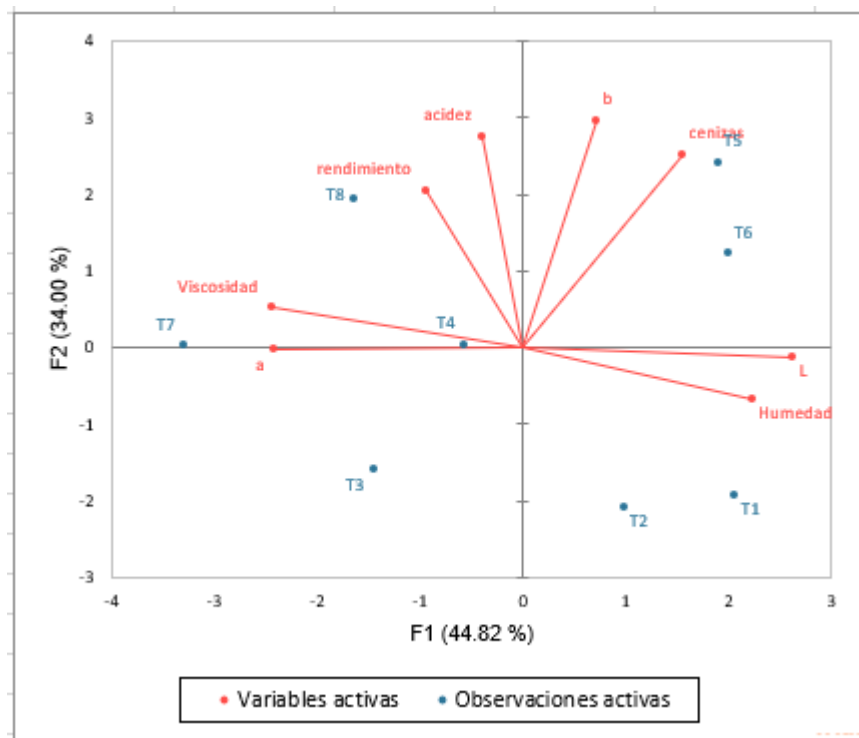
### **3.3. Análisis de componentes principales**

La Figura 5 muestra el diagrama de componentes principales (PCA), en donde se resume la relación entre los tratamientos (T1-T8) y las variables dependientes (viscosidad, luminosidad, coordenada a, coordenada b, rendimiento, humedad, cenizas y acidez) mostrando la correlación entre las variables y la influencia de cada una de las variables en los tratamientos. Los dos primeros componentes principales explican conjuntamente el 78.82 % de la variabilidad total, lo que indica una adecuada representación de la estructura interna de los datos en el plano bidimensional.

El componente F1 explica el 44.82 % de la varianza siendo el eje más relevante. En este eje las variables humedad, cenizas, coordenada b y luminosidad se asocian fuertemente, mientras el segundo componente F2 explica el 34.00 % de la variabilidad, donde se encuentran la acidez, rendimiento, viscosidad y coordenada a.

**Figura 5**

*Análisis de componentes principales (ejes F1 y F2: 78.82 %)*



El Análisis de Componentes Principales explican el 78.82 % de la variabilidad total. El tratamiento 1 y 2 estuvo asociado con la humedad y luminosidad (L) presentando mayor contenido de agua y un aspecto más claro, reflejando un nivel de secado menos eficiente, el tratamiento 4 destacó una menor humedad y luminosidad, pero con mayor relación hacia tonalidades rojizas (a) y viscosidad, seguido el tratamiento 5 se caracteriza por presentar valores altos de cenizas, además de cierta asociación con la acidez. Luego el tratamiento 6 se destaca por ser una muestra con alto contenido de cenizas y luminosidad, el tratamiento 7 se asocia fuertemente con la viscosidad y el componente a, mostrando características de mayor densidad y tonalidades rojizas. Finalmente, el tratamiento 8 presenta mayor rendimiento y acidez, lo que lo distingue como un tratamiento eficiente en términos de producción, pero con un perfil sensorial marcado por una acidez elevada.

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la viscosidad del extracto de pectina varió significativamente entre los tratamientos  $40.17 \pm 12.18$  Poise (T2: con microondas\*ácido málico\*presión atmosférica) hasta un máximo de  $76.87 \pm 25.15$  Poise (T7: sin microondas\*ácido cítrico\*presión atmosférica), siendo el tipo de ácido el factor con mayor incidencia. Estos hallazgos concuerdan parcialmente con los de Zhang et al. (2023), quienes evaluaron la viscosidad de extractos de pectina alcalina de residuos de té verde y observaron un incremento desde 0.12 hasta 50 Poise al variar las concentraciones. De manera distinta, Chero (2019) reportó una viscosidad de 1.204 Pa·s (0.01204 Poise) en pectina de granadilla, valor mucho menor al encontrado en este estudio, y corroboró que la viscosidad aumenta con la concentración de la solución, pero disminuye al incrementar la temperatura. Asimismo, Mendoza & Sarmiento (2016), en pectina de cáscara de mazorca de cacao, encontraron valores iniciales de 6042.7 cP (60.427 Poise) y 1601.7 cP (16.017 Poise) al aumentar el torque de medición, lo que indica que la respuesta reológica de la pectina depende tanto de la fuente como de las condiciones de análisis.

El ácido cítrico generó las viscosidades más elevadas, particularmente bajo presión atmosférica. Este comportamiento se explica porque el ácido cítrico posee un mayor poder de acidificación que el ácido málico, lo que favorece la ruptura controlada de la protopectina y permite la liberación de cadenas más largas y homogéneas de pectina (Aparicio et al., 2024). Este comportamiento es coherente con lo señalado por (Levigne et al., 2002), quienes mencionan que el ácido cítrico promueve una hidrólisis más controlada y evita la fragmentación excesiva de la pectina, favoreciendo estructuras más largas y viscosas. Asimismo, Sriamornsak (2003) destaca que los ácidos orgánicos de mayor fuerza, como el

cítrico, incrementan la solubilidad de la protopectina sin degradar de manera drástica sus cadenas, lo que mejora la viscosidad final.

La evaluación de los parámetros colorimétricos (L, a, b) evidenció variaciones relevantes. El ácido málico produjo extractos más luminosos, señalando que el uso de ácidos suaves minimiza la degradación térmica y preservan la claridad visual. Por el contrario, el ácido cítrico redujo la luminosidad debido a su mayor acidez, que favorece reacciones de oxidación y degradación cromática. En cuanto a la coordenada a, que describe la escala rojo/verde, mostró una tendencia hacia tonos rojizos, especialmente en tratamientos con ácido cítrico. Esto puede atribuirse a la estabilidad de ciertos pigmentos en ambientes altamente ácidos o al desarrollo de reacciones de pardeamiento no enzimático. En cuanto a la coordenada b, se observó que la aplicación de microondas tendió a reducir los valores hacia tonos azulados, debido que el tratamiento por microondas acelera reacciones de degradación de pigmentos amarillos en matrices vegetales. Cabe destacar que, a diferencia de la viscosidad, no se hallaron antecedentes en la literatura sobre la evaluación de colorimetría aplicada a geles pécticos, lo que resalta el carácter innovador de esta parte del trabajo.

El rendimiento de pectina obtenido en este estudio fue notablemente superior al reportado en investigaciones previas, destacando el tratamiento T5 (sin microondas\*ácido málico\* presión atmosférica) como el más eficiente, donde las condiciones de extracción suaves favorecen la solubilización progresiva de la protopectina sin causar degradación térmica, donde la extracción convencional bajo presión atmosférica permite una liberación gradual y estable del polisacárido, lo que aumenta significativamente el rendimiento en comparación con procesos intensivos o con la aplicación directa de energía de microondas favoreció la hidrólisis parcial de la protopectina y la solubilización de pectina, aumentando la eficiencia

del proceso (Willats et al., 2006). Los hallazgos superan a los de Vega (2017), quien reportó un 8.38 % de rendimiento empleando hidrólisis ácida convencional con ácido cítrico y clorhídrico, así como a los de Hartati y Subekti (2015), quienes alcanzaron un 11.25 % utilizando ácido sulfúrico bajo condiciones optimizadas con microondas. Del mismo modo, son superiores a los valores de Méndez et al. (2021), quienes aplicaron un diseño Box–Behnken obteniendo un rendimiento del 13.4 %. Sin embargo, existen investigaciones con rendimientos más altos; Shourove et al. (2025) mediante una técnica secuencial de ultrasonidos–microondas lograron un 32.11 %; Liu et al. (2023), con pretratamiento de liofilización de cáscara de sandía, alcanzaron un 21.83 %; y Mamiru y Gonfa (2023), usando ácido acético, reportaron 18.21 %. Las diferencias pueden atribuirse a factores como la variedad de sandía utilizada, el tamaño de partícula tras el secado y molienda, la concentración y tipo de ácido, el tiempo y temperatura de extracción, así como la metodología aplicada (convencional, asistida o combinada). El uso de ácido cítrico también contribuyó al rendimiento elevado, lo cual coincide con Karbuz y Tugrul (2021), quienes identificaron que este ácido maximiza la ruptura de enlaces estructurales y reduce la presencia de impurezas en el extracto. Kaoubala y Kansci (2025) también mencionan que el ácido cítrico presenta mayor afinidad hacia matrices ricas en celulosa, como la sandía, lo que incrementa la eficiencia extractiva.

El contenido de humedad obtenido en los tratamientos evaluados mostró valores comprendidos entre 4.53 % y 7.27 %. Estos valores se encuentran dentro de los parámetros recomendados para pectinas de buena calidad, ya que niveles inferiores al 12 % favorecen la estabilidad del producto durante el almacenamiento. En la investigación se evidencia que a mayor contenido de humedad se presentó en el tratamiento sin microondas, lo cual puede explicarse porque la ausencia de radiación genera un secado menos intenso y conserva mayor

retención de agua dentro de la estructura péctica. Este comportamiento indica que a menor acidificación molecular tienden a retener más humedad, especialmente cuando se obtienen mediante procesos suaves de extracción.

Por otro lado, se observa que el tipo de ácido influyó en el contenido de humedad. El documento indica que el ácido málico produjo valores ligeramente más altos, debido a que genera redes menos rígidas y con mayor capacidad de retención hídrica. En cambio, el ácido cítrico permitió obtener pectinas con menor humedad, lo cual coincide con estudios que demuestran que este ácido promueve estructuras más compactas y con menor contenido de agua ligada (Rolin, 1993). En cambio, Mamiru y Gonfa (2023), quienes reportaron un 8.42 % de humedad en pectina, dentro de los rangos aceptables para la industria. En conjunto, los resultados sugieren que el tipo de ácido y la energía aplicada durante la extracción modulan la retención de humedad, siendo el ácido cítrico y la aplicación de microondas los que permiten obtener pectinas más secas y potencialmente más estables.

El contenido de cenizas obtenido en los tratamientos evaluados osciló entre 0.12 % y 1.33 %, valores que se encuentran dentro de los rangos reportados para pectinas de origen frutal. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Baraem (2017), quienes indican que las pectinas comerciales suelen presentar contenidos de cenizas inferiores al 2 %, ya que este parámetro refleja la cantidad de minerales y residuos inorgánicos presentes después del proceso de extracción. Por lo tanto, los valores observados en este estudio sugieren que las pectinas extraídas presentan una pureza adecuada y comparable a materiales ampliamente aceptados en la industria alimentaria. Los tratamientos que incorporaron microondas mostraron un contenido de cenizas ligeramente menor, lo cual puede explicarse por la acción de la radiación que induce un calentamiento rápido y genera presiones internas que favorecen la solubilización y eliminación de minerales durante el proceso de filtración y precipitación,

de esta manera se demuestra que la energía microondas puede promover la desmineralización en matrices vegetales debido a la ruptura de enlaces iónicos y a la migración acelerada de minerales fuera del tejido.

Comparando con la literatura, Chiroque y Sencio (2020) obtuvieron un valor de 1.10 % en la formulación de mermelada a partir de mesocarpio de sandía y arándano, lo cual se encuentra dentro del rango de la presente investigación. Por otro lado, Diaz y Li Loo (2023) reportaron 2.85 % en sandía regional y 1.05 % en sandía costeña, mientras que Pérez et al. (2022), en extracción de cáscara de sandía con ácido cítrico, obtuvieron 1.24 %. Esto confirma que los valores encontrados en este estudio son competitivos y se ubican en el rango esperado para materias primas similares.

Los valores obtenidos oscilaron entre 16.7 % y 49.78 %, siendo el tratamiento T8 (sin microondas, ácido cítrico, presión manométrica) el que presentó la mayor acidez, lo que coincide con la mayor capacidad del ácido cítrico para promover la hidrólisis del protopectato y liberar grupos carboxilo libres. Esto es coherente con lo descrito por Maldonado et al. 2010), quienes demostraron que los agentes extractante más fuertes, como el ácido cítrico, generan productos con mayor acidez debido al incremento de grupos funcionales ionizables en la cadena péctica. De igual modo, estudios como el de Ramírez et al. (2020) reportan valores de pH bajos y elevada acidez en pectinas extraídas con ácido cítrico, atribuyéndolo a su capacidad para desestabilizar enlaces Ca-pectato y aumentar la disponibilidad de unidades galacturónicas. Estos fundamentos explican por qué en nuestra investigación los tratamientos con ácido cítrico exhibieron mayores niveles de acidez.

Por otra parte, los tratamientos con ácido málico mostraron valores más moderados, lo que puede relacionarse con su menor potencia dissociativa frente al ácido cítrico y su menor

capacidad para romper uniones iónicas en la pared celular. Este comportamiento coincide con la tendencia observada por Paredes et al. (2015) quienes describieron una disminución de la acidez en pectinas de guayaba en función de la madurez y del grado de degradación de la pared celular, indicando que la acidez depende también de la disponibilidad de grupos carboxilo no metoxilados. Asimismo, la influencia significativa del uso de microondas observada en tu estudio encuentra respaldo en Urango et al. (2018), quienes argumentaron que la radiación microondas acelera el movimiento iónico y facilita la liberación de grupos funcionales ácidos, incrementando la acidez final del extracto. Con estos fundamentos, se comprende que los valores obtenidos resultan del equilibrio entre la fuerza del ácido utilizado, la integridad estructural de la matriz vegetal y los efectos fisicoquímicos inducidos por las microondas y la presión.

El PCA integró las variables de viscosidad, luminosidad, coordenadas a y b, rendimiento, humedad, cenizas y acidez, mostrando patrones claros entre tratamientos. El análisis permitió identificar al T8 (sin microondas\*ácido cítrico\*presión manométrica) como el más eficiente, al combinar alto rendimiento y acidez, junto con bajos niveles de humedad y cenizas. Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Akhter et al. (2024) quienes utilizaron PCA para distinguir pectinas de distintas fuentes cítricas y demostraron que el ácido utilizado es uno de los factores con mayor peso en la separación de grupos debido a su influencia sobre el grado de esterificación, el contenido de metoxilo y la acidez. Asimismo, Shourove et al. (2025) aplicaron PCA en pectinas provenientes de cáscara de sandía extraídas mediante ultrasonido-microondas, encontrando que variables como rendimiento, humedad y acidez son determinantes para diferenciar las condiciones óptimas del proceso. Al comparar estos estudios con los resultados presentes, se evidencia una tendencia similar: el PCA no solo permite clasificar tratamientos, sino también identificar

cuáles combinaciones tecnológicas maximizan la calidad de la pectina. En tu investigación, este enfoque estadístico confirma que el ácido cítrico bajo condiciones controladas de presión es el agente que más contribuye a la obtención de pectinas con mejores propiedades funcionales.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

La viscosidad del extracto de pectina estuvo influenciada principalmente por el tipo de ácido utilizado, siendo el ácido cítrico bajo presión atmosférica el que generó valores superiores, mientras que la aplicación de microondas no tuvo efecto significativo; respecto al color, se observó que la luminosidad (L) y la coordenada a (rojo/verde) fueron variables sensibles a la acción de los ácidos, siendo el ácido málico el que produjo extractos con mayor luminosidad y tendencia hacia tonalidades rojizas, mientras que la coordenada b (amarillo/azul) no mostró diferencias relevantes entre los tratamientos.

El análisis del rendimiento de la pectina en polvo mostró que el tratamiento más eficiente fue aquel sin microondas, con ácido cítrico y presión atmosférica (T5), alcanzando valores superiores frente a las demás combinaciones, lo cual indica que el uso de microondas no necesariamente mejora la recuperación de pectina, especialmente en presencia de ácido málico. La humedad de la pectina estuvo determinada por el tipo de ácido, siendo el ácido cítrico el que produjo valores más bajos (T4), mientras que el ácido málico generó contenidos ligeramente mayores, aunque dentro de rangos aceptables para la conservación. El contenido de cenizas reflejó la influencia tanto del uso de microondas como del tipo de ácido, sugiriendo que un exceso de minerales puede comprometer la pureza del producto; en este sentido, los tratamientos sin microondas tendieron a mantener valores más controlados, los tratamientos T3 y T7 con ácido cítrico, lo que asegura una pectina de mayor pureza. Finalmente, la acidez estuvo fuertemente condicionada por la interacción de microondas, ácidos y presiones, resaltando el ácido cítrico como el más eficiente para obtener pectinas con un mayor grado de acidez, atributo que contribuye a mejorar sus propiedades funcionales en la industria alimentaria.

El análisis de varianza permitió confirmar que los factores principales y sus combinaciones tienen un efecto estadísticamente significativo sobre diversas propiedades fisicoquímicas de la pectina. En particular, reveló que el tipo de ácido fue el factor más determinante en la viscosidad, luminosidad y coordenada a, mientras que el rendimiento estuvo condicionado por la interacción microondas\*ácido, siendo el ácido málico el más afectado negativamente por el uso de microondas. Las interacciones triples microondas\*ácidos\*presiones influyeron de manera significativa en la acidez, destacando el tratamiento T8 como el que maximiza este parámetro. Estos resultados confirman que la combinación adecuada de tecnologías es determinante en las propiedades finales de la pectina.

El análisis de componentes principales (PCA) permitió diferenciar claramente a los tratamientos en función de sus características fisicoquímicas, mostrando que aquellos que emplearon ácido cítrico, tanto sin microondas, se asociaron con mayores valores de viscosidad, rendimiento y acidez, configurándose como los más favorables para la obtención de pectina de alta calidad. El tratamiento T8 ocupa una posición destacada en el gráfico de componentes principales, ya que se encuentra fuertemente asociado con las variables rendimiento y acidez, lo que lo diferencia claramente de los demás tratamientos. Al mismo tiempo, se sitúa lejos de las variables consideradas negativas, como humedad y cenizas, lo que sugiere que estos parámetros se encuentran en niveles reducidos, favoreciendo así la calidad del producto final.

## Recomendaciones

- La optimización del proceso de extracción de pectina. Se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar las condiciones de extracción, considerando la combinación de ácido cítrico con presión atmosférica, ya que esta mostró resultados favorables en términos de viscosidad y rendimiento.
- Estandarización de parámetros experimentales. Es fundamental estandarizar parámetros como el tiempo de exposición a microondas, la concentración del agente extractante y el nivel de presión para reducir la variabilidad entre tratamientos y asegurar la reproducibilidad de los resultados.
- Ampliación del estudio a la aplicación en simultáneo de microondas y presiones tanto manométricas como atmosféricas. Se debe incluir el análisis de grado de esterificación y contenido de metoxilo de la pectina extraída para evaluar su influencia.
- Evaluación de estabilidad del extracto. Se recomienda llevar a cabo estudios de estabilidad del extracto de pectina bajo diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, luz) para determinar su vida útil y calidad funcional a lo largo del tiempo.
- Modelado matemático del proceso de extracción. Desarrollar modelos cinéticos o de simulación que permitan predecir el comportamiento del proceso de extracción bajo diferentes condiciones.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A&D Company,. (2004). *Vibro viscometer: Manual de uso*. A&D Company, Limited.  
<https://weighing.andprecision.com/wp-content/uploads/2017/04/SV-10100-Manual-ES.pdf>
- Akhter, Most. J., Sarkar, S., Sharmin, T., y Mondal, S. C. (2024). Extraction of pectin from powdered citrus peels using various acids: An analysis contrasting orange with lime. *Applied Food Research*, 4(2), 100614. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100614>
- Aparicio Huablocho, J. A., Neira Montoya, E. F., y Ramos Matias, P. M. (2024). Extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao y su caracterización mediante análisis de FT-IR. *TECNIA*, 34(1), 42-50. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v34i1.2113>
- Arellanes, A., Jaraba, M., Mármol, Z., Páez, G., Aiello, C., y Rincón, N. (2011). Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (Musa AAB). *Rev. Fac. Agron.*, 28, 523-539.
- Baraem, I. (2017). Determinación del contenido de cenizas. En *ResearchGate*.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_11)
- Barreto, G., PúaRosado, A. L., Alba, D. D., y Pión, M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.). *Temas Agrarios*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.918>
- Berger, V. A., y Diaz, D. M. R. (2011). *Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (citrus sinensis)* [Tesis de pregrado para optar el título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad de San Buenaventura Cali].  
<http://hdl.handle.net/10819/1336>
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., y Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana.

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>

Chero Silupú, Y. K. (2019). *Evaluación de la viscosidad de la pectina de granadilla (passiflora ligularis juss) a diferentes concentraciones y temperaturas.*

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM\\_a449c12ca21fcba961004e8becfebda7](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_a449c12ca21fcba961004e8becfebda7)

Chiroque, A., y Sencio, E. (2020). *Formulación y desarrollo de una mermelada del mesocarpio de sandía (Citrullus lanatus) y arándano (Vaccinium myrtillus)* [Tesis

de Grado para optar Título de Ingeniero de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8889>

Choo, W. S. (2020). Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from watermelon (Citrullus lanatus) rind: Comparison of hydrochloric and citric acid extraction. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*, 5(1).

<https://doi.org/10.36648/NUTRACEUTICALS.5.1.1>

Cuesta, M., y Muñoz, R. (2012). Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (Passiflora edulis var. Flavicarpa degener). *Revista Politécnica*, 31.

[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/195](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/195)

Curbelo, C., Moreno, M., Ramirez, D., y Crespo, L. (2017). *Hidrólisis ácida del bagazo de aloe vera (Sábila) para la obtención de pectina.* (No. 2). 44(2), Article 2.

Diaz Sandama, E., y Li Loo Kung, C. A. (2023). *Extracción de pectina de dos variedades de cáscara de sandía (Citrullus lanatus) costeña y regional* [Tesis de Pregrado para

optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].

[https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/9843/Diego\\_Tesis\\_Titulo\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/9843/Diego_Tesis_Titulo_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Diez, A. (2021). *Obtención de pectina mediante extracción asistida por microondas* [Tesis de Grado para optar título de Ingeniera Química, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47728>

Espinoza, Y., y Santos, P. (2018). *Comparación del método tradicional de extracción de pectina de la cáscara de naranja con el método por ondas de ultrasonido y sus efectos sobre la sinéresis en la elaboración del yogurt batido*. [Tesis para optar al Título Profesional de Químico farmacéutico]. Universidad Inca Garcilazo de la Vega.

García, O., y Zegarra, R. (2020). *Obtención de nanocelulosa de la cáscara de sandía (Citrullus lanatus) y sus imágenes de microscopía electrónica de barrido (S.E.M)* [Tesis de Pregrado para la obtención del Título de Ingeniero de Industrias Alimentarias, Universidad Peruana Unión]. [http://200.121.226.32:8080/bitstream/handle/20.500.12840/3418/Diana\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://200.121.226.32:8080/bitstream/handle/20.500.12840/3418/Diana_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hartati, I., y Subekti, E. (2015). *Extracción asistida por microondas de pectina de cáscara de sandía*. [https://www.researchgate.net/publication/290450075\\_Microwave\\_assisted\\_extraction\\_of\\_watermelon\\_rind\\_pectin](https://www.researchgate.net/publication/290450075_Microwave_assisted_extraction_of_watermelon_rind_pectin)

Juarez, M. (2018). *Extracción de pectina de cáscara de mango (Mangifera indica L.) de variedad Edward y su aplicación en la elaboración de mermelada, Chulucanas-Piura* [Tesis de Grado para optar Grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/550>

- Kaoubala, B., y Kansci, G. (2025). Physicochemical properties of pectins from ambarella peels (*Spondias cytherea*) obtained using different extraction conditions | Request PDF. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.065>
- Karbuuz, P., y Tugrul, N. (2021). Microwave and ultrasound assisted extraction of pectin from various fruits peel. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 641-650. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04578-0>
- Levigne, S., Ralet, M.-C., y Thibault, J.-F. (2002). Characterisation of pectins extracted from fresh sugar beet under different conditions using an experimental design. *Carbohydrate Polymers*, 49(2), 145-153. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00314-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00314-9)
- Liu, Z., Wu, S., Zuo, H., Lin, J., Zheng, H., Lei, H., Yu, Q., Wu, X., y Guo, Z. (2023). Freeze-drying pretreatment of watermelon peel to improve the efficiency of pectin extraction: RSM optimization, extraction mechanism, and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 125944. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125944>
- Maldonado Culquimboz, Y., Salazar Ocampo, S. M., Millones Ch., C. E., Torres M., E. V., y Vásquez C., E. R. (2010). Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*Vasconcellea weberbaueri* (Harms) V.M. Badillo) provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas. *Aporte Santiaguino*, 3(2), 177. <https://doi.org/10.32911/as.2010.v3.n2.437>
- Mamiru, D., y Gonfa, G. (2023). Extraction and characterization of pectin from watermelon rind using acetic acid. *Heliyon*, 9(2), e13525. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13525>

- Méndez, D., Fabra, M., Gómez, L., López, A., y Martínez, A. (2021). Modelling the Extraction of Pectin towards the Valorisation of Watermelon Rind Waste. *Foods*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/foods10040738>
- Mendoza Vargas, L. P., y Sarmiento Lancheros, C. A. (2016). *Evaluación de la pectina extraída por método enzimático utilizando la cáscara de la mazorca de cacao*. <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/2944>
- Moreno, E. (2019). *Efecto del proceso de liofilización en la extracción y caracterización de pectina, a partir del albedo de naranja (Citrus sinensis L. Osbeck) y limón (Citrus limon L. Osbeck)*. [Tesis de Pregrado para optar Título de Ingeniero Químico, Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5139>
- Paredes, J., Hernández, R., y Cañizares, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascotes de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Idesia (Arica)*, 33(3), 35-41. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000300006>
- Pérez, J., Gómez, K., y Vega, L. (2022). Optimization and Preliminary Physicochemical Characterization of Pectin Extraction from Watermelon Rind (*Citrullus lanatus*) with Citric Acid. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 3068829. <https://doi.org/10.1155/2022/3068829>
- Prieto, C., Páez, G., Ortega, J., Araujo, K., Mármol, Z., Rincón, M., y Raga, J. (2017). Optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo empleando la metodología de superficie de respuesta. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 40(3), Article 3.
- Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., y Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. *AiBi Revista de*

*Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(2), 84-91.  
<https://doi.org/10.15649/2346030X.819>

Ribeiro, L. R., y Cristianini, M. (2021). Efecto de la alta presión combinada con la temperatura sobre la cinética de muerte de las esporas de *Alicyclobacillus acidoterrestris* y sobre las características de calidad de la pulpa de mango. *LWT*, 152, 112266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112266>

Risso Rodriguez, B. (2022). *Viscosimetro Vibracional*. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/44664012/viscosimetro-vibracional>

Rodriguez, D., Ramirez, A., y Del Socorro, A. (2023). Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (*Theobroma Cacao L.*) y su aplicación en la obtención de biopelículas. *Revista Mutis*, 13(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.21789/22561498.1885>

Rolin, C. (1993). CHAPTER 10—PECTIN. En R. L. Whistler & J. N. Bemiller (Eds.), *Industrial Gums (Third Edition)* (pp. 257-293). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092654-4.50014-0>

Sanchez, E. (2020). Formulación y desarrollo de una mermelada del mesocarpio de sandía (*Citrullus lanatus*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*). *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Repositorio Institucional - CONCYTEC*.  
[https://www.academia.edu/111826072/Formulaci%C3%B3n\\_y\\_desarrollo\\_de\\_una\\_mermelada\\_del\\_mesocarpio\\_de\\_sand%C3%ADa\\_Citrullus\\_lanatus\\_y\\_ar%C3%A1ndano\\_Vaccinium\\_myrtillus\\_](https://www.academia.edu/111826072/Formulaci%C3%B3n_y_desarrollo_de_una_mermelada_del_mesocarpio_de_sand%C3%ADa_Citrullus_lanatus_y_ar%C3%A1ndano_Vaccinium_myrtillus_)

Shourove, J. H., Jon, P. H., Samadder, M., Chy, M. W. R., Miah, M. S., Fahim, R. H., y Islam, G. M. R. (2025). Extraction of pectin from watermelon rinds using sequential ultrasound-microwave technique: Optimization using RSM and ANN modeling and

- characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307(Pt 1), 141905. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141905>
- Sihuas Meza, A. (2023). *El agro en cifras*. MIDAGRI. [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/mensual/Agro/2023/Agro\\_en\\_cifras\\_01\\_2023.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2023/Agro_en_cifras_01_2023.pdf)
- Sriamornsak, P. (2003). *Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/215872059\\_Chemistry\\_of\\_pectin\\_and\\_its\\_pharmaceutical\\_uses\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/215872059_Chemistry_of_pectin_and_its_pharmaceutical_uses_A_review)
- Urango, K., Ortega, F., Vélez, G., y Pérez, Ó. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. *Información tecnológica*, 29(1), Article 1. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>
- Vargas, F. (2019). *Extracción de pectina a partir de las cáscaras de dos variedades de pitahayas* [Tesis de Pregrado para la obtención del Título de Químico, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19812>
- Vega Guaman, L. N. (2017). *Extracción de pectina de la cáscara de plátano de dos variedades con dos índices de madurez*. Quevedo 2016. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2273>
- Vera Loja, L. V. (2025). *Evaluación de residuos de cáscaras de pitahaya como potencial fuente de extracción de pectina*. [bachelorThesis, Riobamba]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15468>
- Wen, X., Zhong, R., Dang, G., Xia, B., Wu, W., Tang, S., Tang, L., Liu, L., Liu, Z., Chen, L., y Zhang, H. (2022). Pectin supplementation ameliorates intestinal epithelial barrier function damage by modulating intestinal microbiota in lipopolysaccharide-

- challenged piglets. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 109, 109107.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109107>
- Willats, W. G., Knox, J., y Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>
- Zegada, V. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrolisis acida asistida por microondas (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), Article 15.
- Zhang, C., Wang, Y., Lv, Y., Yang, X., y Wei, X. (2023). Influence of pectin domains and protein on the viscosity and gelation properties of alkali-extracted pectin from green tea residue. *Food Chemistry*, 430, 137039.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137039>

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con gratitud y cariño a mi madre Silvia Burga Vásquez. A mis hermanos Limber Fernández Burga, Mely Fernández Burga y Maximila Córdova Burga por el apoyo constante e incondicional, quienes con sacrificio y dedicación me enseñaron el valor del compromiso, la constancia. También agradezco a mi asesor Ernesto Hernández Martínez y mi compañera de tesis Celinda Yoslit Gavidia Díaz por el apoyo durante este largo camino académico.

A mis amigos, docentes, compañeros que sumaron en este proceso. Gracias por su compañía, por las enseñanzas compartidas y por hacer de esta etapa un aprendizaje no solo académico, sino profundamente humano.

### **Omer José Fernández Burga**

A Dios por ser mi guía, mi fortaleza y su gran amor que han estado conmigo presente hasta el día de hoy. A mis padres, Lucilo Gavidia Vásquez y Blanca Díaz Monteza, por ser mi guía constante y mi fuerza en los momentos difíciles. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro también es suyo.

A mi novio, por su apoyo inquebrantable, su paciencia infinita y por estar a mi lado en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A cada uno de ustedes, con todo mi cariño y gratitud, les dedico esta meta cumplida.

**Celinda Yoslit Gavidia Díaz**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Jaén por haber permitido formar parte de su comunidad universitaria, así como también a los docentes que nos proporcionaron sus conocimientos y apoyo, que el día de hoy se refleja en la culminación de nuestro paso por la universidad.

Al asesor de tesis Dr. Ernesto Hernández Martínez por habernos guiado, brindando sus aportes y conocimientos para desarrollar de manera satisfactoria este proyecto, para finalizar agradecemos al Ing. Cristian David Visconde Beltrán por habernos apoyado en el desarrollo del Análisis de viscosidad analítica y colorimetría, asimismo a la Ing. Juana Ruthmely Delgado Burga, por haber contribuido y apoyado en cada uno de los procesos de ejecución de nuestra tesis.

## ANEXOS

### Anexo 1. Galeria de fotos: Obtención de cáscara deshidratada de sandía

*Recepción de la materia prima*



*Lavado de la materia prima*



*Pelado de la materia prima Cortado*



*Rayado de la cáscara de sandía*



*Inactivación de enzimas de la cáscara mediante escaldado*



*Escurreido*



*Aplicación de microondas*



*Secado*



*Pesado y almacenado*



*Anexo 2. Galería de fotos: Proceso de extracción de pectina*

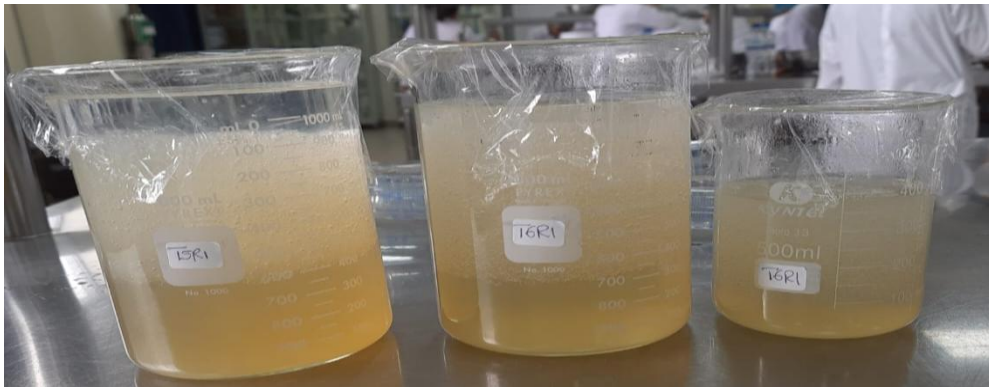
*Extracción*



*Primera filtración*



## *Precipitación*



## *Separación de fases*



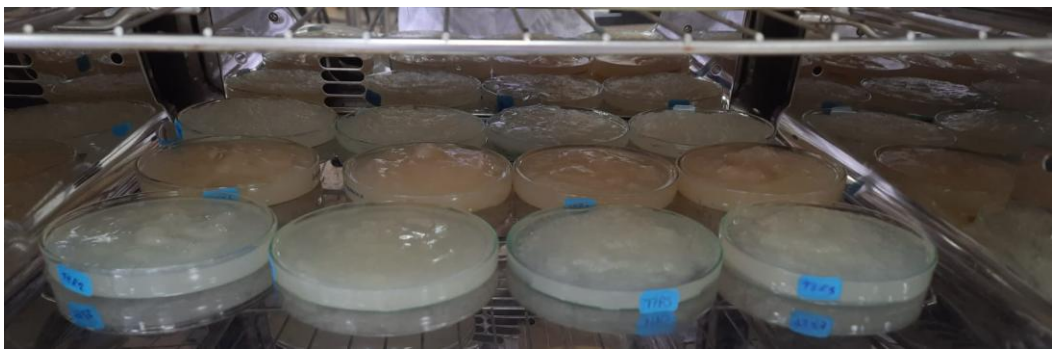
## *Purificación del gel de pectina*



## *Filtrado*



*Secado del gel*



Triturado



Tamizado



Almacenado



### Anexo 3. Galería de fotos: Determinación de viscosidad analítica

#### Gel de pectina



#### Análisis de viscosidad analítica



**Anexo 4. Galería de fotos: Determinación de color del gel de pectina**

*Medición de color del gel*



*Anexo 5. Galería de fotos: Determinación de rendimiento*

*Peso de muestra inicial y peso final*



**Anexo 6. Galería de fotos: Determinación de humedad**

*Pesado de las muestras*



*Secado*



*Enfriado*



*Pesado de muestras*



**Anexo 7. Galería de fotos: Determinación de cenizas**

*Tare de crisoles y peso de muestra*



*Muestras en la mufla*



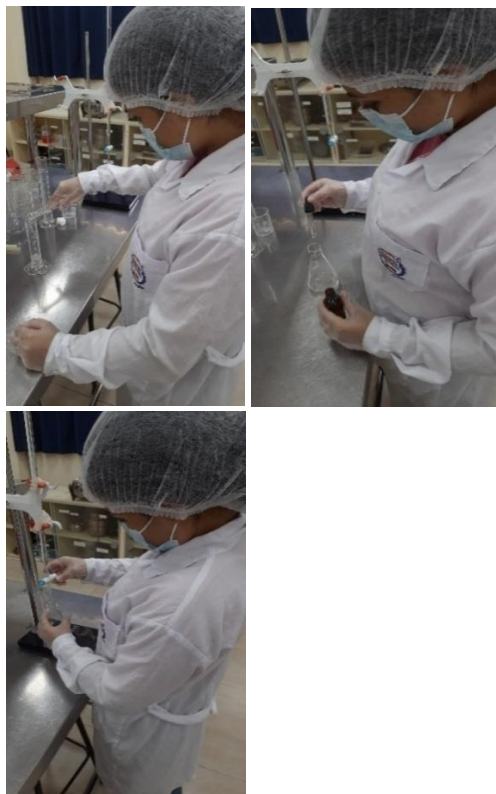
*Pesado*



*Muestras finales*



Anexo 8. Galería de fotos: Determinación de acidez



Anexo 9. Figuras y Tablas ANVA de viscosidad

Figura 6

Viscosidad analítica del extracto de pectina

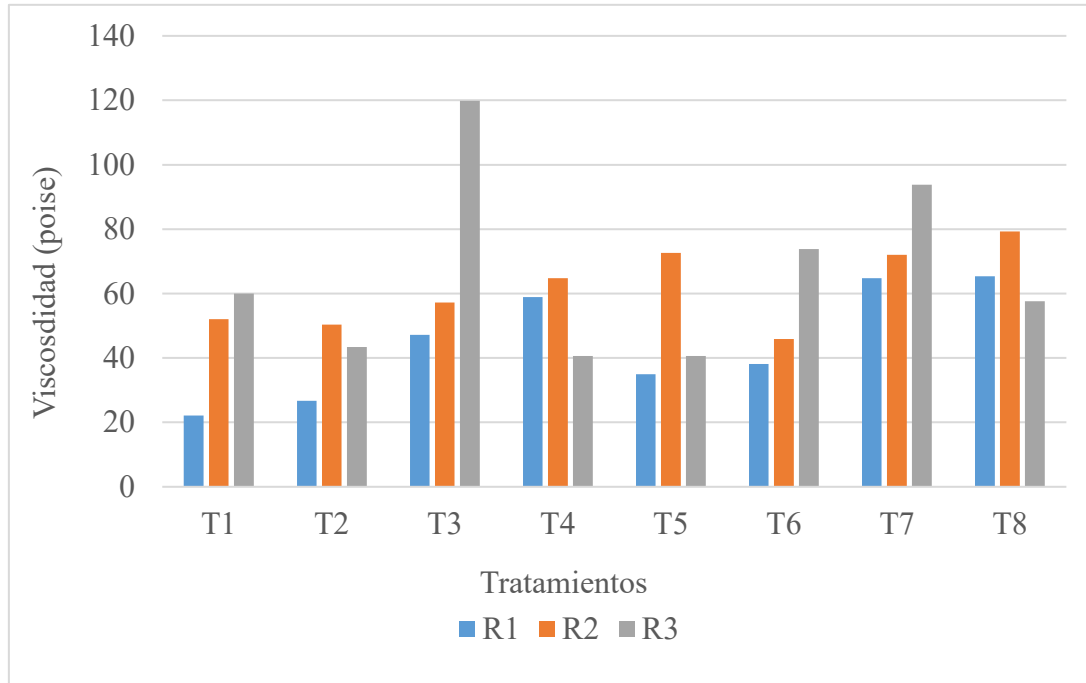


Tabla 4

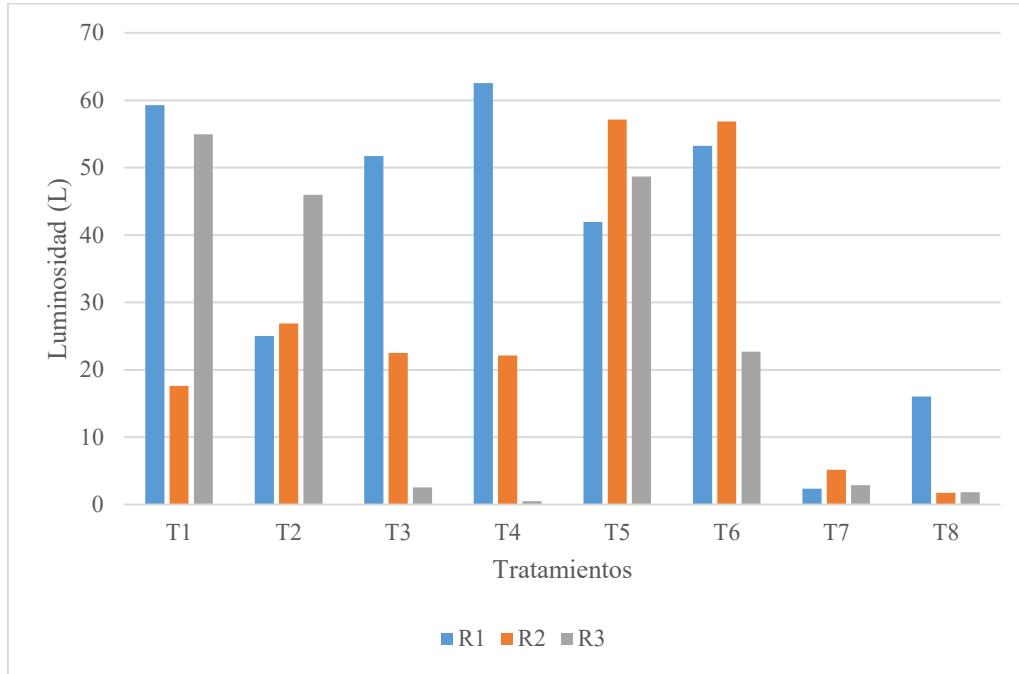
Análisis de varianza (ANVA) para la Viscosidad del extracto de pectina

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	382.178	382.178	0.908	0.355	◦
Ácidos	1.000	2833.331	2833.331	6.729	<b>0.020</b>	*
Presiones	1.000	353.833	353.833	0.840	0.373	◦
Microondas*ácidos	1.000	2.017	2.017	0.005	0.946	◦
Microondas*presiones	1.000	125.684	125.684	0.298	0.592	◦
Ácidos*presiones	1.000	296.680	296.680	0.705	0.414	◦
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	2.865	2.865	0.007	0.935	◦

**Anexo 10. Figuras y Tablas ANVA de luminosidad**

**Figura 7**

*Luminosidad del extracto de pectina*



**Tabla 5**

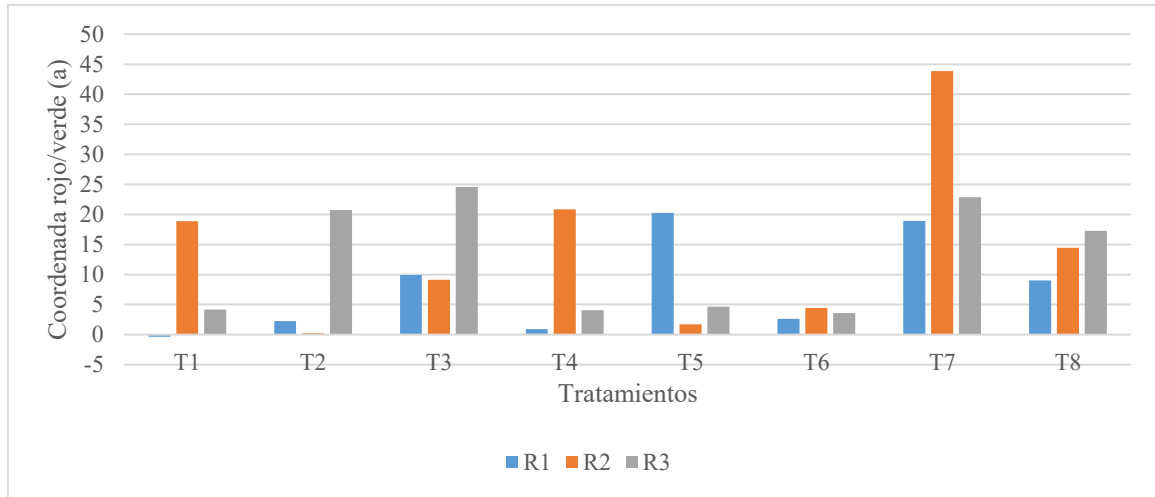
*Análisis de varianza (ANVA) para la Luminosidad del extracto de pectina*

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	273.909	273.909	0.799	0.385	◦
Ácidos	1.000	4218.245	4218.245	12.302	<b>0.003</b>	*
Presiones	1.000	40.922	40.922	0.119	0.734	◦
Microondas*ácidos	1.000	1392.586	1392.586	4.061	0.061	.
Microondas*presiones	1.000	16.432	16.432	0.048	0.829	◦
Ácidos*presiones	1.000	184.787	184.787	0.539	0.474	◦
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	13.800	13.800	0.040	0.844	◦

Anexo 11. Figuras y Tablas ANVA de coordenada a

**Figura 8**

Coordenada a del extracto de pectina



**Tabla 6**

Análisis de varianza (ANVA) para la coordenadas a del extracto de pectina

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	97.284	97.284	1.087	0.313	○
Ácidos	1.000	528.732	528.732	5.909	<b>0.027</b>	*
Presiones	1.000	254.541	254.541	2.844	0.111	○
Microondas*ácidos	1.000	179.744	179.744	2.009	0.176	○
Microondas*presiones	1.000	78.945	78.945	0.882	0.362	○
Ácidos*presiones	1.000	93.252	93.252	1.042	0.323	○
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	4.604	4.604	0.051	0.823	○

Anexo 12. Figuras y Tablas ANVA de coordenada b

Figura 9

Coordenada b del extracto de pectina

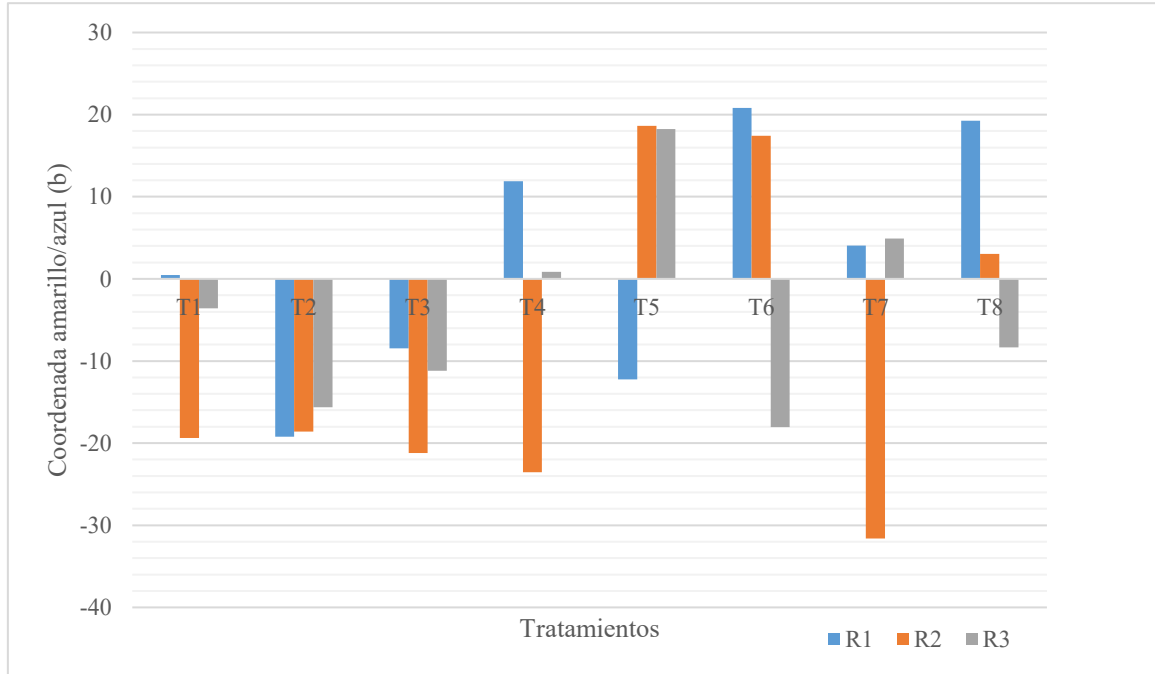


Tabla 7

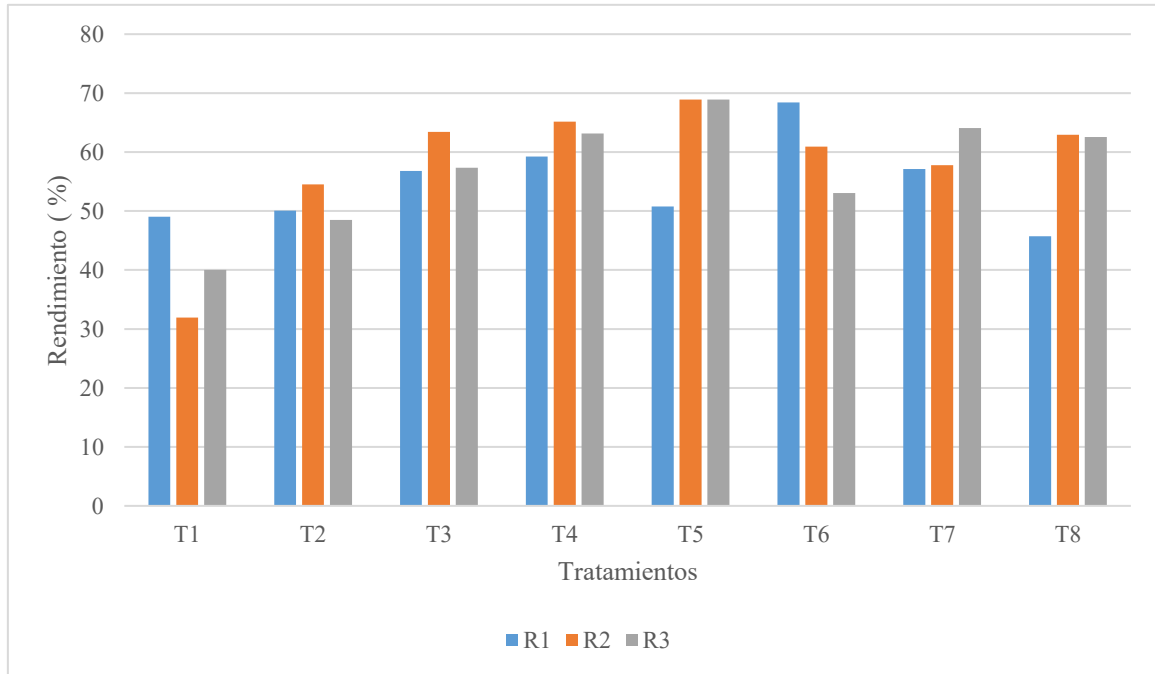
Análisis de varianza (ANVA) para la coordenada b del extracto de pectina

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values significati on codes
Microondas	1.000	1116.093	1116.093	4.720	<b>0.045</b>	*
Ácidos	1.000	35.568	35.568	0.150	0.703	◦
Presiones	1.000	40.760	40.760	0.172	0.684	◦
Microondas*ácidos	1.000	252.390	252.390	1.067	0.317	◦
Microondas*presiones	1.000	45.433	45.433	1.192	0.667	◦
Ácidos*presiones	1.000	433.526	433.526	1.833	0.195	◦
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	16.549	16.549	0.070	0.795	◦

**Anexo 13. Figuras y Tablas ANVA de rendimiento**

**Figura 10**

*Rendimiento de la pectina en polvo*



**Tabla 8**

*Análisis de varianza (ANVA) para el Rendimiento de la pectina en polvo*

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	279.288	279.288	5.802	<b>0.028</b>	*
Ácidos	1.000	205.250	205.250	4.264	0.056	.
Presiones	1.000	32.577	32.577	0.677	0.423	◦
Microondas*ácidos	1.000	522.160	522.160	10.847	<b>0.005</b>	**
Microondas*presiones	1.000	130.528	130.528	2.711	0.119	◦
Ácidos*presiones	1.000	23.182	23.182	0.482	0.498	◦
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	17.684	17.684	0.367	0.553	◦

Anexo 14. Figuras y Tablas ANVA de la humedad

Figura 11

Humedad de la pectina en polvo

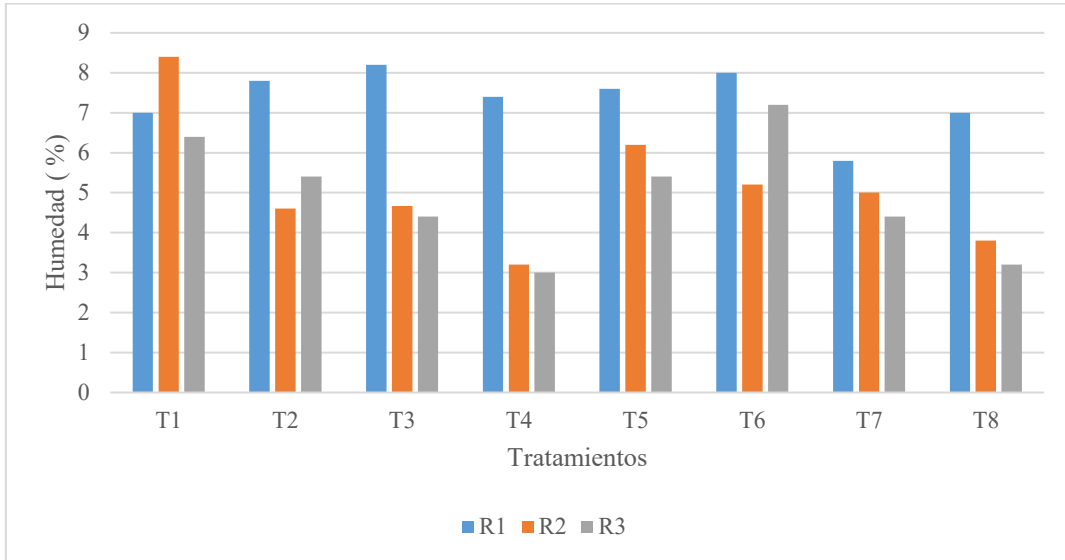


Tabla 9

Análisis de varianza (ANVA) para la humedad de la pectina en polvo

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	0.116	0.116	0.041	0.841	◦
Ácidos	1.000	15.248	15.248	5.726	<b>0.033</b>	*
Presiones	1.000	2.451	2.451	0.872	0.354	◦
Microondas*ácidos	1.000	0.116	0.116	0.041	0.841	◦
Microondas*presiones	1.000	2.451	2.451	0.872	0.364	◦
Ácidos*presiones	1.000	0.179	0.179	0.064	0.804	◦
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	0.311	0.311	0.111	0.744	◦

Anexo 15. Figuras y Tablas ANVA de cenizas

Figura 12

Cenizas de la pectina en polvo

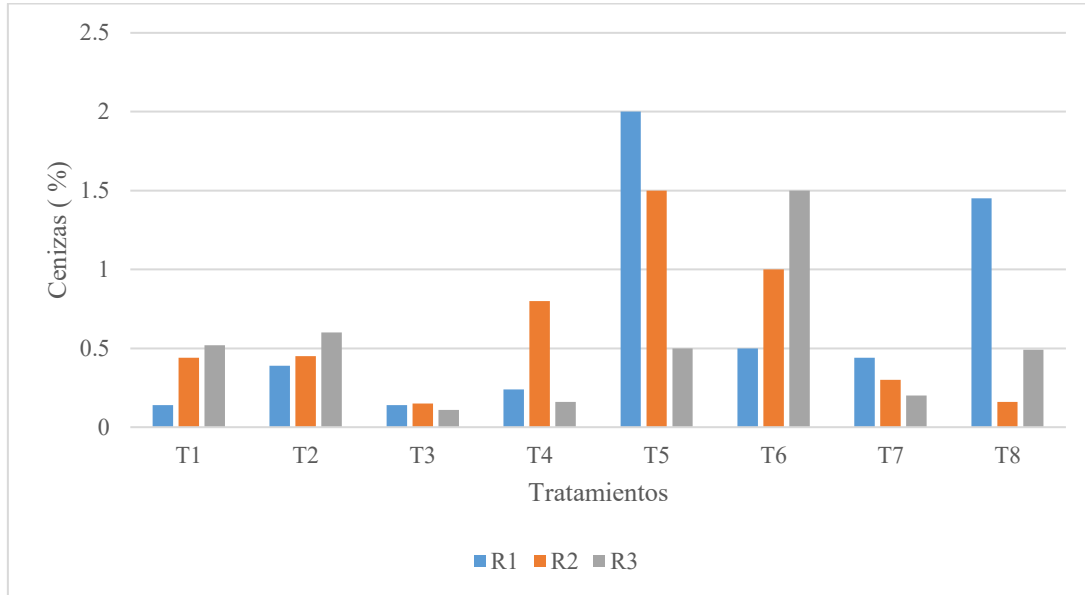


Tabla 10

Análisis de varianza (ANVA) para las cenizas de la pectina en polvo

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values signification codes
Microondas	1.000	1.460	1.460	7.940	<b>0.012</b>	*
Ácidos	1.000	1.017	1.017	5.529	<b>0.032</b>	*
Presiones	1.000	0.075	0.075	0.407	0.533	○
Microondas*ácidos	1.000	0.370	0.370	2.012	0.175	○
Microondas*presiones	1.000	0.043	0.043	0.236	0.634	○
Ácidos*presiones	1.000	0.290	0.290	1.579	0.227	○
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	0.118	0.118	0.639	0.436	○

Anexo 16. Figuras y Tablas ANVA de acidez

Figura 13

Acidez de la pectina en polvo

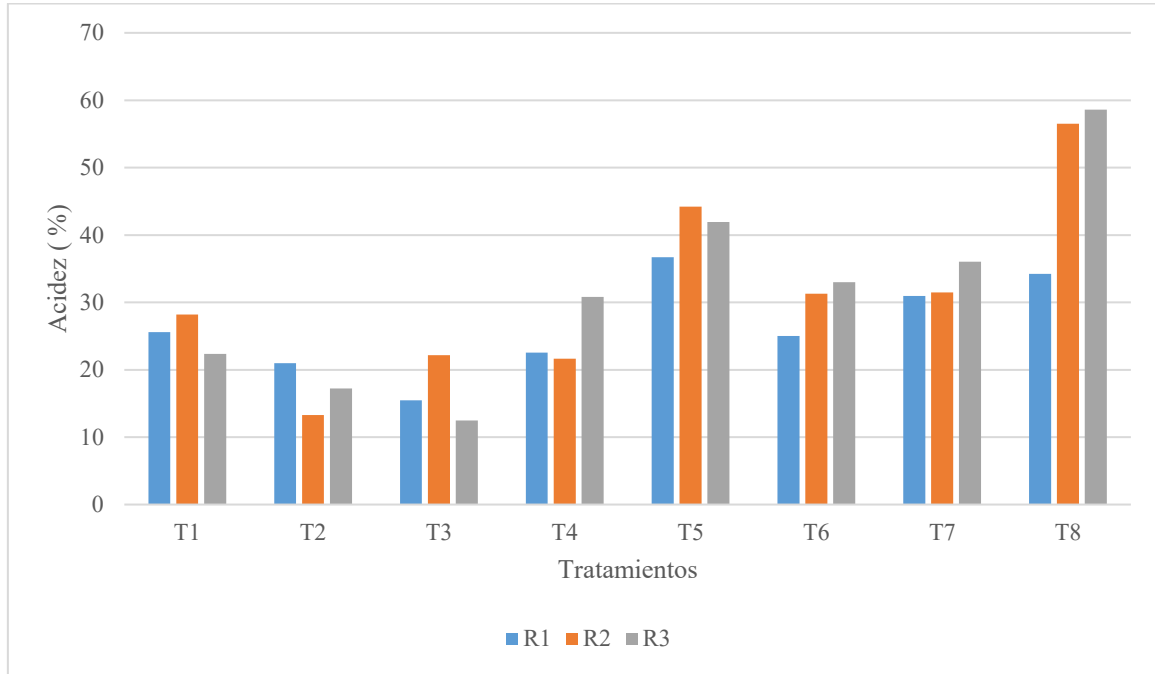


Tabla 11

Análisis de varianza (ANVA) para la Acidez de la pectina en polvo

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	p-values significatio n codes
Microondas	1.000	1807.109	1807.109	48.987	<0.0001	***
Ácidos	1.000	48.509	48.509	1.315	0.268	◦
Presiones	1.000	11.384	11.384	0.309	0.586	◦
Microondas*ácidos	1.000	64.108	64.108	1.738	0.206	◦
Microondas*presiones	1.000	10.897	10.897	0.295	0.594	◦
Ácidos*presiones	1.000	736.939	736.939	19.977	0.000	***
Microondas*Ácidos* Presiones	1.000	47.899	47.899	1.298	0.271	◦